T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

BETONARME YAPILARDA FARKLI GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİNİN DEPREM PERFORMANSINA ETKİSİNİN İRDELENMESİ

HÜSEYİN ÖZER

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

DANIŞMAN: DR. ÖĞR. ÜYESİ ÜLGEN MERT

MAYIS 2025

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

BETONARME YAPILARDA FARKLI GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİNİN DEPREM PERFORMANSINA ETKİSİNİN İRDELENMESİ

HÜSEYİN ÖZER

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

DANIŞMAN: DR. ÖĞR. ÜYESİ ÜLGEN MERT

MAYIS 2025

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF DIFFERENT STRENGTHENING METHODS ON EARTHQUAKE PERFORMANCE IN REINFORCED CONCRETE

HÜSEYİN ÖZER

A THESIS OF MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
EARTHQUAKE AND STRUCTURAL ENGINEERING PROGRAM

ADVISOR: ASST. PROF. ÜLGEN MERT

MAY 2025

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun 03/02/2025 tarih ve 2025/08 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 21/05/2025 tarihinde savunma sınavı yapılan Hüseyin ÖZER' in tez çalışması İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Deprem ve Yapı Mühendisliği Programında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE (TEZ DANIŞMANI)	: Dr. Öğr. Üyesi Ülgen MERT
ÜYE	: Prof. Dr. Ferit ÇAKIR
ÜYE	: Dr. Öğr. Üyesi Önder UMUT

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun ……./……./...…. tarih ve …..…/…..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Dünyamızın bugünkü jeolojik ve coğrafi yapısını oluşturmasında depremlerin etkisi büyüktür. Ülkemizin üzerinde yer aldığı Anadolu Levhası' da yüz yıllardır bu doğal afetin etkisi altındadır. Birçok alanda teknolojik gelişmelerin gerçekleştirildiği ülkemizde, deprem etkisine karşı dirençli yapılar üretebilme hassasiyeti ancak 17 Ağustos 1999 depreminden sonra yaygın olarak benimsenmeye başlanmıştır. Bu hassasiyetin resmi dayanağı ise 2007 ve 2018 deprem yönetmelikleri olmuştur. Üzerinden 25 yıl geçmesine rağmen depreme karşı dirençli yapılaşma hassasiyetinin henüz yeterli düzeyde olmadığını 6 Şubat 2023 depremlerinin acı sonuçlarıyla anladık. 81 ilimizin 62 tanesi deprem riskiyle karşı karşıyadır ve 922 ilçemizin 110 tanesi direkt olarak fay hattı üzerinde yer almaktadır. Ülkemizde son 100 yılda 7 ve üzeri büyüklüğe sahip 16 deprem yaşanmıştır. Bu depremler sonucunda yaklaşık 55 bin kişi 6 Şubat depremlerinde olmak üzere 120 bin insanımız hayatını kaybetmiş ve 717 bini 6 Şubat depremlerinde olmak üzere 1 milyon 167 bin bina hasar görmüştür. Bu sayısal veriler ışığında, deprem etkilerine dirençli yapılar yapma mecburiyetinde olduğumuz hem insani hem de ekonomik açıdan açıkça görülmektedir.

Bu çalışmanın amacı; ülkemizde yaygın olarak kullanılan yapısal taşıyıcı sistemlerin farklı parametrelere (taşıyıcı sistem, malzeme, depremsellik vb.) bağlı olarak barındırdığı performans durumlarını, yapısal analiz programlarından ve hesap yöntemlerinden yararlanarak incelemektir. İnceleme sonucunda belirli parametrik özelliklere sahip binaların performans analizi sonuçlarını karşılaştırarak, kullanılan parametrelerin yapıların performansına ne kadar etki ettiği irdelenmiştir. Performans analizleri sonucunda dikkate alınan binalardan bazıları, ülkemizde geçerliliği olan yaygın güçlendirme yöntemleri ile veya henüz yaygınlaşmamış ancak yüksek performansın hedeflendiği yenilikçi yöntemlerle güçlendirilerek, tekrar performans analizine tabi tutulup değerlendirilmiştir. Çalışmada betonarme perde oranı, döşeme sistemi vb. gibi temel yapısal tasarım parametreleri dikkate alınarak klasik doğrusal olmayan statik itme analizi (Classical Nonlinear Static Pushover Analysis) ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz (Nonlinear Dynamic Time History Analysis) yapılmıştır ve sonuçlar kıyaslanmıştır. Bu parametreler ışığında ilgili yapıların performans analizleri ve önerilen güçlendirme yöntemleri sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Doğrusal Olmayan Yöntemler ile Performans Analizi, Betonarme Perde Oranı ve Döşeme Tipleri, Burkulması Önlenmiş Çelik Çaprazlar (BÖÇÇ), Sismik İzolasyon, Yapısal Güçlendirme ve Dirençlilik

ABSTRACT

Earthquakes have a great impact on the formation of today's geological and geographical structure of our world. The Anatolian Plate, on which our country is located, has been under the influence of this natural disaster for centuries. In our country, which is technologically advanced and civilized in many areas, the sensitivity to produce earthquake-resistant structures began to be widely adopted only after the earthquake of August 17, 1999. The official basis of this sensitivity was the earthquake regulations of 2007 and 2018. Despite the fact that 25 years have passed, we understood with the painful results of the earthquakes of February 6, 2023 that the sensitivity to earthquake-resistant structures is not yet at a sufficient level. 62 of our 81 provinces are at earthquake risk and 110 of our 922 districts are directly located on the fault line. In the last 100 years, 16 earthquakes of magnitude 7 and above have occurred in our country. As a result of these earthquakes, 120 thousand people lost their lives, including approximately 50 thousand in the February 6 earthquakes, and 1 million 167 thousand buildings were damaged, including 717 thousand in the February 6 earthquakes. In the light of these numerical data, it is clearly seen that we have to build structures resistant to earthquake effects, both from a humanitarian and economic perspective.

The purpose of this study is to examine the performance status of structural load-bearing systems commonly used in our country depending on different parameters (structure geometry, material, seismicity, etc.) by using structural analysis programs and calculation methods. As a result of the examination, the performance analysis results of buildings with certain parametric properties were compared and the extent to which the parameters used affected the performance of the structures was examined. Some of the buildings considered as a result of the performance analyses were strengthened with common strengthening methods valid in our country and were subjected to performance analysis again and evaluated. In the study, static pushover analysis and nonlinear analyses in the time domain were performed by considering basic structural design parameters such as soil class, reinforced concrete shear wall ratio, floor system, etc. and the results were compared. In the light of these parameters, the performance analyses of the relevant structures and the suggested strengthening methods were presented.

Keywords: Performance Analysis With Nonlinear Methods, Reinforced Concrete Shear Wall Ratio and Slab Types, Buckling Restrained Steel Braces (BRB), Seismic Isolation, Structural Strengthening and Resilience

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimine ve bu çalışmanın geliştirilmesine beni sevk eden imkanları bana sunan anne ve babamla birlikte kardeşlerim Seda ve Eda' ya minnettarım.
Bu çalışmada, sürecin her aşamasında beni destekleyip teşvik eden Ayşe Nur' a sevgilerimi sunarım.
Bilimsel yazına sunulan bu çalışmanın geliştirilme sürecinde desteğini ve bilgisini esirgemeyen değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ülgen MERT' e teşekkür ederim.
İş ve eğitim hayatlarımızın kesiştiği, birlikte yol aldığım değerli arkadaşlarım Alparslan DURMUŞ, Cengiz DAL ve S. Fırat ŞENTÜRK' e ise bu süreçte gösterdikleri dayanışma, paylaşım ve dostlukları için teşekkür ederim.
Çalışma hayatımdaki yoğunluğa rağmen tez sürecimde bana birçok kez kolaylık tanıyarak desteğini esirgemeyen ve tecrübesiyle ilham kaynağı olan Ömer ÜLKER'e de saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
TABLOLAR/ÇİZELGELER DİZİNİ	xviii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı	2
1.2. Literatür Araştırması	3
1.3. Kapsam ve İçerik	4
2. GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİ	9
2.1. Sistem Genelinde Güçlendirme Yöntemleri	10
2.1.1. Taşıyıcı Eklenmesi	13
2.1.2. Kat Adedi Değişikliği	15
2.1.3. Mahal/Yerleşim Değişikliği	15
2.1.4. Blok Birleştirme	16
2.1.5. Yapı Kullanım Sınıfı Değişikliği	17
2.1.6. Harici Çerçeve Eklenmesi:	18
2.1.7. Viskoz Damperler ile Güçlendirme	20
2.1.8. Ayarlı Kütle Sönümleyiciler (TMD) ile Güçlendirme	25
2.1.8.1. Shanghai Tower (Çin) Yapısı TMD Sistemi İncelemesi	28
2.1.8.2. Tokyo Skytree (Japonya) Yapısı TMD Sistemi İncelemesi	31
2.1.8.3. Taipei 101 (Tayvan) Yapısı TMD Sistemi İncelemesi	33
2.1.8.4. Palatul Victoria (Romanya) Yapısı TMD Sistemi İncelemesi	34
2.1.8.5. John Hancock Tower (ABD) Yapısı TMD Sistemi İncelemesi	35
2.1.8.6. Millennium Bridge (İngiltere) Yapısı TMD Sistemi İncelemesi	37
2.1.9. Temel Altı Zeminin Güçlendirilmesi	38
2.1.10. Şekil Hafızalı Alaşımlarla (SMA) Güçlendirme	39
2.1.11. Prefabrike Elemanlarla Güçlendirme	43
2.1.12. Gergili Sistemlerle Güçlendirme	44
2.1.13. Bölme Duvarların Betonarmeyle Takviyelendirilmesi	47
2.2. Eleman Özelinde Güçlendirme Yöntemleri	48
2.2.1. Betonarme Sargı/Mantolama (RC Jacketing) Yöntemi:	48
2.2.2. Çelik ile Eleman Güçlendirme Yöntemleri	54
3. ARAŞTIRMA YÖNTEMİ VE METODOLOJİ	59
3.1. Çalışma Konumu	59
3.2. Çalışma Konumunun Geoteknik Bilgileri	60
3.3. Çalışma Konumunun Geoteknik Bilgileri	62
3.4. Yapıların Malzeme ve Yük Bilgileri	68
3.5. Yapısal Analizlerde Modelleme ve Performans Esasları	68
3.6. Yapısal Analiz Yöntemleri	73
3.6.1. Ön Değerlendirme Analizleri	73
3.6.2. Güçlendirme Analizleri	74
3.7. Yapısal Taşıyıcı Elemanların Performans Kabulleri	78

3.8. Yapısal Taşıyıcı Elemanların Hasar Sınırları 79
3.9. Bina Performans Düzeyi Kabul Kriterleri 82
4. ÖN DEĞERLENDİRME ANALİZLERİ 85
4.1. Yapılarının Ortak Özellikleri 85
4.2. Yapıların Ayırt Edici Özellikleri 93
4.2.1. Döşemelerin Ayırt Edici Özellikleri 93
4.2.2. Kolonların Ayırt Edici Özellikleri 96
4.2.3. Perdelerin Ayırt Edici Özellikleri 97
5. ÖN DEĞERLENDİRME SONUÇLARI 98
5.1. Kirişli Plak Döşemeli Sistemlere Ait Sonuçlar 99
5.1.1. KirisliSistem-SWR(0.00)_Model01 99
5.1.2. KirisliSistem-SWR(0.70)_Model01 101
5.1.3. KirisliSistem-SWR(1.44)_Model01 103
5.1.4. KirisliSistem-SWR(2.10)_Model01 105
5.2. Kaset Döşemeli Sistemlere Ait Sonuçlar 107
5.2.1. KasetSistem-SWR(0.00)-Model01 107
5.2.2. KasetSistem-SWR(0.70)-Model01 109
5.2.3. KasetSistem-SWR(1.44)-Model01 111
5.2.4. KasetSistem-SWR(2.10)-Model01 113
5.3. Ön Değerlendirme Analizlerine Ait Sonuç Özetleri 115
6. GÜÇLENDİRME ANALİZLERİ 116
6.1. Betonarme Perde İlavesi ile Güçlendirme 116
6.2. Burkulması Önlenmiş Çelik Çaprazlar ile Güçlendirme 118
6.2.1. BÖÇÇ (BRB) Elemanlarının Tanımları 119
6.2.2. BÖÇÇ (BRB) ile Güçlendirme Tipleri 126
6.2.2.1. Ters “V” Çapraz Düzeni(GY_BRB_T1) 127
6.2.2.2. Basit Tekil Çapraz Düzeni (GY_BRB_T2) 129
6.2.2.3. Eksantrik Çapraz Düzeni (GY_BRB_T3) 130
6.2.2.4. Çapraz Dirsek Düzeni (GY_BRB_T4) 131
6.3. Sismik Taban Yalıtımı ile Güçlendirme 132
7. GÜÇLENDİRME SONUÇLARI 135
7.1. Güçlendirmesiz Model Sonuçları 135
7.1.1. Referans Model, RM (Güçlendirmesiz) Sonuçları 135
7.1.1.1. Modal Özellikler 135
7.1.1.2. Mak. Kat Ötelenme Miktarları (Max. Story Displ.) 135
7.1.1.3. Maks. Göreli Kat Ötelenmesi Oranları (Max. Story Drifts) 136
7.1.1.4. Zamana Bağlı Taban Kesme Kuv. (NLTHA Base Forces) 137
7.1.1.5. Zamana Bağlı Tepe Yer Değiştirmeleri (NLTHA Roof Disp.) 138
7.1.1.6. Toplam Enerji Bileşenleri (Total Energy Comp.): 139
7.1.1.7. Eleman Hasar Düzeylerinin Özet Dağılım Grafikleri 141
7.2. Betonarme Perdeli Güçlendirme Sonuçları 143
7.2.1. Perdeli Güçlendirme (GY_SW_T1) Sonuçları 143
7.2.1.1. Modal Özellikler 143
7.2.1.2. Mak. Kat Ötelenme Miktarları (Max. Story Displ.) 143
7.2.1.3. Maks. Göreli Kat Ötelenmesi Oranları (Max. Story Drifts) 144
7.2.1.4. Zamana Bağlı Taban Kesme Kuv. (NLTHA Base Forces) 145
7.2.1.5. Zamana Bağlı Tepe Yer Değiştirmeleri (NLTHA Roof Disp.) 146
7.2.1.6. Toplam Enerji Bileşenleri (Total Energy Comp.): 147
7.2.1.7. Eleman Hasar Düzeylerinin Özet Dağılım Grafikleri 149
7.2.2. Perdeli Güçlendirme (GY_SW_T2) Sonuçları 152

7.2.2.1. Modal Özellikler 152
7.2.2.2. Mak. Kat Ötelenme Miktarları (Max. Story Displ.) 152
7.2.2.3. Maks. Göreli Kat Ötelenmesi Oranları (Max. Story Drifts) 153
7.2.2.4. Zamana Bağlı Taban Kesme Kuv. (NLTHA Base Forces) 154
7.2.2.5. Zamana Bağlı Tepe Yer Değiştirmeleri (NLTHA Roof Disp.) 155
7.2.2.6. Toplam Enerji Bileşenleri (Total Energy Comp.): 156
7.2.2.7. Eleman Hasar Düzeylerinin Özet Dağılım Grafikleri 158
7.3. BÖÇÇ (BRB) Çaprazlı Güçlendirme Sonuçları 161
7.3.1. Ters "V" BÖÇÇ (GY_BRB_T1) Sonuçları 161
7.3.1.1. Modal Özellikler 161
7.3.1.2. Mak. Kat Ötelenme Miktarları (Max. Story Displ.) 161
7.3.1.3. Maks. Göreli Kat Ötelenmesi Oranları (Max. Story Drifts) 162
7.3.1.4. Zamana Bağlı Taban Kesme Kuv. (NLTHA Base Forces) 163
7.3.1.5. Zamana Bağlı Tepe Yer Değiştirmeleri (NLTHA Roof Disp.) 164
7.3.1.6. Toplam Enerji Bileşenleri (Total Energy Comp.): 165
7.3.1.7. Link Kuvvet-Deplasman Eğrileri (Link Hysteresis) 167
7.3.1.8. Eleman Hasar Düzeylerinin Özet Dağılım Grafikleri 169
7.3.2. Tekil Çapraz BÖÇÇ (GY_BRB_T2) Sonuçları 171
7.3.2.1. Modal Özellikler 171
7.3.2.2. Mak. Kat Ötelenme Miktarları (Max. Story Displ.) 171
7.3.2.3. Maks. Göreli Kat Ötelenmesi Oranları (Max. Story Drifts) 172
7.3.2.4. Zamana Bağlı Taban Kesme Kuv. (NLTHA Base Forces) 173
7.3.2.5. Zamana Bağlı Tepe Yer Değiştirmeleri (NLTHA Roof Disp.) 174
7.3.2.6. Toplam Enerji Bileşenleri (Total Energy Comp.): 175
7.3.2.7. Link Kuvvet-Deplasman Eğrileri (Link Hysteresis) 177
7.3.2.8. Eleman Hasar Düzeylerinin Özet Dağılım Grafikleri 179
7.3.3. Eksantrik BÖÇÇ (GY_BRB_T3) Sonuçları 181
7.3.3.1. Modal Özellikler 181
7.3.3.2. Mak. Kat Ötelenme Miktarları (Max. Story Displ.) 181
7.3.3.3. Maks. Göreli Kat Ötelenmesi Oranları (Max. Story Drifts) 182
7.3.3.4. Zamana Bağlı Taban Kesme Kuv. (NLTHA Base Forces) 183
7.3.3.5. Zamana Bağlı Tepe Yer Değiştirmeleri (NLTHA Roof Disp.) 184
7.3.3.6. Toplam Enerji Bileşenleri (Total Energy Comp.): 185
7.3.3.7. Link Kuvvet-Deplasman Eğrileri (Link Hysteresis) 187
7.3.3.8. Eleman Hasar Düzeylerinin Özet Dağılım Grafikleri 189
7.3.4. Çapraz Dirsek (Knee Bracing) BÖÇÇ (GY_BRB_T4) Sonuçları 191
7.3.4.1. Modal Özellikler 191
7.3.4.2. Mak. Kat Ötelenme Miktarları (Max. Story Displ.) 191
7.3.4.3. Maks. Göreli Kat Ötelenmesi Oranları (Max. Story Drifts) 192
7.3.4.4. Zamana Bağlı Taban Kesme Kuv. (NLTHA Base Forces) 193
7.3.4.5. Zamana Bağlı Tepe Yer Değiştirmeleri (NLTHA Roof Disp.) 194
7.3.4.6. Toplam Enerji Bileşenleri (Total Energy Comp.): 195
7.3.4.7. Eleman Hasar Düzeylerinin Özet Dağılım Grafikleri 197
7.4. Sismik Taban Yalıtımı ile Güçlendirme Sonuçları 199
7.4.1. Sismik İzolatör ile Güçlendirme (GY-ISO-T1) Sonuçları 199
7.4.1.1. Modal Özellikler 199
7.4.1.2. Mak. Kat Ötelenme Miktarları (Max. Story Displ.) 199
7.4.1.3. Maks. Göreli Kat Ötelenmesi Oranları (Max. Story Drifts) 200
7.4.1.4. Zamana Bağlı Taban Kesme Kuv. (NLTHA Base Forces) 201
7.4.1.5. Zamana Bağlı Tepe Yer Değiştirmeleri (NLTHA Roof Disp.) 202

7.4.1.6. Toplam Enerji Bileşenleri (Total Energy Comp.): 203
7.4.1.7. Link Kuvvet-Deplasman Eğrileri (Link Hysteresis) 205
7.4.1.8. Eleman Hasar Düzeylerinin Özet Dağılım Grafikleri 207
8. SONUÇLAR 209
8.1. Ön Değerlendirme Analizlerine Ait Sonuçlar 209
8.1.1. Kirişli Plak Döşemeli Sistemlere Ait Yorumlar 209
8.1.2. Kaset Döşemeli Sistemlere Ait Yorumlar 211
8.1.3. Ön Değerlendirme Analizlerine Ait Genel Sonuçlar 213
8.2. Güçlendirme Analizlerine Ait Sonuçlar 218
8.2.1. Perdeli Güçlendirme Yöntemlerine Ait Yorumlar 220
8.2.2. BRB ile Güçlendirme Yöntemlerine Ait Yorumlar 222
8.2.3. Sismik İzolatör ile Güçlendirme Yöntemine Ait Yorumlar 224
8.2.4. Güçlendirme Yöntemlerine Ait Genel Sonuçlar 225

KAYNAKLAR 229
ÖZGEÇMİŞ 232

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

V_t	: Taban kesme kuvveti
I	: Bina önem katsayısı
S_{DS}	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
g	: Yerçekimi ivmesiGravity acceleration
$(V_S)_{30}$	: Zeminde üstteki 30 metrede ortalama kesme dalgası hızı
n	: Hareketli yük katılım katsayısı
BKS	: Bina kullanım sınıfı
DEKAP	: Deformasyon Enerjisi Kapasitesi (Kapasite eğrisi altında kalan alan)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1: İBB DEZİM, bölgenin jeolojik haritası ve sınıflandırması. 4
Şekil 1.2: İBB DEZİM, 3B jeoloji haritası ve sınıflandırması. 5
Şekil 1.3: İBB DEZİM, bölgenin Vs30 (m/s) kontur çizgi haritası. 5
Şekil 1.4: Türkiye Kuzey-Batı Anadolu bölgesinin fay kıvrım sistemi. [7] 6
Şekil 1.5: Marmara Bölgesi diri fay verisi. [7] 7
Şekil 1.6: Marmara Fayı' nda kırılmamış segmentleri ve çalışma alanı. 7
Şekil 2.1: Asimetrik perde yerleşiminde burulmanın şematik tarifi.[36] 9
Şekil 2.2: Mimar Sinan' ın Ayasofya Camii' ne eklediği uçan payandalar. [8] 12
Şekil 2.2: Ayasofya Camii yapısal kesit çizimi. [9] 12
Şekil 2.3: Betonarme perde ilavesi uygulama örnekleri. [10], [11], [12] 13
Şekil 2.4: Betonarme perde ilavesi şematik detay ve çizim örneği. [11], [12] 13
Şekil 2.5: Betonarme perde ekleme mantolama uygulama örneği. [13] 13
Şekil 2.6: Yapıda kat değişikliği ile performans artışı. [31] 15
Şekil 2.7: Yapıda mahal/yerleşim değişikliği ile performans artışı. [31] 15
Şekil 2.8: Betonarme yapılarda blok birleştirme yöntemi tipik detay çizimleri. 16
Şekil 2.9: Dış çerçeve eklenmesi uygulama öncesi/sonrası görünümü. [14] 19
Şekil 2.10: Dış çerçeve eklenmesi uygulama öncesi/sonrası görünümü. [15] 19
Şekil 2.11: Dıştan çelik çerçeve eklenme uygulaması yeni yapı görünümü. [16] 19
Şekil 2.12: Dıştan çelik çerçeve eklenmesi şematik plan ve kesit çizimi.[32] 20
Şekil 2.13: Dıştan çelik çerçeve eklenmesi şematik 3b görünüm. [33] 20
Şekil 2.14: Viskoz sönümleyiciler ile güçlendirme/tasarım uygulaması. 21
Şekil 2.15: Viskoz sönümleyici prensip kesiti (Taylor Devices). 21
Şekil 2.16: Viskoz sönümleyici konfigürasyonları (Taylor Devices). 22
Şekil 2.17: Açık alan damper sistemi şeması (OSDS, Taylor Devices). 22
Şekil 2.18: Farklı konfigürasyonlarda deplasman ve sönüm faktörleri. [40] 24
Şekil 2.19: Reverse Toggle Brace şematik gösterimi. [39] 24
Şekil 2.20: Yatay (solda) ve düşey (sağda) çalışan TMD sistemleri. [17] 27
Şekil 2.21: Shanghai Tower yapısının TMD sisteminin görünümü. [18] 28
Şekil 2.22: "Shanghai Insight" heykeli ve TMD sisteminin şeması. [19] 28
Şekil 2.23: "Shanghai Insight" heykeli ve TMD askı halatları. [20] 29
Şekil 2.24: Shanghai Tower tapısındaki kütle ve viskoz sönümleyiciler. [20] 29
Şekil 2.25: Shanghai Tower' ın TMD sistemi elemanları. [19] 29
Şekil 2.26: Eddy-Current TMD manyetik girdap akımları temsili görseli. [21] 30
Şekil 2.27: Japon Pagoda yapıları ve Tokyo Skytree yapısı benzerliği. [22], [26] 31
Şekil 2.28: T. Skytree 'de kullanılan vizkoz damperi ve TMD. [24] 31
Şekil 2.29: Tokyo Skytree yapısı sistem kesitleri. [23], [25] 32
Şekil 2.30: Taipei 101 yapısı TMD sistemi. [27] 33
Şekil 2.31: Taipei 101 yapısı TMD sistemi. [28] 33
Şekil 2.32: Victoria Sarayı görünümü ve TMD 'li bilgisayar modeli. [30] 34
Şekil 2.33: TMD şeması ve Victoria Sarayı çatısında TMD elemanları. [30] 35
Şekil 2.34: Victoria Sarayı TMD elemanlarının kurulumu ve muhafazası. [30] 35
Şekil 2.35: John Hancock Tower (Boston, ABD) ve TMD yerleşimi. [17]. 36
Şekil 2.36: John Hancock Tower yapısındaki TMD sistemi.[17]. 37
Şekil 2.37: John Hancock Tower 'daki TMD sistemi şematik diyagramı. [16]. 37
Şekil 2.38: Millennium Bridge, güçlendirme damperleri. [20]. 38
Şekil 2.39: Millennium Bridge, düşeyde çalışan TMD elemanları. [20]. [21]. 38

Şekil 2.40: Çaprazlı desteklerin karşılaştırılması (L. Elias Grinter). [19]. 40
Şekil 2.41: Çapraz dirseklerin analiz modeli. [20]. 40
Şekil 2.42: Burkulması önlenmiş dirsekli bir çerçevenin test düzeneği. [23]. 41
Şekil 2.43: Şekil hafızalı alaşımların ısıl etki altındaki dönüşüm şeması. [24]. 41
Şekil 2.44: 3 ve 7 katlı binaların BRBs ve BRBs+SMA modelleri. [29]. 42
Şekil 2.45: 3 katlı binanın tepe deplasmanı ve çevrimsel davranışı. [29]. 43
Şekil 2.46: 7 katlı binanın tepe deplasmanı ve çevrimsel davranışı. [29]. 43
Şekil 2.47: Dış yüzey betonu dökülmüş prefabrik perde elemanı.[22]. 44
Şekil 2.48: Geniş açıklıklı elemanlarda gergi sistemleriyle güçlendirme. [23]. 45
Şekil 2.49: Yığma yapılarda FRP ile güçlendirme. [24]. 45
Şekil 2.51: Bursa Yıldırım Beyazıt Türbesi yığma duvar gergileri. 46
Şekil 2.52: Çelik çapraz gergi çubukları kullanımı. [25]. 46
Şekil 2.53: Çelik çapraz gergi çubukları kullanımı. [26]. [27]. 47
Şekil 2.54: Kolon mantolama detay çizimi enkesit örnekleri. 48
Şekil 2.55: Betonarme kirişlerin mantolanmasına tipik örnekler. 48
Şekil 2.56: Kolon mantolama detay çizimi boykesit örneği. [10]. 49
Şekil 2.57: Betonarme perdelerin mantolanmasına enkesit detayı örnekler. [12]. 49
Şekil 2.58: Betonarme perde mantolanmasına uygulama örneği. [16]. 49
Şekil 2.59: Betonarme kolon mantolama uygulama örneği. [13] 50
Şekil 2.60: Betonarme kolon mantolama uygulama örneği. [13] 50
Şekil 2.61: Mantolama donatısı ve yüzey pürüzlendirilmesi. [28] 51
Şekil 2.62: Mantolama donatısı sürekliliği [28] 51
Şekil 2.63: Kalıp kullanılarak perde/kolon mantolama uygulamaları. [13] 52
Şekil 2.64: Püskürtme beton ile kolon mantolama uygulaması. [9], [15]. 53
Şekil 2.65: Püskürtme beton uygulaması. [30] 53
Şekil 2.66: Mantolama öncesinde kayma elamanı uygulaması [13]. 53
Şekil 2.67: Şerit temellerin radye temele çevrilmesine ait detay çizimi 54
Şekil 2.68: Tekil temelde kesit büyütülmesine ait uygulama görseli [13]. 54
Şekil 2.69: Çelik levhalar ile güçlendirme detay ve uygulaması. [10], [31] 55
Şekil 2.70: Çelik levhalar ile güçlendirme detay ve uygulaması. [10], [31] 56
Şekil 2.71: Çelik plakaların epoksi ile betonarme yüzeye yapıştırılması. [32] 56
Şekil 2.72: Kolon-kiriş birleşimlerinin çelik plakalar ile güçlendirilmesi. [33] 57
Şekil 2.73: Hibrit ve fretli sargı etkisi şeması ve çelik çember [32]. 58
Şekil 2.74: Hasarlı kolonun çember ile güçlendirilmesi deney düzeneği [32]. 58
Şekil 2.75: Hasarlı ve güçlendirilmiş numune test sonuçları [32]. 58
Şekil 3.1: Çalışma kapsamındaki yapıların konumu. 59
Şekil 3.2: İBB DEZİM, bölgenin jeolojik haritası ve sınıflandırması. 60
Şekil 3.3: İBB DEZİM, 3B jeoloji haritası ve sınıflandırması. 60
Şekil 3.4: İBB DEZİM, bölgenin Vs30 (m/s) kontur çizgi haritası. 61
Şekil 3.5: Çalışılan konumun faylanmaya uzaklığı. 62
Şekil 3.6: AFAD-TDTH sisteminde ilgili konumun PGA haritası. 63
Şekil 3.7: AFAD sistemine tanımlanan ve alınan DD2 parametreleri. 63
Şekil 3.8: TBDY2018 Yatay Elastik Tasarım Spektrumu formülleri. 64
Şekil 3.9: TBDY2018 Yatay Elastik Tasarım Spektrumu grafiği. 64
Şekil 3.10: TBDY2018 Madde 4.3.2.4 65
Şekil 3.11: Elastik ve azaltılmış yatay ivme spektrumları. 66
Şekil 3.12: DD2 için elastik ve azaltılmış yatay ivme spektrumları. 67
Şekil 3.13: Ankastre mesnet tanımı. 69
Şekil 3.14: Şematik lumped mass kabulü. 70
Şekil 3.15: ETABS' a tanımlanan etkin kesit rijitlikleri. 71

Şekil 3.16: Doğrusal olmayan dinamik analiz akış şeması. 75
Şekil 3.17: Spektral uyuşum ve basit ölçekleme yöntemleri örneği 76
Şekil 3.18: Kayıtlarının PEER-NGA' veri tabanından alınması ve ölçeklenmesi. 76
Şekil 3.19: Kayıtların ölçeklenmiş spektrumları. 77
Şekil 3.20: RSN1116, RSN1162 ve RSN1615 için ölçeklenmiş kayıt grafiği. 77
Şekil 4.1: Yapıların şematik kesit çizimi.ve ETABS plan görünümü 86
Şekil 4.2: Yapısal analizlerde kabul edilen kütle çarpanları. 88
Şekil 4.3: Yapısal analizlerde kabul edilen mesnet şartı. 88
Şekil 4.4: Yapısal analizler için seçilen beton sınıfı. 89
Şekil 4.5: Yapısal analizler için seçilen donatı sınıfı. 89
Şekil 4.6: Yapısal elemanlarda pas payı. 89
Şekil 4.7: TBDY2018 uyarınca minimum etriye alanı denklemleri. 92
Şekil 4.8: Analiz modellerindeki döşeme tiplerinin geometrik özellikleri. 93
Şekil 4.9: Çerçeve sistemler için yatay rijitlik ve yer değiştirme denklemleri. 95
Şekil 4.10: Perdeli modellere ait perde bilgileri 97
Şekil 5.1: ETABS modeli 3B ve plan görünümleri. 99
Şekil 5.2: ETABS modal analiz 3B görünümleri. 99
Şekil 5.3: Hedef deplasman hesabı. 100
Şekil 5.4: ETABS modeli 3B ve plan görünümleri. 101
Şekil 5.5: ETABS modal analiz 3B görünümleri. 101
Şekil 5.6: Hedef deplasman hesabı. 102
Şekil 5.7: ETABS modeli 3B ve plan görünümleri. 103
Şekil 5.8: ETABS modal analiz 3B görünümleri. 103
Şekil 5.9: Hedef deplasman hesabı. 104
Şekil 5.10: ETABS modeli 3B ve plan görünümleri. 105
Şekil 5.11: ETABS modal analiz 3B görünümleri. 105
Şekil 5.12: Hedef deplasman hesabı. 106
Şekil 5.13: ETABS modeli 3B ve plan görünümleri. 107
Şekil 5.14: ETABS modal analiz 3B görünümleri. 107
Şekil 5.15: Hedef deplasman hesabı. 108
Şekil 5.16: ETABS modeli 3B ve plan görünümleri. 109
Şekil 5.17: ETABS modal analiz 3B görünümleri. 109
Şekil 5.18: Hedef deplasman hesabı. 110
Şekil 5.19: ETABS modeli 3B ve plan görünümleri. 111
Şekil 5.20: ETABS modal analiz 3B görünümleri. 111
Şekil 5.21: Hedef deplasman hesabı. 112
Şekil 5.22: ETABS modeli 3B ve plan görünümleri. 113
Şekil 5.23: ETABS modal analiz 3B görünümleri. 113
Şekil 5.24: Hedef deplasman hesabı. 114
Şekil 5.25: Kirişli plak ve kaset döşemeli sistemlere ait statik itme eğrileri. 115
Şekil 6.1: Perde ile güçlendirme yöntemi (SWR(0.00)-GY-SW_T1). 117
Şekil 6.2: Perde ile güçlendirme yöntemi (SWR(0.00)-GY-SW_T2). 117
Şekil 6.3: BÖÇÇ modellerinde link eleman tanımları. 119
Şekil 6.4: BÖÇÇ elemanlarında pekleşmeli çevrimsel davranış diyagramı. 120
Şekil 6.5: BÖÇÇ elemanlarında omurga (backbone) eğrisi [34]. 121
Şekil 6.6: BÖÇÇ modellerinde link eleman tanımları. 122
Şekil 6.8: BÖÇÇ elemanlarının çok doğrultulu kuvvet-deplasman eğrileri. 123
Şekil 6.9: BÖÇÇ elemanının çok doğrultulu kuvvet-deplasman eğrisi. 124
Şekil 6.10: BÖÇÇ elemanının çok doğrultulu kuvvet-deplasman eğrisi. 124
Şekil 6.11: BÖÇÇ elemanının çok doğrultulu kuvvet-deplasman eğrisi. 124

Şekil 6.12: BÖÇÇ elemanının çok doğrultulu kuvvet-deplasman eğrisi. 125
Şekil 6.13: BÖÇÇ elemanının çok doğrultulu kuvvet-deplasman eğrisi. 125
Şekil 6.14: BÖÇÇ elemanının çok doğrultulu kuvvet-deplasman eğrisi. 125
Şekil 6.15: Farklı konfigürasyonlarda deplasman ve sönüm faktörleri. [40] 126
Şekil 6.16: Los Angeles adliyesinin çatı katında BRB imalatı [35]. 127
Şekil 6.17: Ters "V" düzeni şematik kesiti (GY_BRB_T1). 128
Şekil 6.18: ETABS modeline ait 3B, kesit ve plan görünümleri (GY_BRB_T1). 128
Şekil 6.19: Basit çapraz düzeni şematik kesiti (GY_BRB_T2). 129
Şekil 6.20: ETABS modeline ait 3B, kesit ve plan görünümleri (GY_BRB_T2). 129
Şekil 6.21: Eksantrik çapraz düzeni şematik kesiti (GY_BRB_T3). 130
Şekil 6.22: ETABS modeline ait 3B, kesit ve plan görünümleri (GY_BRB_T3). 130
Şekil 6.23: Çapraz dirsek düzeni şematik kesiti (GY_BRB_T4). 131
Şekil 6.24: ETABS modeline ait 3B, kesit ve plan görünümleri (GY_BRB_T4). 131
Şekil 6.25: Mevcut binaya sismik izolatör eklenmesi (Ülker Mühendislik). 132
Şekil 6.26: Mevcut binada kat ortasına sismik izolatör eklenmesi. 133
Şekil 6.28: Yapı için hesaplanan ETABS izolatör link özellikleri. 134
Şekil 6.29: ETABS analiz modeli izolatör deplasmanı. 134
Şekil 6.30: ETABS "K1" linki analiz modeli izolatör deplasmanı. 134
Şekil 7.1: Zamana bağlı taban kesme kuvvetleri. 137
Şekil 7.2: Zamana bağlı tepe yer değiştirmeleri. 138
Şekil 7.3: ETABS analiz sonuçlarında enerji bileşenleri dağılımları. 139
Şekil 7.4: ETABS analiz sonuçlarında enerji bileşenleri dağılımı grafiği. 140
Şekil 7.5: ETABS analiz sonuçlarında kolon beton ve çelik fiber sonuçları. 141
Şekil 7.6: ETABS analiz sonuçlarında kiriş beton ve çelik fiber sonuçları. 142
Şekil 7.7: Zamana bağlı taban kesme kuvvetleri. 145
Şekil 7.8: Zamana bağlı tepe yer değiştirmeleri. 146
Şekil 7.9: ETABS analiz sonuçlarında enerji bileşenleri dağılımları. 147
Şekil 7.10: ETABS analiz sonuçlarında enerji bileşenleri dağılımı grafiği. 148
Şekil 7.11: ETABS analiz sonuçlarında perde beton ve çelik fiber sonuçları. 149
Şekil 7.12: ETABS analiz sonuçlarında kolon beton ve çelik fiber sonuçları. 150
Şekil 7.13: ETABS analiz sonuçlarında kiriş beton ve çelik fiber sonuçları. 151
Şekil 7.14: Zamana bağlı taban kesme kuvvetleri. 154
Şekil 7.15: Zamana bağlı tepe yer değiştirmeleri. 155
Şekil 7.16: ETABS analiz sonuçlarında enerji bileşenleri dağılımları. 156
Şekil 7.17: ETABS analiz sonuçlarında enerji bileşenleri dağılımı grafiği. 157
Şekil 7.18: ETABS analiz sonuçlarında perde beton ve çelik fiber sonuçları. 158
Şekil 7.19: ETABS analiz sonuçlarında kolon beton ve çelik fiber sonuçları. 159
Şekil 7.20: ETABS analiz sonuçlarında kiriş beton ve çelik fiber sonuçları. 160
Şekil 7.21: Zamana bağlı taban kesme kuvvetleri. 163
Şekil 7.22: Zamana bağlı tepe yer değiştirmeleri. 164
Şekil 7.23: ETABS analiz sonuçlarında enerji bileşenleri dağılımları. 165
Şekil 7.24: ETABS analiz sonuçlarında enerji bileşenleri dağılımı grafiği. 166
Şekil 7.25: ETABS analiz sonucunda link histeresis grafikleri. 167
Şekil 7.26: ETABS analiz sonucunda link histeresis grafikleri. 168
Şekil 7.27: ETABS analiz sonuçlarında kolon beton ve çelik fiber sonuçları. 169
Şekil 7.28: ETABS analiz sonuçlarında kiriş beton ve çelik fiber sonuçları. 170
Şekil 7.29: Zamana bağlı taban kesme kuvvetleri. 173
Şekil 7.30: Zamana bağlı tepe yer değiştirmeleri. 174
Şekil 7.31: ETABS analiz sonuçlarında enerji bileşenleri dağılımları. 175
Şekil 7.32: ETABS analiz sonuçlarında enerji bileşenleri dağılımı grafiği. 176

Şekil 7.33: ETABS analiz sonucunda link histeresis grafikleri. 177
Şekil 7.34: ETABS analiz sonucunda link histeresis grafikleri. 178
Şekil 7.35: ETABS analiz sonuçlarında kolon beton ve çelik fiber sonuçları. 179
Şekil 7.36: ETABS analiz sonuçlarında kiriş beton ve çelik fiber sonuçları. 180
Şekil 7.37: Zamana bağlı taban kesme kuvvetleri. 183
Şekil 7.38: Zamana bağlı tepe yer değiştirmeleri. 184
Şekil 7.39: ETABS analiz sonuçlarında enerji bileşenleri dağılımları. 185
Şekil 7.40: ETABS analiz sonuçlarında enerji bileşenleri dağılımı grafiği. 186
Şekil 7.41: ETABS analiz sonucunda link histeresis grafikleri. 187
Şekil 7.42: ETABS analiz sonucunda link histeresis grafikleri. 188
Şekil 7.43: ETABS analiz sonuçlarında kolon beton ve çelik fiber sonuçları. 189
Şekil 7.44: ETABS analiz sonuçlarında kiriş beton ve çelik fiber sonuçları. 190
Şekil 7.45: Zamana bağlı taban kesme kuvvetleri. 193
Şekil 7.46: Zamana bağlı tepe yer değiştirmeleri. 194
Şekil 7.47: ETABS analiz sonuçlarında enerji bileşenleri dağılımları. 195
Şekil 7.48: ETABS analiz sonuçlarında enerji bileşenleri dağılımı grafiği. 196
Şekil 7.49: ETABS analiz sonuçlarında kolon beton ve çelik fiber sonuçları. 197
Şekil 7.50: ETABS analiz sonuçlarında kiriş beton ve çelik fiber sonuçları. 198
Şekil 7.51: Zamana bağlı taban kesme kuvvetleri. 201
Şekil 7.52: Zamana bağlı tepe yer değiştirmeleri. 202
Şekil 7.53: ETABS analiz sonuçlarında enerji bileşenleri dağılımları. 203
Şekil 7.54: ETABS analiz sonuçlarında enerji bileşenleri dağılımı grafiği. 204
Şekil 7.55: ETABS analiz sonucunda link histeresis grafikleri. 205
Şekil 7.56: ETABS analiz sonucunda link histeresis grafikleri. 206
Şekil 7.57: ETABS analiz sonuçlarında kolon beton ve çelik fiber sonuçları. 207
Şekil 7.58: ETABS analiz sonuçlarında kiriş beton ve çelik fiber sonuçları. 208
Şekil 8.1: Kirişli plak sistemlere ait statik itme eğrileri. 209
Şekil 8.2: Kaset döşemeli sistemlere ait statik itme eğrileri. 211
Şekil 8.3: Kirişli plak ve kaset döşemeli sistemlere ait statik itme eğrileri. 213
Şekil 8.4: Perdesiz kirişli plak ve kaset sistemlerin kapasite eğrileri 215
Şekil 8.5: Ön değerlendirme yapılarının bütünleşik performans göstergeleri 216
Şekil 8.6: Yapıların performans karşılaştırma parametreleri 218
Şekil 8.7: Perdeli güçlendirme, Solda GY-SW_T1, Sağda GY-SW_T2 220
Şekil 8.8: BRB yerleşim konfigürasyonları 222
Şekil 8.9: Katlara göre kolonlardaki beton-çelik birim şekil değişimleri 225
Şekil 8.10: İzolatörlü güçlendirme ile referans modelin kolon strain grafikleri 226
Şekil 8.11: Perdeli güçlendirme ile referans modelin kolon strain grafikleri 226
Şekil 8.12: BRB' li güçlendirme ile referans modelin kolon strain grafikleri 227
Şekil 8.13: Referans, Perdeli ve BRB' li güçlendirmelerin strain grafikleri 227

TABLOLAR/ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 1.1: Ön değerlendirmeye alınan yapıların özellikleri.	8
Tablo 2.1: Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları (TBDY2018)	17
Tablo 2.2: Deprem tasarım sınıfları (DTS) (TBDY2018)	17
Tablo 2.3: Mevcut binalarda performans hedefleri (TBDY2018)	17
Tablo 3.1: Yerel zemin sınıfları (TBDY2018)	61
Tablo 3.2: R ve D katsayıları (TBDY2018)	65
Tablo 3.3: Yapısal analizlerde tanımlanan kullanım yükleri.	68
Tablo 3.4: Etkin kesit rijitliği çarpanları (TBDY2018)	70
Tablo 3.5: BKS ve I katsayıları (TBDY2018)	72
Tablo 3.6: Deprem tasarım sınıfları (TBDY2018)	72
Tablo 3.7: Mevcut binalarda performans hedefleri (TBDY2018)	72
Tablo 3.8: Seçilen deprem kayıtlarına ait özet bilgiler.	77
Tablo 3.9: Malzemelerin hasar limitleri.	81
Tablo 4.1: Ön değerlendirme analizlerinde kullanılan yapılar ve özellikleri.	85
Tablo 4.2: Yapısal analizlerde tanımlanan kullanım yükleri.	87
Tablo 4.3: Analiz modellerine tanımlanan kiriş donatı alanları.	91
Tablo 4.4: Analiz modellerinde kolon tip dağılımları.	92
Tablo 5.1: Ön değerlendirme analizlerinde kullanılan model isimlendirmeleri.	98
Tablo 5.2: ETABS modal analizde kütle katılım oranları ve periyotlar.	99
Tablo 5.3: ETABS modelinin mod şekli ve kat kütleleri	100
Tablo 5.5: ETABS modal analizde kütle katılım oranları ve periyotlar.	101
Tablo 5.6: ETABS modelinin mod şekli ve kat kütleleri	102
Tablo 5.8: ETABS modal analizde kütle katılım oranları ve periyotlar.	103
Tablo 5.9: ETABS modelinin mod şekli ve kat kütleleri	104
Tablo 5.11: ETABS modal analizde kütle katılım oranları ve periyotlar.	105
Tablo 5.12: ETABS modelinin mod şekli ve kat kütleleri	106
Tablo 5.14: ETABS modal analizde kütle katılım oranları ve periyotlar.	107
Tablo 5.15: ETABS modelinin mod şekli ve kat kütleleri	108
Tablo 5.17: ETABS modal analizde kütle katılım oranları ve periyotlar.	109
Tablo 5.18: ETABS modelinin mod şekli ve kat kütleleri	110
Tablo 5.20: ETABS modal analizde kütle katılım oranları ve periyotlar.	111
Tablo 5.21: ETABS modelinin mod şekli ve kat kütleleri	112
Tablo 5.23: ETABS modal analizde kütle katılım oranları ve periyotlar.	113
Tablo 5.24: ETABS modelinin mod şekli ve kat kütleleri	114

1. GİRİŞ

Depremler, yeryüzünün jeolojik dinamikleri içinde önemli bir role sahip olup, yerleşim alanları üzerinde yıkıcı etkiler bırakmaktadır. Özellikle son yüzyılda ülkemizde meydana gelen 16 büyük depremde yaşanan yıkımlar, depreme dayanıklı yapı tasarımı/uygulaması ve güçlendirme yöntemleri konusundaki teknik bilgi ve pratik uygulama eksikliklerini/hatalarını gözler önüne sermiştir.

1999 Marmara Depremi, Türkiye'de yapı güvenliği konusundaki farkındalığın miladı olmuş, ancak 6 Şubat 2023 depremleriyle, mevcut yapı stoğunun büyük bir kısmının hâlâ yetersiz olduğu bir kez daha anlaşılmıştır. Bu durum hem teknik çalışmaların pratikte uygulanabilmesi hem de yönetmelikler bazında bazı konuların gözden geçirilmesi ihtiyacını gündeme getirmiştir. Son yıllarda, özellikle yeni deprem yönetmelikleri ve teknolojik gelişmeler ışığında, yapıların performansını artırmaya yönelik yenilikçi güçlendirme yöntemleri geliştirilmiş, bu yöntemlerin etkinliği sayısal analizler ve simülasyonlarla değerlendirilmeye başlanmıştır.

Bu çalışma, farklı döşeme tipleri, betonarme perde oranları ve güçlendirme yöntemlerini içeren parametrik bir dizi analizle, yapıların deprem performansına etki eden temel tasarım özelliklerini incelemektedir. Statik itme analizi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemleri kullanılarak elde edilen sonuçlar, mevcut yapıların performansı ve bu performansı artırmak için uygulanabilecek güçlendirme stratejileri hakkında somut veriler sunmaktadır.

Türkiye'nin sismik açıdan yüksek risk taşıyan bir bölgede yer alması, sadece dayanıklı yapılar tasarlamayı değil, aynı zamanda sürdürülebilir ve kaynak dostu çözümler geliştirmeyi de zorunlu kılmaktadır. Depreme dayanıklı yapı tasarımında sürdürülebilirlik, sadece çevresel bir kaygı olmaktan çıkmış, ülkemizin sınırlı insan ve malzeme kaynaklarının verimli kullanımı açısından da kritik bir öneme sahip olmuştur. Yapısal güçlendirme çalışmaları, maliyet ve enerji tasarrufu sağlayarak, mevcut yapı stoğunun yeniden inşa edilmesine kıyasla daha sürdürülebilir bir seçenek sunmaktadır. Bununla birlikte, güçlendirme çalışmalarının sadece tek bir tasarım depremine değil, ardışık birkaç tasarım depremine dayanacak şekilde yapılması, uzun vadeli bir yapı güvenliği için önemli bir yaklaşım haline gelmiştir.

Bu bağlamda, doğru malzeme seçimi, yenilikçi mühendislik çözümleri ve yerel kaynakların etkin kullanımı, depreme dayanıklı yapılaşmada hem teknik hem de ekonomik sürdürülebilirlik açısından hayati rol oynamaktadır. Ülkemizde yaygın olarak kullanılan taşıyıcı sistemlerin performansını bu perspektiften değerlendirmek, hem yapısal güvenliği artırmak hem de gelecekteki doğal afetler karşısında toplumun direncini yükseltmek adına bir gereklilik olarak karşımıza çıkmaktadır.

1.1. Tezin Amacı

Gerçekleştirilecek olan çalışmalar iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamanın amacı, ikinci aşamaya uygun bir veri girdisi sağlayarak ikinci aşamada daha efektif sonuçların elde edilmesini sağlamaktır.

İlk aşamada ülkemizde yaygın olarak kullanılan kirişli plak ve kaset (çift yönlü asmolen dolgulu) döşemeli sistemlerin farklı perde oranlarıyla (%0, %0.70, %1.44, %2.10) aynı deprem etkileri altındaki davranışları Statik Tek Modlu İtme Analizi (Pushover) kullanılarak irdelenecektir. İlk aşamada yapıların TBDY2018 ve TS500 yönetmeliklerine göre tasarlanmış olduğu, düzensizliklere yol açabilecek özelliklere sahip olmadığı kabulleriyle ilerlenmiştir ve böylece güçlendirme yöntemlerinin performansa olan etkisinin daha belirgin olarak gözlemlenmesi imkanı sağlanmıştır.

İlk aşamadaki analizlerden elde edilen kapasite eğrileri yorumlanarak en düşük kapasiteli yapı/yapılar, ikinci aşamada referans model olarak kullanılacaktır. İkinci aşamada bu referans model üzerinde farklı güçlendirme yöntemleri kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemiyle güçlendirilmiş yapıların performansı irdelenecektir.

Böylece çalışma kapsamında baz alınan parametrik değerler kapsamında aşağıdaki sonuçlar elde edilecektir;

- Benzer özelliklere sahip farklı döşeme sistemlerinin (kirişli plak ve kaset döşeme) ve farklı oranlardaki perdeli sistemlerin (%0, %0.70, %1.44, %2.10) deprem performansları irdelenecektir.
- Dikkate alınınan döşeme sisteminin, yapının sünekliğine/rijitliğine nasıl bir etki oluşturduğu ve bu etkinin sonuçları irdelenecektir.

- Dikkate alınan perde oranlarının, yapının sünekliğine/rijitliğine nasıl bir etki oluşturduğu ve bu etkinin sonuçları irdelenecektir.
- Ülkemizde yaygın kullanımı olan güçlendirme yöntemlerinin yapısal performansı ne düzeyde geliştirdiği irdelenecektir.
- Seçilen güçlendirme yöntemlerinin avantajları ve dezavantajları sayısal veriler doğrultusunda yorumlanacaktır.

1.2. Literatür Araştırması

Döşeme sistemlerinin sismik yükler altındaki karşılaştırması konusunda bazı çalışmalar sonucunda plak döşemelerin deprem gibi dinamik yükler altındaki performansının, nervürlü döşemelere kıyasla daha yüksek olduğu anlaşılmıştır. İlgili çalışmada; plak döşemeli sistemlerin nervürlü döşemeli sistemlere göre daha yüksek yanal rijitliğe sahip olduğu, plak döşemeli sistemlerin her iki doğrultuda da daha yüksek diyafram rijitliğine sahip olduğu ancak tek doğrultulu nervrülü döşemelerin yalnızca tek doğrultuda diyafram rijitliğini kısmen sağladığı, nervürlü döşemeli sistemin en büyük yer değiştirmesinin ve kat kesme kuvvetinin plak döşemeli sisteme göre %23 daha fazla olduğu sonucu elde edilmiştir. **[1]**

Betonarme perde oranlarının karşılaştırılması konusunda da bazı araştırma sonuçlarına göre perdeye gelen devrilme momentinin bina taban momentine oranının %75 değerini aştığı durumda alt katlarda perdelerin aldığı kesme kuvvetinin ~%94 ve en üst katta ise ~%75 olduğu sonucuna varılmıştır. Yalnızca asansör perdesinin olduğu durumda ise bu oranın ~%30 olduğu ve alt katlarda kolonların kat kesme kuvvetinin ~%70 kadarını taşıdığı sonucu elde edilmiştir. **[2]**

Çelik çapraz elemanların mevcut yapı üzerinde kullanılması, yapının iç kuvvet dengesini ve dolayısıyla yapısal performansı önemli ölçüde değiştirmektedir. Bu performans değişiminin incelendiği bir çalışmada, mevcut yapı 3 farklı düşey yerleşime sahip V şekilli çelik çaprazlar kullanılarak güçlendirilmiş ve kapasitelerde en az 2 kat artış gözlemlenmiştir. **[3]**

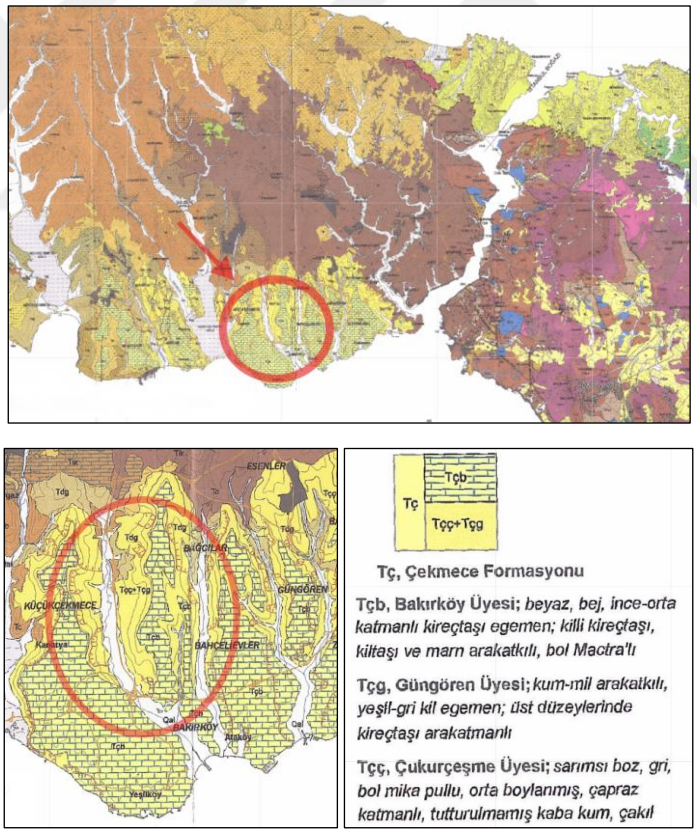
Betonarme perde ilavesiyle güçlendirmeye benzer olarak çelik kompozit perde (Speed Core, AISC) ile güçlendirme yöntemi de son yıllarda geliştirilen bir diğer tasarım/imalat yeniliğidir. Bu sistem esasen çok katlı çelik yapılar için geliştirilmiştir.

Ancak güçlendirme projelerinde daha ince kesitli betonarme perdelerin kullanımının gerektiği durumlarda bu yöntem oldukça avantajlı ve hızlı imal edilebilir. **[4]**

1.3. Kapsam ve İçerik

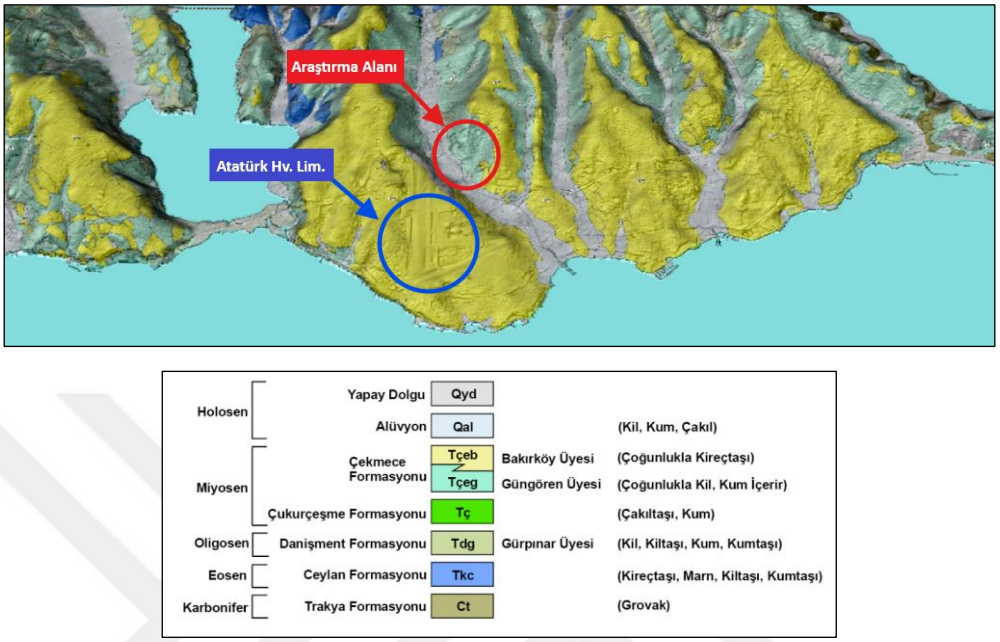
Çalışma, İstanbul ili Bahçelievler İlçesi Yenibosna Mahallesi bölgesinde TBDY2018 yönetmeliğine göre tasarlanarak inşa edilmiş bir dizi varsayımsal yapı üzerinden geliştirilmiştir.

Çalışma bölgesinin seçimindeki başlıca neden, gerçekten de bölgenin zemin özelliklerinin zayıf ve depremsellik riskinin yüksek olmasıdır. Aşağıda **Şekil 1.1**' de İBB Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü' nün (DEZİM) 2011 yılında gerçekleştirdiği "İstanbul Kent Jeolojisi" projesine ait bir jeolojik harita sunulmaktadır. **[5]**



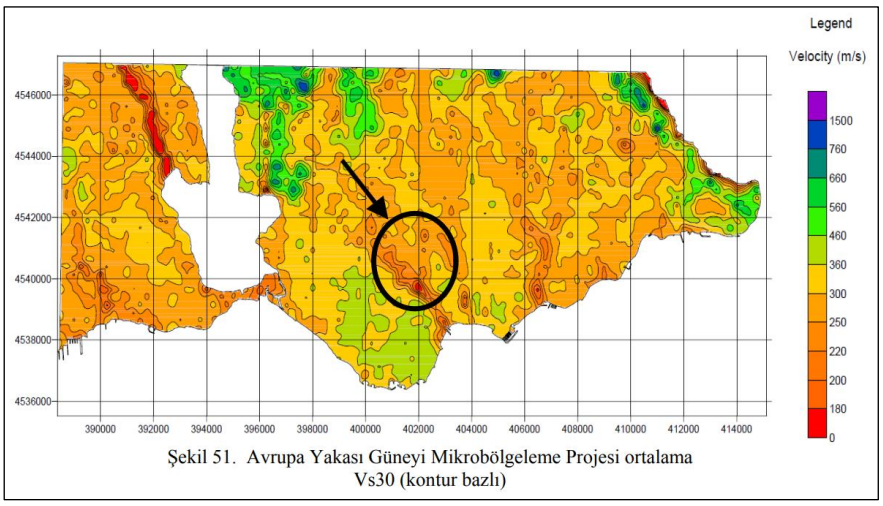
Şekil 1.1: İBB DEZİM, bölgenin jeolojik haritası ve sınıflandırması.

Aşağıda **Şekil 1.2**' de İBB Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü (DEZİM) Mikrobölgeleme Çalışması Raporuna ait bir 3B jeoloji sınıflandırması ve lejantı sunulmaktadır. **[6]**



Şekil 1.2: İBB DEZİM, 3B jeoloji haritası ve sınıflandırması.

Aşağıda **Şekil 1.3**' de İBB Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü (DEZİM) Mikrobölgeleme Çalışması Raporuna ait bir Vs30 kontur çizgisi haritası sunulmaktadır. **[6]**

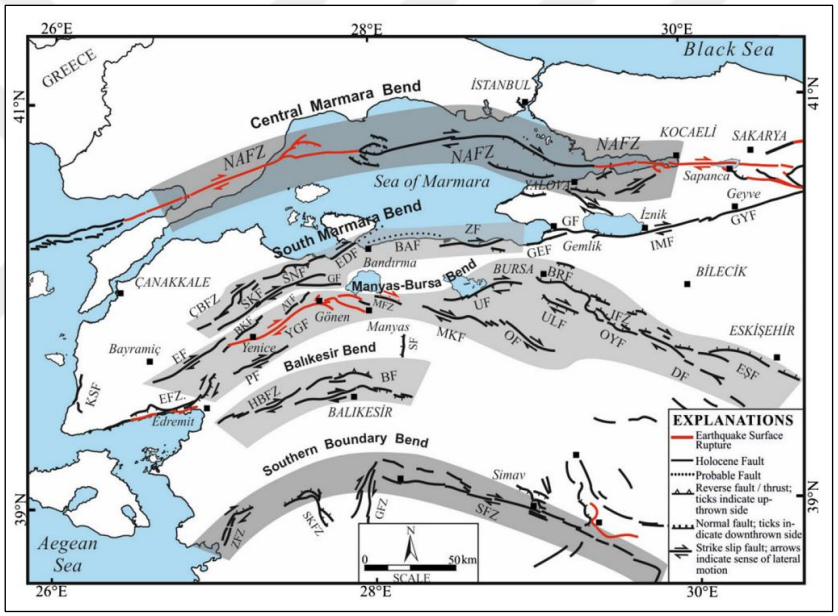


Şekil 1.3: İBB DEZİM, bölgenin Vs30 (m/s) kontur çizgi haritası.

İBB Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü' nün (DEZİM) yaptığı çalışmalara istinaden araştırma bölgesinin Vs30 değeri 180~300 m/sn olarak belirlenebilir.

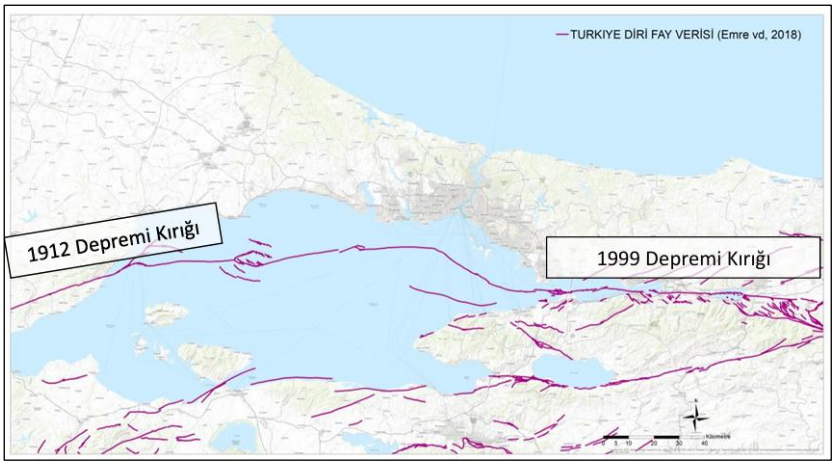
Seçilen bölgenin İstanbul' da gerçekleşmesi beklenen depremin kaynak mekanizma faylarına yakın olması da 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremleri' nde yaşanan artçı deprem (sequential earthquake) etkisini göz önüne alan bir senaryo oluşturabilmek içindir. Ancak bu çalışma kapsamında artışık deprem etkisi dikkate alınmamıştır.

Aşağıda **Şekil 1.4**'de 2018 yılında Ömer Emre ve diğerleri tarafından yayınlanan "Active Fault Database of Turkey (Türkiye Aktif Fay Veri Tabanı)" adlı makalesinde paylaşılan Kuzey-Batı Anadolu fay kıvrım sistemi basitleştirilmiş haliyle sunulmaktadır. **[7]**



Şekil 1.4: Türkiye Kuzey-Batı Anadolu bölgesinin fay kıvrım sistemi. **[7]**

İstanbul' un deprem tehlikesini kontrol eden tektonik yapılar, Kuzey Anadolu Fayı'nın (KAF) Marmara Denizi içinde yer alan kuzey kolunda bulunmaktadır. Ömer Emre vd. (2018) tarafından güncellenenen "Türkiye Diri Fay Veri Tabanı" haritalarında Marmara Bölgesi'ni kapsayan kısım aşağıdaki şekilde sunulmaktadır. Görüldüğü üzere KAF' ın Marmara Denizi içindeki Kuzey kolunın Batı kısmı 1912 Şarköy depreminde, Doğu kısmı ise 1999 Kocaeli depreminde kırılmıştır. Bu nedenle İstanbul'u etkileyecek Marmara Denizi depreminin bu kolun henüz kırılmamış orta segmentlerinin bir veya birkaç tanesi üzerinde meydana geleceği düşünülmektedir.



Şekil 1.5: Marmara Bölgesi diri fay verisi. **[7]**

Şekil 1.5' de Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi' nin 2009 yılında gerçekleştirdiği "İstanbul İli Olası Deprem Kayıp Tahminlerinin Güncellenmesi Projesi" kapsamında hazırlanan rapor içeriğinde baz alınan senaryo depremi için Marmara Fayı' nın yakın geçmişte kırılmamış olan segmentlerinde meydana gelebilecek 7.5 Mw büyüklüğündeki senaryo depremini oluşturan faylara ait bir görsel paylaşılmıştır.

Şekil 1.6' da ise çalışma bölgesi ile senaryo depremlerinin kaynak mekanizma fayları gösterilmiştir.



Şekil 1.6: Marmara Fayı' nda kırılmamış segmentleri ve çalışma alanı.

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen çalışmada, bu segmentlerin kaynak olduğu bir sismik dalga etkisi durumunda araştırma bölgesinde yer alan yapıların güçlendirme yöntemlerinin performansı irdelenecektir.

Döşemeler için 2 tip dikkate alınmıştır. Bunlar "Betonarme Kaset Döşeme (Çift Yönlü Nervürlü/Dişli Dolgulu Döşeme)" ve "Kirişli Plak Döşeme" olarak seçilmiştir. Bu iki sistemin seçilmesinin amacı, TBDY 2018 yönetmeliğinde her iki döşeme tipinin de aynı taşıyıcı sistem sınıfında dikkate alınabilmesidir. Bunun sebebi ise, tek doğrultulu dişli döşemeler için süneklik düzeyi ile ilgili bir sınırlama olmasına karşın, kaset döşeme gibi çift doğrultulu dişli döşemeler ile ilgili herhangi bir süneklik tariflemesi olmamasıdır. Bu nedenle kaset döşemelerin de kirişli plak döşemeler gibi yüksek süneklikli ve perdesiz olarak tasarlanabilmesinin önünde yönetmelik açısından bir engel yoktur. TBDY2018 yönetmeliğinde bu konuda kesin bir ayrım yapılmadığından, her iki döşeme tipindeki yapılar da yüksek süneklikli çerçeve sistem olarak tasarlanabilmektedir.

Bu tez çalışmasında önce aynı R ve D katsayılarıyla tasarlanmış, kat alanının %0, %0.70, %1.44, %2.10 oranında değişen sistem perdesi muhtevası olan sistemlerde kaset döşemeli ve kirişli plak döşemeli sistemlerin performansının kıyaslanması yapılacak ve yorumlanacaktır. Her sistemin maksimum tepe deplasmanına karşılık gelen taban kesme kuvvetleri ve göreli ötelenmeleri gibi temel tasarım parametreleri de mukayese edilecektir. Sonrasında ise performansı en düşük betonarme sistemi farklı güçlendirme yöntemleriyle güçlendirerek, güçlendirilmiş durumdaki performansları kıyaslanacaktır.

Aşağıda **Tablo 1.1**' de bu tez çalışmasının ön değerlendirme analizleri kapsamında analiz edilecek olan yapısal modeller ve özelliklerine ait bir özet tablo sunulmaktadır.

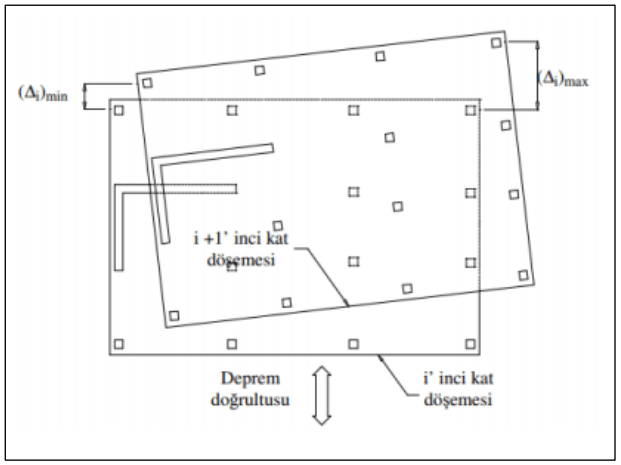
Tablo 1.1: Ön değerlendirmeye alınan yapıların özellikleri.

Ön Değerlendirmeye Alınan Yapıların Özellikleri							
ETABS Model İsimlendirmeleri	Döşeme Sistemi	Perde Oranı	f_{ck} (MPa)	f_{yk} (MPa)	$Ø_{etr}$ (mm)	s_{etr} (mm)	ρ_{boyuna}
KasetSistem-SWR(0.00)-Model01	Kaset	0.00%	35	35	10	100	~%1.00
KasetSistem-SWR(0.07)-Model01	Kaset	0.07%					
KasetSistem-SWR(1.44)-Model01	Kaset	1.44%					
KasetSistem-SWR(2.10)-Model01	Kaset	2.10%					
KirisliSistem-SWR(0.00)_Model01	Kirişli	0.00%					
KirisliSistem-SWR(0.07)_Model01	Kirişli	0.07%					
KirisliSistem-SWR(1.44)_Model01	Kirişli	1.44%					
KirisliSistem-SWR(2.10)-Model01	Kirişli	2.10%					

2. GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİ

Yapıların depreme karşı dayanıklılığını artırmak amacıyla uygulanan güçlendirme yöntemleri, bu araştırmada "Sistem Genelinde Güçlendirme" ve "Eleman Özelinde Güçlendirme" olarak iki temel kategoriye ayrılır. Bu sınıflandırma, güçlendirme ihtiyacının kaynağına bağlıdır; bazı binalarda taşıyıcı sistemin genel düzenindeki eksikliklerin giderilebilmesi sistematik çözümleri gerektirirken, bazı durumlarda ise yerel taşıyıcı elemanlardaki zayıflıkların bertaraf edilmesi hedeflenir. Bu yöntemler, yapı mühendisliğinin dinamik analiz, sismik tasarım ve yapısal iyileştirme disiplinlerini bir araya getirerek uygulanır.

Sistem genelinde güçlendirme, yapının taşıyıcı sisteminde kapsamlı müdahalele içerir. Örneğin, moment aktaran betonarme kolon/kiriş çerçeve elemanlarından oluşan bir yapıda, mimari gerekliliklerle çekirdek perdelerinin yapının köşe bölgelerine konumlandırılması durumunda, rijitlik merkezi ile yapının ağırlık merkezi arasında büyük bir farklılık oluşturduğundan, yapının sismik performansını olumsuz etkileyen burulma momentlerini artırır. Aşağıdaki **Şekil 2.1**' de bu konunun görsel tarifi sunulmaktadır.



Şekil 2.1: Asimetrik perde yerleşiminde burulmanın şematik tarifi.**[36]**

Bu durumlarda, rijitlik merkezi ile ağırlık merkezini birbirine yaklaştırmayı hedefleyen müdahaleler, burulma rijitliğini artırarak dinamik yükler altındaki performansı iyileştirir. Bu gibi durumlarda kullanılan yöntemler, yapısal dirençliliği

artırmak için çelik çapraz profiller eklenmesi, yeni betonarme perde duvarların eklenmesi veya enerji sönümleme sistemleri gibi modern teknolojilerle desteklenir.

Elemanlar özelinde güçlendirme, belirli taşıyıcı elemanların mekanik özelliklerini artırmayı veya yerel hasarları gidermeyi amaçlar. Örneğin, korozyon nedeniyle kesit kaybına uğramış betonarme kolonların karbon fiberle sarılması ya da çelik plakalarla güçlendirilmesi, elemanın dayanım özelliklerini iyileştirebilir. Ayrıca, birleşim bölgelerindeki zayıflıkların epoksi enjeksiyonu veya çelik plakalarla güçlendirilmesi, bu bölgelerdeki moment aktarma kapasitesini artırarak elemanlardaki kesit deformasyonlarını sınırlar. Bu yöntemler, yapı elemanlarının performansını hedef alan detaylı mühendislik analizleriyle gerçekleştirilebilmektedir.

Bu iki güçlendirme yaklaşımı, yalnızca yapıların mevcut zayıflıklarını gidermekle kalmaz, aynı zamanda depreme dayanıklılık kapasitesini artırarak uzun vadeli bir yapısal güvenlik sağlar. Bununla birlikte, güçlendirme süreçlerinde kullanılan yenilikçi ve dayanıklı malzemeler, yapı ömrünü uzatarak sürdürülebilirliği de desteklemektedir. Bu bölümün devamında, “Sistem Genelinde Güçlendirme” ve “Eleman Özelinde Güçlendirme” yöntemleri kısaca açıklanacaktır.

2.1. Sistem Genelinde Güçlendirme Yöntemleri

Sistem genelinde güçlendirme, yapının tamamının deprem, rüzgar, patlama gibi dinamik etkilere karşı performansını iyileştirir. Ancak, bu yöntemlerin farklı seçenekleri bulunmakta olup, yapının kullanım amacına, ilgili dönemdeki yönetmeliklere ve güçlendirme işinin tamamlanması gereken süreye göre farklı stratejiler uygulanabilir.

Örneğin, müze, arşiv veya banka gibi değerli ürünler içeren yapılarda sadece belirli bölgelerde güçlendirme yapılabilirken, tarihi öneme sahip bir yapıda görünümü bozmayan güçlendirme yöntemleri tercih edilir. Ancak bir konut veya iş merkezinde güçlendirme seçenekleri konusunda daha esnek davranılabilir. Örneğin, bir konut yapısında bölme duvarların betonarme perde duvarlara dönüştürülmesi, estetik kaygılardan ziyade yapının taşıyıcı kapasitesini artırmak adına rahatlıkla gerçekleştirilebilir. Bu tür esneklik, yapıların işlevselliğini ve güvenliğini artırırken, çevresel ve sosyo-ekonomik koşullara göre farklı stratejiler izlemeyi de mümkün kılar.

Sistem genelinde yapılan güçlendirmeler yüzyıllardır kullanılmaktadır. Ayasofya Camii yapısının uğradığı güçlendirmeler, bu konudaki başlıca örneklerden biridir.

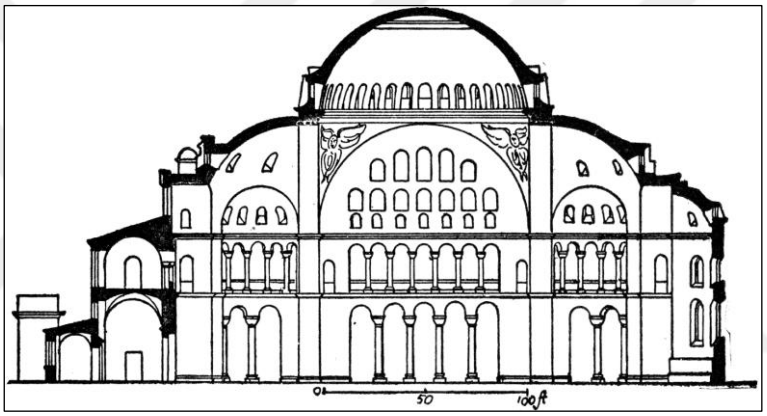
Ayasofya' nın statik tasarımı, inşa sürecinde karşılaşılan mühendislik ve tasarım zorluklarından dolayı atlattığı büyük yapısal tehlikeler ile dikkat çeker. Yapıldığı dönemde geniş kubbesi (31.87m) sayesinde dünyanın en büyük katedralini tasarlayan Miletoslu İsidoros ve Trallesli Anthemius, Bizans İmparatoru I. Justinianus tarafından görevlendirilmiştir. İki mühendis, birbirleriyle uyum içinde çalışarak Ayasofya'nın inşasına ve tasarımına dair dönemin en büyük mühendislik başarısını gerçekleştirmiştir. Ancak dönemin mühendislik ve inşa tekniği bilgileriyle bu denli zorlu bir projeyi 5 yıl gibi kısa bir sürede inşa etmek, bazı imalat ve hesap hatalarını da beraberinde getirmiştir. Bu hatalar yapının erken dönemde ciddi yapısal sorunlarla karşılaşmasına neden olmuştur. İnşa sırasında yaşanan bu eksiklikler, özellikle kubbenin taşıyıcı sistemi ve zeminle ilgili sorunlara yol açmış, yapının stabilitesi risk altına girmiştir. Bu tür mühendislik hataları, yapıların kalıcı dayanıklılığını olumsuz etkilemektedir.

Ayasofya açıldığında, kısa süre içinde yapısal elemanlarda çatlamalar ve temelde oturmalar ortaya çıkmıştır. Bu durum, yapısal hataların fark edilmesine ve hızlı bir şekilde çözüm arayışı geliştirilmesi ihtiyacına neden olmuştur. Yapının tasarımını gerçekleştiren iki mühendis tekrar bir araya gelmiş ve ilk güçlendirmede kubbenin taşıyıcı yükünü daha iyi dağıtabilmek için duvarlar kalınlaştırılmış, destek payandaları eklenmiş ve yapının stabilitesini artıracak çeşitli yöntemler uygulanmıştır. Bu güçlendirmeler, Ayasofya'nın sağlıklı bir şekilde varlığını sürdürmesi için oldukça önemli olmuştur ve yapının ilk inşa dönemdeki yapısal sorunlar kısmen giderilmiştir.

Ancak, Ayasofya, zaman içinde doğal afetlerden ve özellikle depremlerden dolayı çeşitli hasarlar görmeye devam etmiştir. Bu sebeple, Osmanlı dönemine gelindiğinde, yapının bir kez daha güçlendirilmesi gerekmiştir. 16. Yüzyılda Mimar Sinan, Ayasofya'yı büyük bir titizlikle onarmış ve güçlendirmiştir. Sinan, özellikle kubbeyi destekleyen sistemleri iyileştirerek, yapının dayanıklılığını artırmış, **Şekil 2.1**' de dış duvarlara eklediği payandalarla yapıyı daha stabil hale getirmiştir. Sinan'ın uyguladığı güçlendirme, yapının uzun ömürlü olmasını sağlayan ve zamanın getirdiği yapısal zorlukları aşmaya yardımcı olan önemli bir müdahale olmuştur. Bu güçlendirme, Ayasofya'nın günümüze kadar sağlam kalmasının en büyük nedenlerinden biridir.



Şekil 2.2: Mimar Sinan' ın Ayasofya Camii' ne eklediği uçan payandalar. **[8]**



Şekil 2.3: Ayasofya Camii yapısal kesit çizimi. **[9]**

Sinan'ın güçlendirme müdahaleleri, sistem genelinde yapılan güçlendirme yöntemlerine bir örnek teşkil eder. Sinan, Ayasofya'nın yük dağılımını düzenleyen ve yapıyı daha stabil hale getiren çözümler sunmuştur. Bu tür müdahaleler, yapıyı yalnızca geçici olarak değil, uzun vadeli yapısal güvenlik için de güçlendiren çözümlerdir.

Ayasofya'nın tarihinde yapılan bu güçlendirmeler, sistem genelinde yapılan mühendislik müdahalelerinin, yapıyı uzun yıllar boyunca dirençli tutma açısından ne denli önemli olduğunu gösterir. Bu tarihi perspektifte, Miletoslu İsidoros, Trallesli Anthemius ve özellikle de Mimar Sinan'ın müdahalelerinin, yapının günümüze kadar ulaşabilmesini sağlamıştır. Bu sonuç, "Sistemin Genel Güçlendirilmesi" yaklaşımının ne kadar etkili ve sürdürülebilir olduğunu ortaya koymaktadır.

Bu bölümde, sistem genelinde uygulanan başlıca güçlendirme yöntemlerine genel bir bakış sunulacaktır.

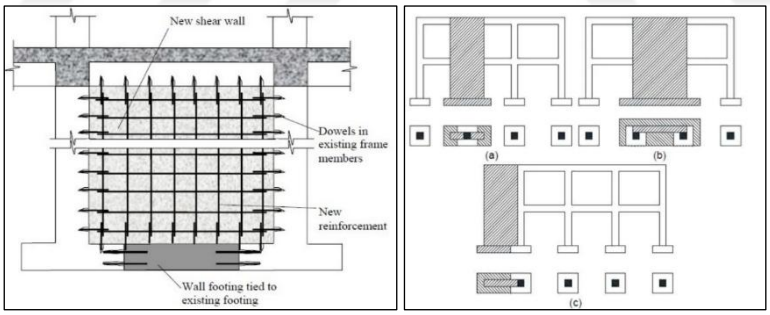
2.1.1. Taşıyıcı Eklenmesi

Bu taşıyıcılar farklı malzemelerden teşkil edilebilir. Çelik, betonarme, kompozit vb. her türlü malzeme amaca uygun olarak yapısal taşıyıcı olarak seçilebilir.

a) Perde eklenmesi: Dıştan veya içten olmak üzere ikiye ayrılır. Genellikle iki kolon arasındaki boşluğa, kolonlar da mantolanarak perde ilave edilir.



Şekil 2.4: Betonarme perde ilavesi uygulama örnekleri. **[10], [11], [12]**



Şekil 2.5: Betonarme perde ilavesi şematik detay ve çizim örneği. **[11], [12]**



Şekil 2.6: Betonarme perde ekleme mantolama uygulama örneği. **[13]**

b) Kolon eklenmesi: Çerçeve süreksizliği, yetersiz düşey taşıyıcılar, ilave merdiven/asansör gibi düşey sirkülasyon elemanı ihtiyacı gibi sebeplerden dolayı taşıyıcı sisteme kolon eklenebilir. Bu kolonlar betonarme, çelik veya kompozit olarak imal edilebilir.

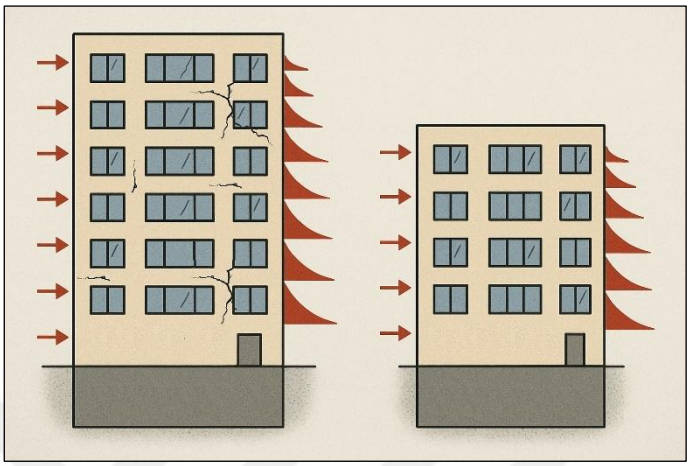
c) Kiriş eklenmesi: Çerçeve süreksizliği, döşemelerde sehim sınırının aşılması, mahal kullanım amacının değiştiği gibi durumlarda ilave çerçeve kirişi veya tali kirişler imal edilerek güçlendirme gerçekleştirilebilir. Bu kirişler betonarme, çelik veya kompozit olarak imal edilebilir.

d) Döşeme eklenmesi: Tek parça veya birkaç parçadan oluşan döşeme boşluklarının toplamının kat alanının ~%25 kadarını geçtiği durumlarda kat döşemeleri kendi düzlemleri içinde deprem kuvvetlerini düşey taşıyıcı elemanlara güvenle aktaramadığı için, yapıya döşeme ilavesiyle kat diyafram hareketini destekleyici bir güçlendirme gerçekleştirilebilir. Bu döşemeler betonarme, çelik veya kompozit olarak imal edilebilir.

e) Temel eklenmesi: Mevcut binanın temel sisteminin yetersiz olduğu durumlarda seçilebilen bir güçlendirme yöntemidir. Örneğin tekil veya şerit temelli bir mevcut yapıda, bu elemanları birbirine bağlayan bir radye temel sistemi ilavesiyle yapının zemin ile olan ilişkisi iyileştirilebilir.

2.1.2. Kat Adedi Değişikliği

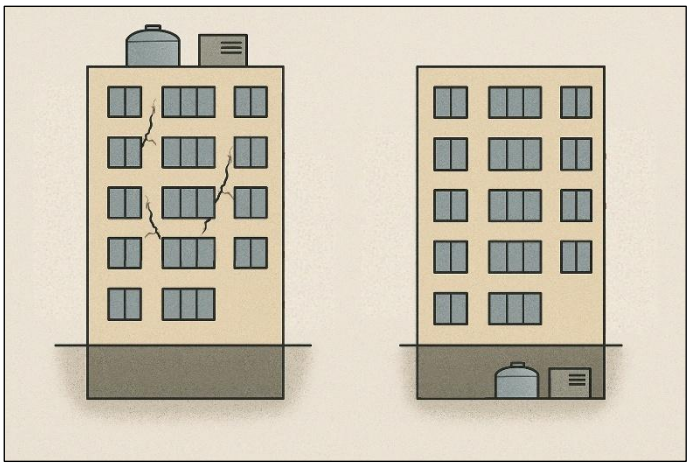
Mevcut yapının ağırlığını azaltmak amacıyla yapıdan bir veya birkaç kat kaldırılabilir. Bu durum tüm kat alanı için olmasa da kısmi bir bölge için de gerçekleştirilebilir.



Şekil 2.7: Yapıda kat değişikliği ile performans artışı. **[31]**

2.1.3. Mahal/Yerleşim Değişikliği

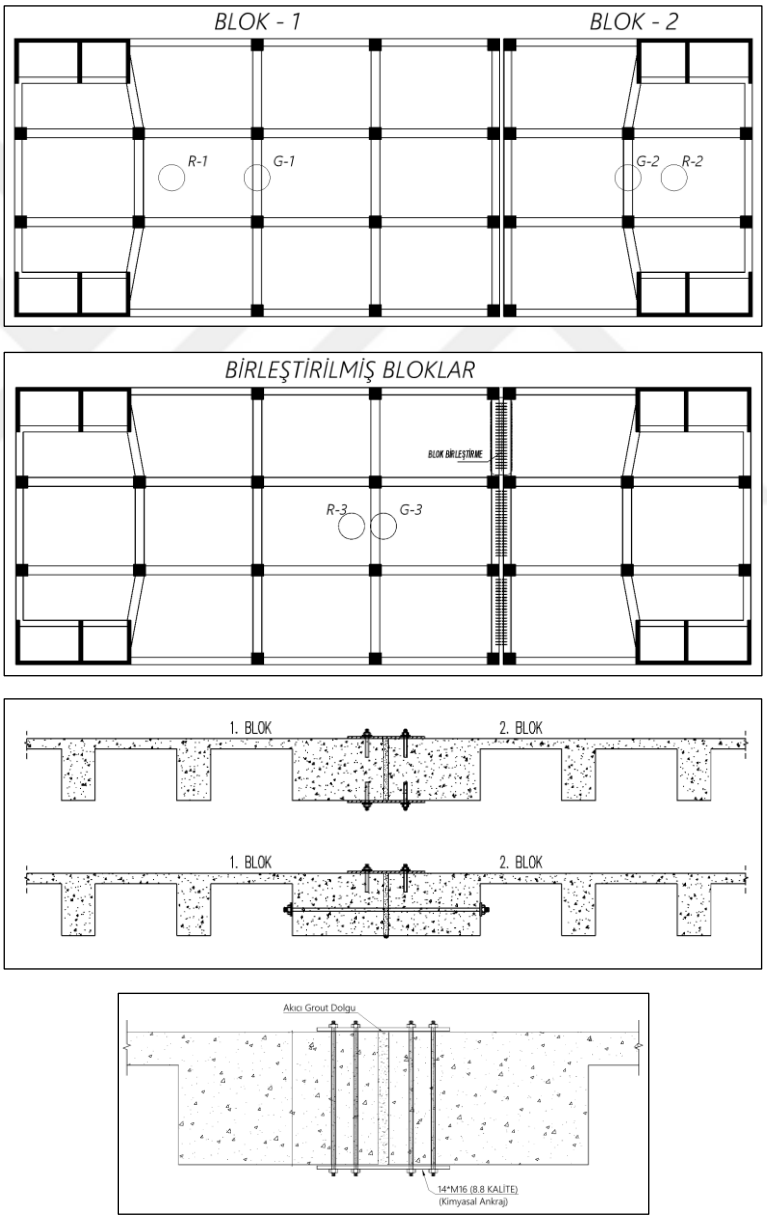
Yapıdan bir veya birkaç mahal kaldırılarak/kaydırılarak yapı ağırlığı azaltılabilir. Örneğin çatıda su deposu/jeneretör, üst katlarda malzeme deposu vb. mahallerin kaldırılarak bodrum katlara aktarılması da yapının performansını olumlu yönde etkileyecektir.



Şekil 2.8: Yapıda mahal/yerleşim değişikliği ile performans artışı. **[31]**

2.1.4. Blok Birleştirme

Bitişik veya birbirine çok yakın ayrık yapıların birleştirilerek daha dengeli bir yapı elde edilebilir. Yapıların birleştirilmesi durumunda birbirlerinin avandajlı/dezavantajlı özelliklerinin dengelenmesi esastır. Örneğin aşağıda **Şekil 2.8**'de Blok-1 ve Blok-2 yapılarında rijitlik ve kütle merkezleri birbirinden uzak olduğu için burulma ektileri yüksektir. Ancak bu bloklar birleştirildiğinde, daha simetrik ve dengeli bir yapı elde edilmektedir.



Şekil 2.9: Betonarme yapılarda blok birleştirme yöntemi tipik detay çizimleri.

2.1.5. Yapı Kullanım Sınıfı Değişikliği

Bu yöntem esasen bir güçlendirme yöntemi değildir. Ancak yönetmeliğin yapı kullanım sınıfına göre hedeflediği deprem performans seviyesini karşılayabilmek için alternatif ve pratik bir yol olarak seçilebilir. Hedeflenen performans seviyesini karşılayabilmek için yapının işlevini yeniden tanımlamak, bazı durumlarda ekonomik bir çözüm olabilir.

Örneğin yüksek depremsellik parametrelerine (DTS=1 ve 1a) sahip olan konut (I=1.0) ve okul (I=1.5) binaları için bu karşılaştırma yapıldığında, KH performans seviyesinin yeterliliği konut binaları için DD-2 düzeyinde sınanırken, okul binaları için DD-1 seviyesinde düzeyinde sınanmaktadır.

Tablo 2.1: Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları (TBDY2018)

Tablo 3.1 – Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayıları

Bina Kullanım Sınıfı	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (I)
BKS = 1	**Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar** **a)** Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) **b)** Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. **c)** Müzeler **d)** Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb. özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1.5
BKS = 2	**İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar** Alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb.	1.2
BKS = 3	**Diğer binalar** BKS=1 ve BKS=2 için verilen tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb.)	1.0

Tablo 2.2: Deprem tasarım sınıfları (DTS) (TBDY2018)

Tablo 3.2 – Deprem Tasarım Sınıfları (DTS)

DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS})	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS = 1	BKS = 2, 3
$S_{DS} < 0.33$	DTS = 4a	DTS = 4
$0.33 \le S_{DS} < 0.50$	DTS = 3a	DTS = 3
$0.50 \le S_{DS} < 0.75$	DTS = 2a	DTS = 2
$0.75 \le S_{DS}$	DTS = 1a	DTS = 1

Tablo 2.3: Mevcut binalarda performans hedefleri (TBDY2018)

(c) Mevcut Yerinde Dökme Betonarme, Önüretimli Betonarme ve Çelik Binalar (Yüksek Binalar dışında – BYS ≥ 2)

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS = 1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-3	—	—	SH	ŞGDT
DD-2	KH	ŞGDT	—	—
DD-1	—	—	KH	ŞGDT

2.1.6. Harici Çerçeve Eklenmesi:

Yapılara dıştan çerçeve (external frame) eklenmesi yöntemi, mevcut yapıların deprem performanslarını artırmak amacıyla uygulanan bir güçlendirme tekniğidir. Bu yöntemde, yapının dış cephelerine çelik veya betonarme çerçeveler entegre edilerek, taşıyıcı sistemin rijitliği ve sünekliği artırılır.

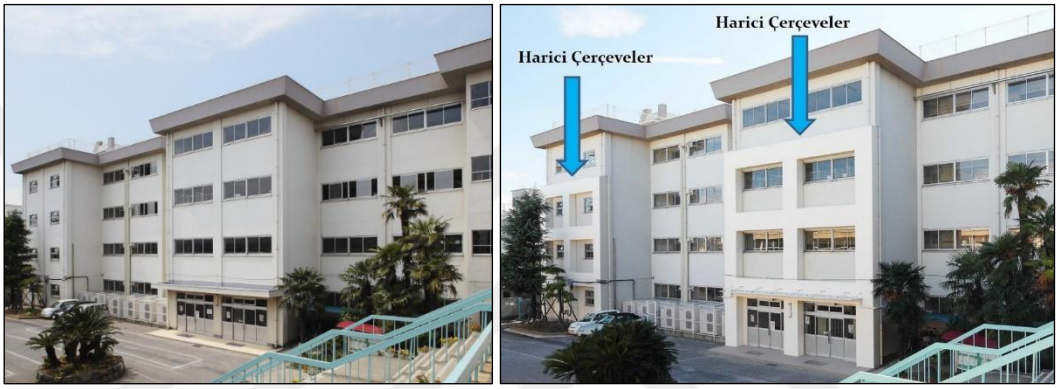
Dıştan çerçeve eklenmesi sistemi, mevcut yapının dışına ilave edilen çerçeve elemanları (kolon, kiriş ve gerekirse çapraz elemanlar) aracılığıyla, yatay yüklerin (özellikle deprem etkilerinin) yapı tarafından daha etkin biçimde karşılanmasını sağlar. Bu dış çerçeveler, mevcut taşıyıcı sisteme uygun şekilde bağlanadığında bütünleşik bir davranış sergileme imkanı yapıya sağlanır. Sistemin amacı, mevcut taşıyıcı sistemin yatay rijitliğini ve enerji sönümleme kapasitesini artırmak, böylece yapının genel dayanımını ve sünekliğini geliştirmektir. Dış çerçeveler, yapı davranışını yönlendiren alternatif bir yük taşıma yolu sunar ve özellikle mevcut sistemin zayıf kaldığı noktalarda yük paylaşımına katkıda bulunur.

Yapılara dıştan çerçeve eklenmesi yöntemi, mevcut taşıyıcı sisteme müdahale etmeksizin güçlendirme yapılabilmesine olanak tanıdığı için önemli avantajlar sunar. Bu yöntemle yapıların deprem dayanımı artırılırken, iç mekân kullanımı etkilenmez ve binanın kullanım dışı kalma süresi en aza indirilir. Ayrıca çerçeve elemanları yapıya ek taşıyıcı kapasite kazandırarak rijitlik ve sünekliği artırır. Prefabrike/çelik elemanlarla hızlı montaj imkânı ve mimari tasarıma entegre edilebilme esnekliği de diğer olumlu yönlerdendir. Ancak bu sistemin bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Özellikle yeni yüklerin mevcut temellere etkisi iyi değerlendirilmezse yapısal sorunlar oluşabilir. Ayrıca uygulama maliyetleri yüksek olabilir ve yapıyla yeni sistem arasında rijitlik uyumsuzluğu yük paylaşımında dengesizlik yaratabilir. Estetik kaygılar, kentsel dokuya uyum ve inşaat sırasında ulaşım ile güvenlik önlemleri de dikkatle ele alınması gereken hususlardır.

Özellikle çerçeve sistemli yapılarda dıştan çerçeve ekleme yöntemi, güçlendirme için mimari ve statik açıdan oldukça avantajlı bir güçlendirme yöntemidir.



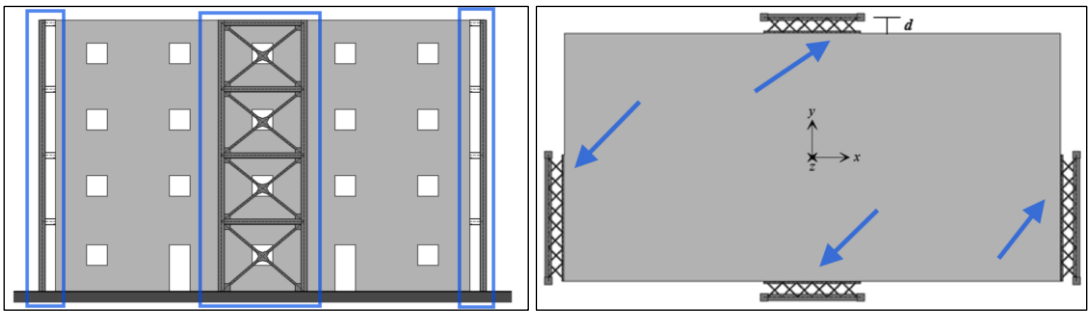
Şekil 2.10: Dış çerçeve eklenmesi uygulama öncesi/sonrası görünümü. **[14]**



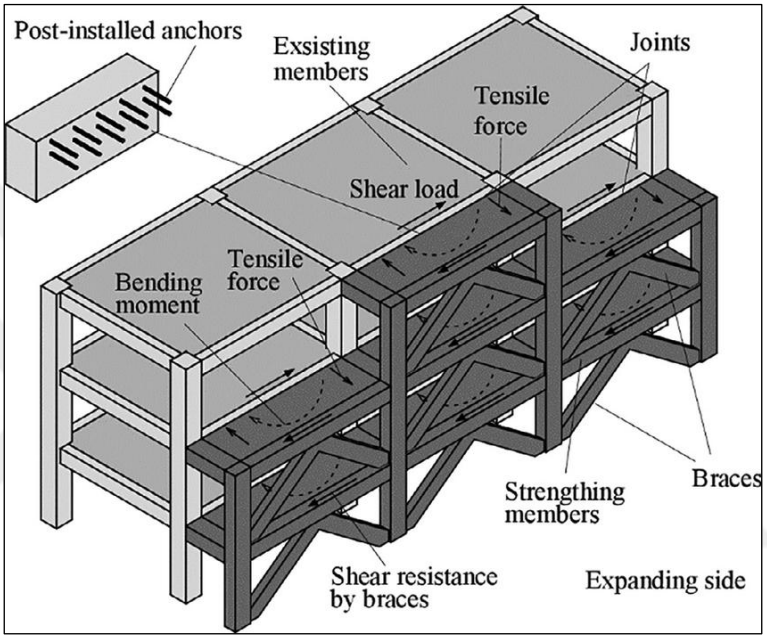
Şekil 2.11: Dış çerçeve eklenmesi uygulama öncesi/sonrası görünümü. **[15]**



Şekil 2.12: Dıştan çelik çerçeve eklenme uygulaması yeni yapı görünümü. **[16]**



Şekil 2.13: Dıştan çelik çerçeve eklenmesi şematik plan ve kesit çizimi.**[32]**



Şekil 2.14: Dıştan çelik çerçeve eklenmesi şematik 3b görünüm. **[33]**

2.1.7. Viskoz Damperler ile Güçlendirme

Viskoz sönümleyiciler, yapıların sismik davranışını iyileştirmek amacıyla kullanılan enerji sönümleme elemanlarıdır. Bu sistemler, bir pistonun yüksek viskoziteli bir sıvı (genellikle silikon yağı) içinde hareket etmesi prensibine dayanır. Deprem veya rüzgâr gibi dinamik yükler etkisiyle yapı titreştiğinde, sönümleyici içerisindeki piston ileri-geri hareket eder ve bu hareket sırasında sıvının dar geçişlerden zorlanarak akmasıyla viskoz direnç oluşur. Bu direnç, mekanik enerjiyi ısı enerjisine dönüştürerek yapının maruz kaldığı titreşimleri sönümler.

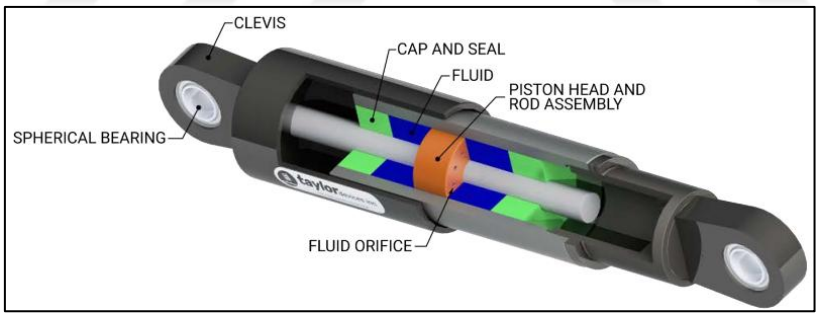
Sistemin çalışma prensibi harekete dayalı olduğundan, bu sistemin binaya olumlu etkisini görebilmek için yapının deplasman yapması gerekmektedir. Bu nedenle

burulma ve yanal ötelenme rijitliği problemleri olan yapılarda, sadece vizkoz sönümleyiciler ile güçlendirme yönteminden etkili bir performans artışı beklenmemektedir.



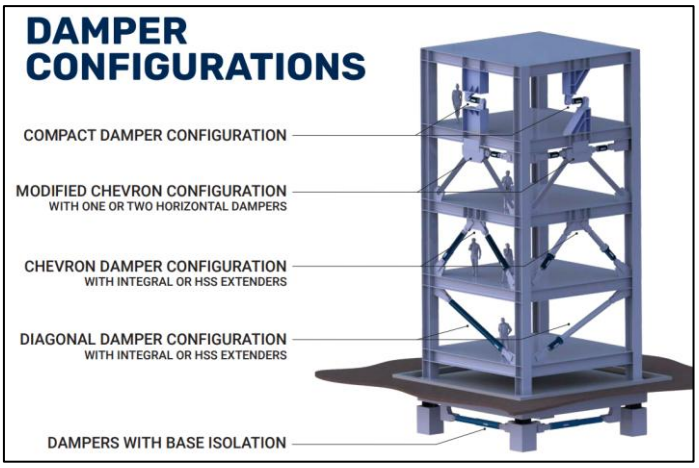
Şekil 2.15: Viskoz sönümleyiciler ile güçlendirme/tasarım uygulaması.

Aşağıda bilinirliği yüksek ve bir çok kez ürünleri test edilmiş "Taylor Devices" firmasına ait bir viskoz damper kesiti sunulmuştur.



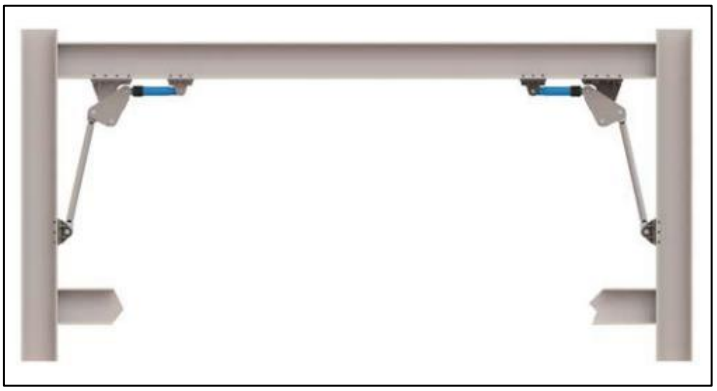
Şekil 2.16: Viskoz sönümleyici prensip kesiti (Taylor Devices).

Viskoz sönümleyicili sistemler tıpkı BRB elemanlar gibi çeşitli çapraz konfigürasyonlarında kullanılabilmektedir. Aşağıda **Şekil 18**' de çeşitli viskoz sömümleyici konfigürasyonlarını tarifleyen 3B görsel sunulmuştur.



Şekil 2.17: Viskoz sönümleyici konfigürasyonları (Taylor Devices).

Viskoz sönümleyicili sistemlerin kullanıldığı bir başla konfigürasyon olan Açık Alan Damper Sistemi (Open Space Damper System - OSDS), rüzgar veya deprem taleplerine karşı sönümleme sağlarken yapısal açıklığın büyük kısmında geçiş imkanı sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. Mekanik bağlantılar, açıklığın üstü ile altı arasındaki farklı hareketleri sönümleyiciye iletmek için kullanılır, böylece sönümleyici ve bağlantılar açıklığın köşelerine yerleştirilebilir. Ancak bu sistem düşük deplasmanlar için efektif olduğundan, doğrudan sönümleme uygulamalarına göre çok daha az verimlidir.



Şekil 2.18: Açık alan damper sistemi şeması (OSDS, Taylor Devices).

Michael C. Constantinou ve ekip arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda standart diyagonel veya ters "V" çaprazlı viskoz sönümleyicilerin içsel deplasmanları yapısal taşıyıcı sistemin kat deplasmanına çok yakın veya daha azdır. Bu sebeple

viskoz sönümleyicilerin kapasitelerinin tamamını kullanabilmeleri için, yapısal sistemin belli bir deplasmana ulaşabilmesi gerekmektedir. **[40]**

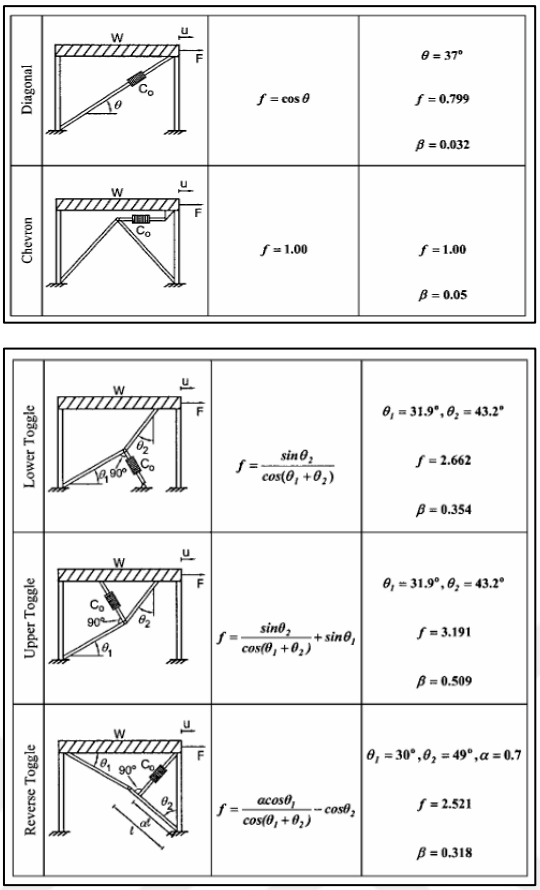
Deprem etkilerine karşı güçlendirilmesi gereken yapıların bir çoğunda, yönetmeliklerce belirlenmiş hasar performans seviyesi sınırlarına karşılık gelen deplasman miktarları oldukça düşük mertebelerde olmaktadır. Bu da güçlendirilecek yapılarda viskoz sönümleyici sistemlerin kullanılabilmesi için, asgari bir süneklik seviyesi (deplasman kapasitesi) gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Michael C. Constantinou ve ekip arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda farklı viskoz sönümleyici konfigürasyonlarına karşılık gelen "yapısal deplasman-viskoz sönümleyici içsel deplasmanı" oranları tespit edilmiştir. Aşağıda bu çalışmaya ait özet bilgiler sunulmuştur;

Genel olarak rijit yapısal sistemlerin dinamik etkilere küçük ötelenme (drift) ve küçük katlar arası hızlarla tepki verdiği kabul edilmektedir. Bu gerçek, sönümleme cihazlarının ya çapraz elemanlar olarak ya da chevron çapraz sistemlerin tepesinde yatay elemanlar şeklinde uygulanmasıyla birleştiğinde, cihaz ötelenmelerinin katlar arası ötelemeden daha az veya en fazla ona eşit olmasına neden olur. Bu da, etkin enerji sönümleme sağlamak için sönümleme cihazlarında büyük kuvvetler gerektirdiği anlamına gelir. **[40]**

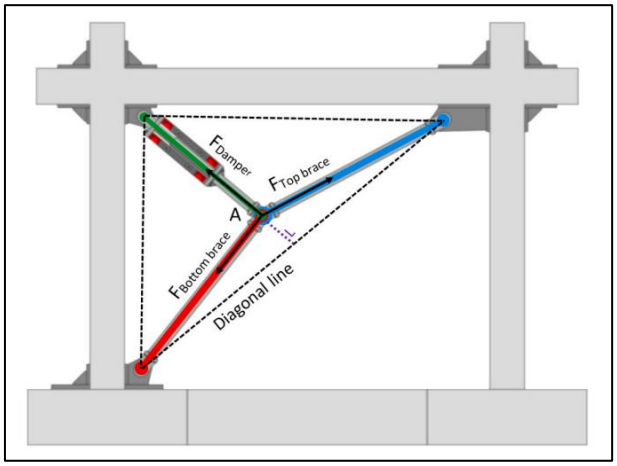
Çalışmada, sönümleyici cihazların yer değiştirmelerini yapısal ötelemeden daha büyük hale getiren, "toggle" mekanizmasına dayalı üç yeni enerji sönümleme sistemi konfigürasyonunu tanımlanmaktadır. Yerdeğiştirme büyütme miktarı, çaprazlarının geometrisine bağlıdır. Ancak pratikte bu değerler genellikle 2.0 ila 5.0 aralığındadır. Enerji sönümleyici cihazın yer değiştirmesinin büyütülmesi sayesinde, gerekli cihaz kuvveti aynı oranda azalır ve bu da rijit yapısal sistemler için son derece uygun olan, yüksek verimli sistemler elde edilmesini sağlar. Yüksek deplasman kapasiteli yapılarda ise daha düşük deplasman seviyelerinden başlayan akışkan direnci oluştuğundan, yapısal performans artacaktır. **[40]**

Aşağıda **Şekil 2.20**' de viskoz sönümleyicinin içsel deplasmanının yapısal deplasmana oranla uğradığı büyütme faktörleri ve sistemin sönüm oranını ifade eden görseller sunulmuştur.



Şekil 2.19: Farklı konfigürasyonlarda deplasman ve sönüm faktörleri. **[40]**

Yukarıda ifade edilen büyütme katsayısı (f), viskoz damperin içsel ötelenmesinin katlar arası ötelenmeye oranını ifade etmektedir. Bu oran ne kadar yüksekse, damper de o kadar düşük deplasmanlarda çalışabilmektedir.



Şekil 2.20: Reverse Toggle Brace şematik gösterimi. **[39]**

2.1.8. Ayarlı Kütle Sönümleyiciler (TMD) ile Güçlendirme

Ayarlı Kütle Sönümleyici (Tuned Mass Damper, TMD) sistemleri, yapıların dinamik davranışlarını kontrol altına almak amacıyla geliştirilen pasif titreşim kontrol sistemleridir. Temel olarak bir kütle, yay ve sönümleyici elemanından oluşan bu sistemler, yapıya entegre edilerek onun doğal frekanslarından birine ayarlanır. Yapı bu özel frekansta dış zorlanmalara maruz kaldığında, TMD sistemi yapı hareketine ters fazda titreşerek yapısal titreşim enerjisinin bir kısmını kendi içerisinde sönümler. Böylece hem yapıdaki ivmeler hem de deplasmanlar azalır.

TMD sistemleri, herhangi bir harici enerji kaynağına veya aktif kontrol mekanizmasına ihtiyaç duymadan çalıştığı için pasif sistemler olarak sınıflandırılır. Bu özellikleri sayesinde, özellikle depreme ve rüzgâr yüklerine karşı etkili ve düşük bakım gerektiren bir çözüm sunarlar.

TMD kavramı ilk olarak 1909 yılında Frahm tarafından gemilerdeki yalpa hareketini azaltmak amacıyla uygulanmış, teorik altyapısı ise 1928 yılında Ormondroyd ve Den Hartog tarafından geliştirilmiştir. Den Hartog'un 1940 yılında yayımladığı "Mechanical Vibrations" adlı eser, TMD sistemlerinin optimum ayar parametreleri ve teorik temelleri açısından önemli bir kaynak olarak kabul edilmektedir.

Başlangıçta sönümsüz tek serbestlik dereceli (SDOF) sistemler için geliştirilmiş olan bu teoriler, daha sonra sönümlü sistemler ve çok serbestlik dereceli (MDOF) sistemler için de genişletilmiştir. Bu kapsamda yapılan önemli akademik katkılar arasında Randall (1981), Warburton (1981, 1982), Warburton & Ayorinde (1980) ve Tsai & Lin (1993) gibi araştırmacıların çalışmaları yer almaktadır.

Yapılarda uygulanan TMD sistemleri, belirli bir modun titreşimini azaltmak üzere optimize edilebilir ve genellikle çatı katına veya açık hacimli alanlara yerleştirilir. Sistem, dış uyartı başladığı anda devreye girer ve hemen etkili olmaya başlar. Uygulamalarda, harmonik kuvvet etkisi altında kalan sistemlerdeki performansı kadar, deprem gibi daha düzensiz yer hareketlerine karşı da oldukça başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Ayarlı Kütle Sönümleyiciler, yapı ile etkileşim hâlinde çalışan kütle, yay ve sönüm elemanlarından oluşur. Bu sistemlerin temel prensibi, kütlenin yapının hâkim titreşim frekansına göre zıt fazda tepki vermesi ve böylece ana yapının titreşim enerjisinin bir

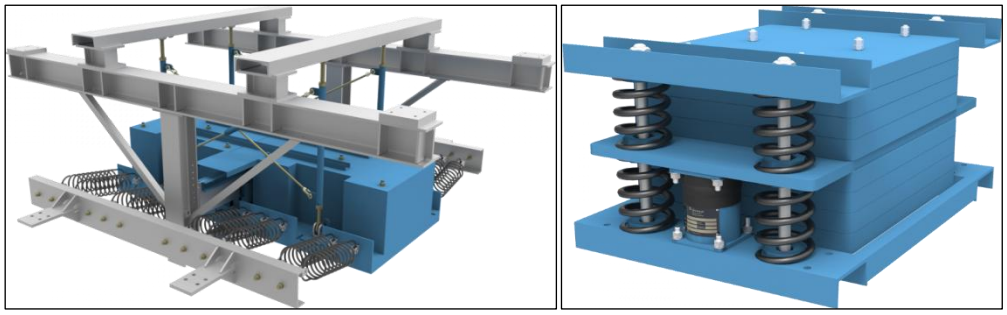
kısmını üzerine almasıdır. Ancak, TMD'lerin enerji sönümleme kapasitesi, yalnızca ayarlanmış kütle-yay sisteminden değil, sistemin içinde yer alan sönüm mekanizmasından kaynaklanır. İçerdikleri sönüm elemanları ise genellikle viskoz (akışkan direnci), sürtünmeli (temas yüzeyi) veya histeretik (malzeme deformasyonu) türlerinden biri olabilir. Dolayısıyla TMD'ler, farklı sönümleme mekanizmalarını bünyelerinde barındırabilen birer modüler sistem olarak ele alınmalıdır ve sönüm mekanizmalarının TMD içinde bir bileşen olarak kullanıldığı unutulmamalıdır.

Ayarlı Kütle Sönümleyicileri (Tuned Mass Dampers - TMD) genel çalışma prensipleri aynı olmakla birlikte, kütlenin tipi, yerleşimi, sönümleme mekanizması ve yapının hareket eksenine göre farklı şekillerde sınıflandırılabilir. Aşağıda en yaygın TMD türlerini özetlenmektedir;

Çalışma eksenine göre TMD sistemleri ‘yatay’ ve ‘düşey’ olmak üzere iki tiptir;

Yatay TMD (Horizontal TMD), rüzgar veya deprem etkileri gibi yatay titreşimleri azaltmak amacıyla kullanılır ve genellikle yapıların üst katlarına yerleştirilir. Yatay titreşimlerde yapısal hareketin genliği genellikle yapının en üst katlarında maksimumdur. TMD sistemleri genliklerin yüksek olduğu bölgede daha yüksek moment koluna sahip olacağından, daha etkin bir sönümleme gerçekleştirebilir. Bu durum sarkaçtaki maksimum etkiyi gözlemleyebilmek için, ağırlığın ipin ucuna yerleştirilmesi gibi düşünülebilir. Ağırlık ne kadar hareket merkezine yakın olursa, ağırlığın harekete etkisi de o kadar düşük olmaktadır. Ayrıca genliğin yüksek olduğu noktaya yerleştirilen kütlenin moment kolu yüksek olacağından, daha az kütle ile daha yüksek etki elde edilmektedir ve böylece yapının ağırlığı fazla artırılmamış olmaktadır.

Düşey TMD (Vertical TMD) ise, köprü gibi yapıların düşey titreşimlerini azaltmak amacıyla kullanılmaktadır. Özellikle uzun açıklıklı hafif köprülerde düşey titreşim yüksek olduğundan, taşıt geçişleri sırasında oluşan ‘ani zıplama’ tipli düşey titreşimlerin azaltılmasında kullanılmaktadrı. Mikroskopi veya lazer optik sistemlerin yer aldığı laboratuvar ortamları gibi hassas mekanların bulunduğu endüstri tesislerinde zemin titreşimlerinin düşey etkilerini azlatmak amacıyla da kullanılmaktadır. Bu sistemlerde yüksekliğe dik yönde (aşağı-yukarı) çalışan bir yay ve sönümleyici ile düşey mod frekansına ayarlanmış bir kütle kullanılır ve yapı düşey yönde titreştiğinde TMD, ters fazda salınarak enerjiyi emer ve yayılır.



Şekil 2.21: Yatay (solda) ve düşey (sağda) çalışan TMD sistemleri. **[17]**

Çalışma eksenine göre TMD sistemleri ‘tekil kütleli’ ve ‘çoklu kütleli’ olmak üzere iki tiptir;

Tekil Kütleli TMD (Single Mass TMD), yaylı ve sönümleyicili sistemlere bağlanmış tek bir kütle içermektedir. Bu tipin kullanıldığı en bilindik binalar ise John Hancock Tower (ABD), Taipei 101 (Tayvan), London Millennium Bridge (İngiltere) yapılarıdır.

Çoklu Kütleli TMD (Multiple Mass TMD) ise, birden fazla kütlenin farklı frekanslara ayarlanarak kullanılmasıyla geniş frekans bandı üzerinde etkili olması prensibine dayanan bir yöntemdir. En yaygın örnekleri Tokyo Skytree (Japonya) ve Shanghai Tower (Çin)

Ayarlanmış kütle sönümleyici (TMD) sistemler mevcut yapıların güçlendirilmesinde kullanıldığı gibi, yeni yapıların tasarımında da kullanımı yaygın sistemlerdir. Özellikle yüksek yapıların deprem ve rüzgar gibi sismik etkiler altındaki ötelenme miktarlarını sınırlayabilmek için Taipei 101 (Tayvan), Tokyo Skytree (Japonya) ve Shanghai Tower (Çin) gibi yüksek yapılarda kullanılmıştır. Bu sistemler yüksek yapıların yetersiz performans gösterdiği değerlendirme analizlerinde, yapıdan beklenen sismik performansın yönetmeliklerin ve yapı sahiplerinin talep ettiği minimum performans düzeyine ulaştırılmasında etkin olarak kullanılabilir.

Bu bölümün devamında dünyaca tanınan TMD kullanılmış yeni yapılan ve güçlendirilen yapılar ile ilgili teknik bilgiler paylaşılmıştır.

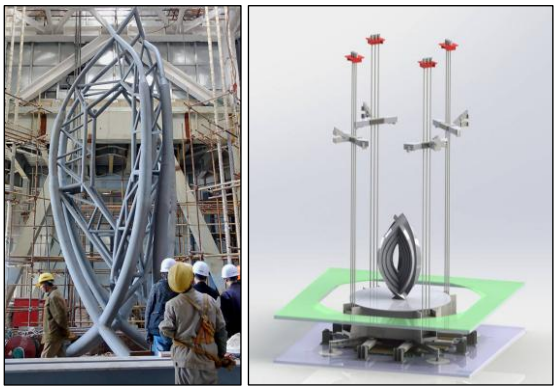
2.1.8.1. Shanghai Tower (Çin) Yapısı TMD Sistemi İncelemesi

Shanghai Tower, 2008~2015 yılları arasında inşa edilmiş 632 metre yüksekliğiyle dünyanın en yüksek ikinci binasıdır. Yüksekliğinden dolayı yapı, yatay kuvvetler karşısında önemli titreşim riski taşır ve bu nedenle yapının üst katlarında yaklaşık 1000 ton ağırlığında ayarlı kütle sönümleyici (Tuned Mass Damper – TMD) kullanılarak gelişmiş birtitreşim sönümlemesi sağlanmıştır. Bu sistem, yapının doğal titreşim frekansına göre ayarlanmış olup, rüzgâr ve deprem etkisiyle oluşan salınımları pasif olarak azaltmakta ve yapının tepe deplasmanlarını %30–40 oranında düşürmektedir.

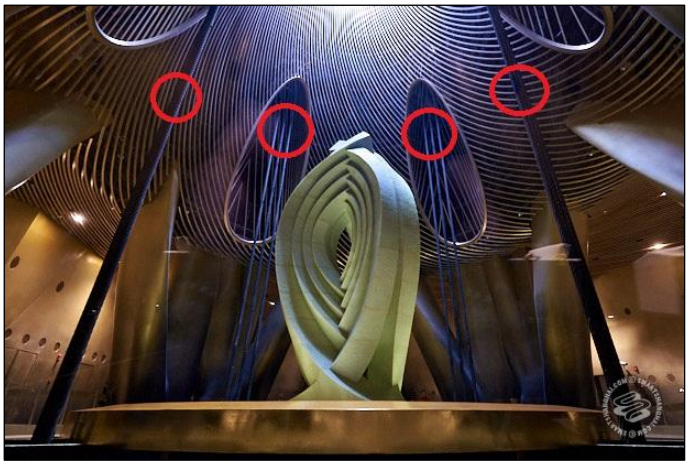


Şekil 2.22: Shanghai Tower yapısının TMD sisteminin görünümü. **[18]**

Yukarıda 126. kat seviyesinden görünümü sunulmuş olan TMD sistemin üzerinde konulmuş bir heykel görünmektedir. “Shanghai Insight (Şanghay İçgörüsü)” isimli bu heykel, yalnızca TMD katında estetik bir görünüm oluşturmak ve yapıya simgesel bir anlam kazandırmak amacıyla yerleştirilmiştir. Aşağıda **Şekil 2.24**’de bu heykelin iç yapısını gösterir bir uygulama görseli ve TMD sisteminin genel bir şeması paylaşışmıştır.



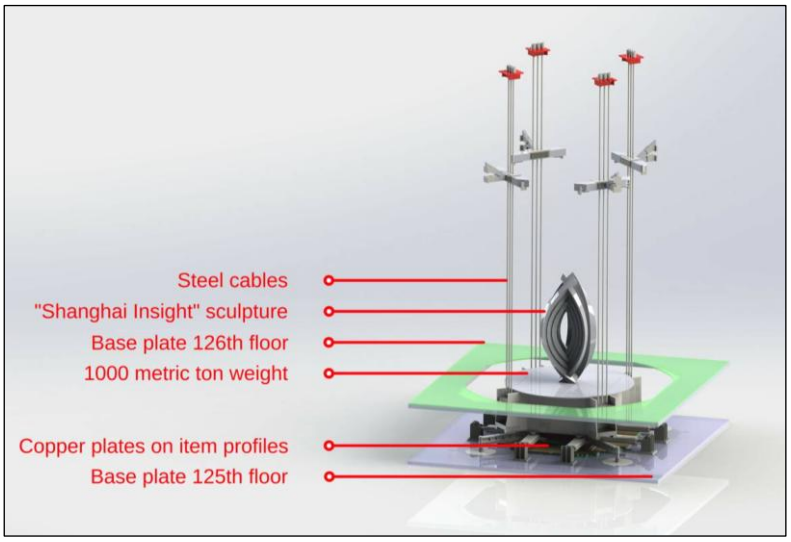
Şekil 2.23: “Shanghai Insight” heykeli ve TMD sisteminin şeması. **[19]**



Şekil 2.24: "Shanghai Insight" heykeli ve TMD askı halatları. **[20]**



Şekil 2.25: Shanghai Tower tapısındaki kütle ve viskoz sönümleyiciler. **[20]**

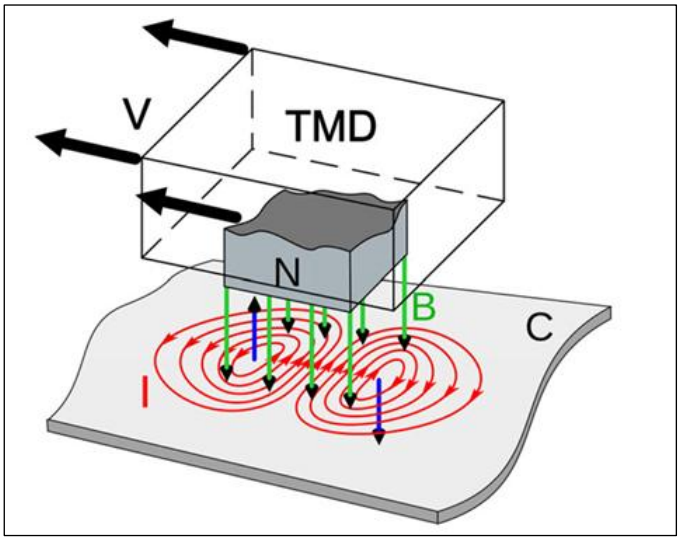


Şekil 2.26: Shanghai Tower' ın TMD sistemi elemanları. **[19]**

TMD sistemler ile ilgili Lu ve arkadaşlarının 2016 yılında Shanghai Tower özelinde geliştirdikleri sayısal ve deneysel çalışmalarda **[21]**, yapıda küçük genlikli ve yüksek frekanslı titreşimleri kontrol etmek amacıyla "Eddy Current Tunned Mass Damper" sistemi detaylı bir şekilde incelenmiştir. Sistem, iletken bir malzeme üzerinde hareket eden mıknatıslar aracılığıyla elektromanyetik indüksiyon prensibini kullanarak kinetik enerjiyi ısıya dönüştürür. Bu sayede, yapıdaki titreşimler pasif bir şekilde sönümlenir. Temassız çalışma özelliği sayesinde bakım gereksinimi düşüktür ve uzun ömürlüdür. Ayrıca, küçük genlikli ve yüksek frekanslı titreşimleri etkili bir şekilde kontrol edebilir. Sönümleme mekanizması temassız olduğundan, geleneksel akışkan viskoz sönümleyicilerin büyük iki yönlü yer değiştirmeler için gerektirdiği karmaşık mekanizmalar kullanılmamaktadır.

Araştırma sonuçları, yeni Eddy-Current TMD sistemlerinin başarılı performans gösterdiğini ve süper yüksek yapılarda titreşim kontrolü için kullanılabileceğini göstermektedir. **[21]**

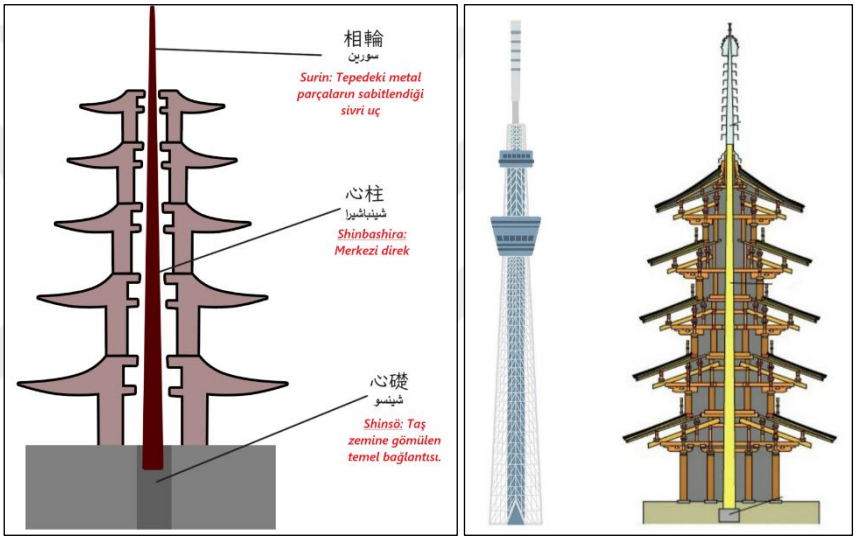
Bu sistem manyetik alanlar aracılığıyla kinetik enerjiyi ısıya dönüştürerek, yapının titreşimlerini etkin biçimde azaltır ve bakım gereksinimi düşüktür. Aşağıda **Şekil 2.28**'de bahsedilen çalışmalarda kullanılan "bir mıknatıs ile bir iletken arasındaki bağıl hareketin neden olduğu girdap akımları" ifadesinin görseli sunulmuştur. **[21]**



Şekil 2.27: Eddy-Current TMD manyetik girdap akımları temsili görseli. **[21]**

2.1.8.2. Tokyo Skytree (Japonya) Yapısı TMD Sistemi İncelemesi

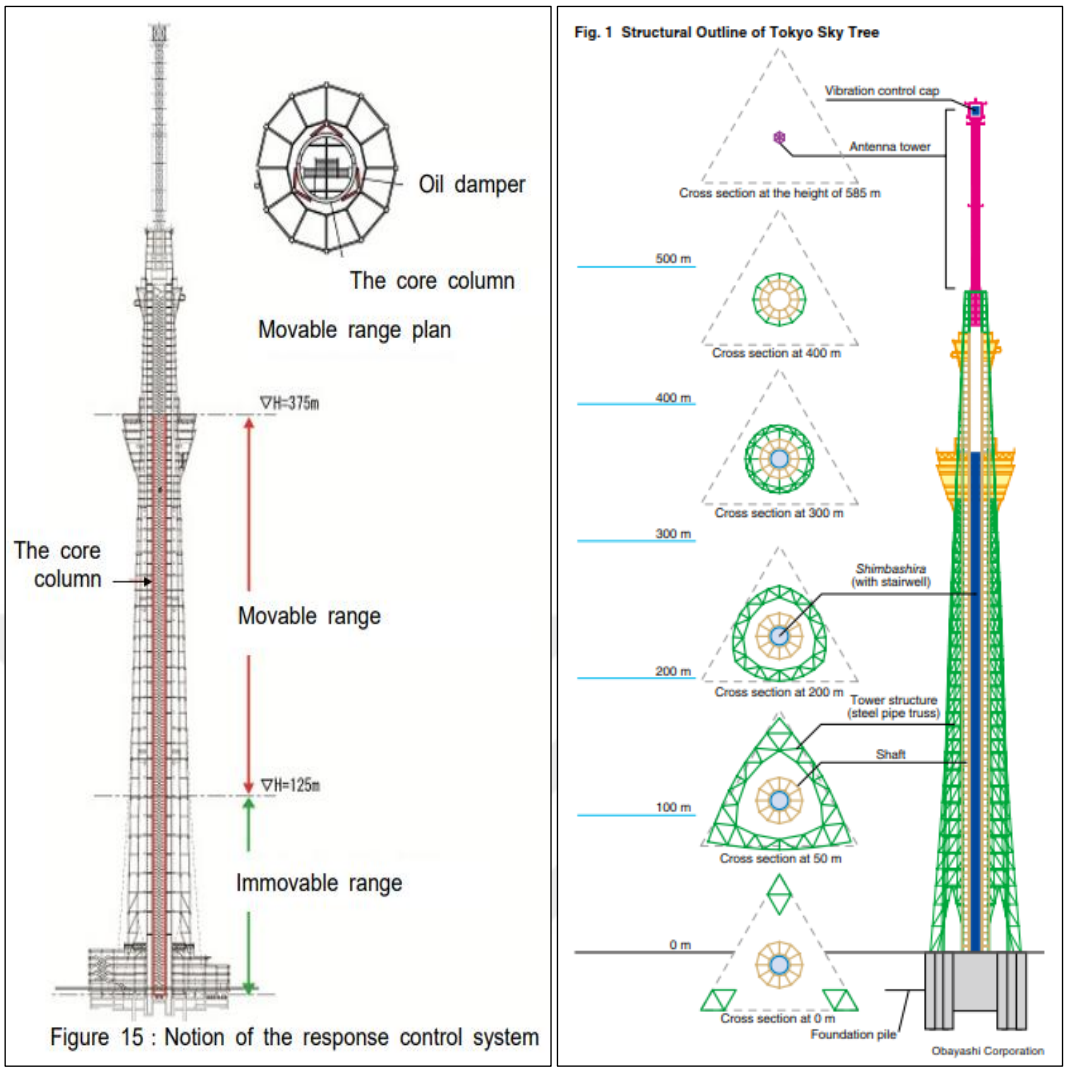
Tokyo Skytree, 634 metre yüksekliğiyle dünyanın en uzun yayın kulesi olup, sismik aktivitesi yüksek olan Japonya'da inşa edilmesi nedeniyle ileri düzeyde mühendislik çözümleriyle donatılmıştır. Yapının deprem ve rüzgâr kaynaklı yatay yüklerine karşı direncini artırmak amacıyla geleneksel Japon mimarisinden (pagoda) ilham alınarak merkezi bir betonarme çekirdek (shinbashira) ile çevresel çelik kafes sistemin ayrık çalışmasına izin veren bir taşıyıcı sistem kullanılmıştır. Bu iç-dış yapı kombinasyonu, rezonansa giren titreşimlerin birbirini sönümlemesini sağlayarak enerji dağılımını optimize etmektedir. **[23], [24]**



Şekil 2.28: Japon Pagoda yapıları ve Tokyo Skytree yapısı benzerliği. **[22], [26]**



Şekil 2.29: T. Skytree 'de kullanılan vizkoz damperi ve TMD. **[24]**

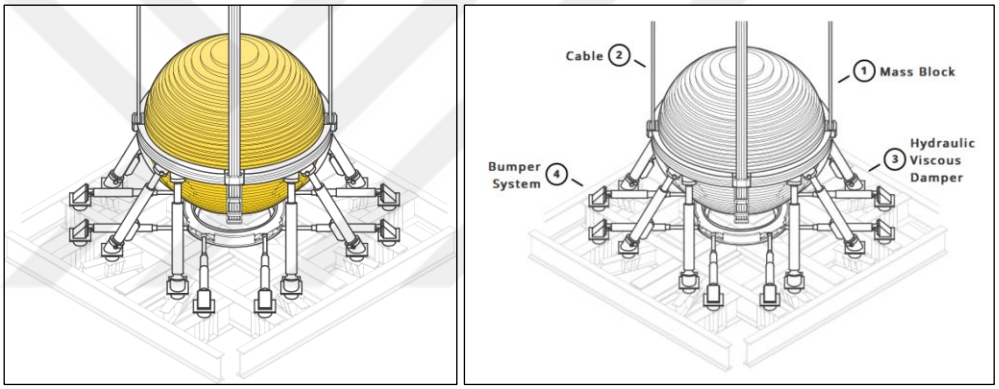


Şekil 2.30: Tokyo Skytree yapısı sistem kesitleri. **[23]**, **[25]**

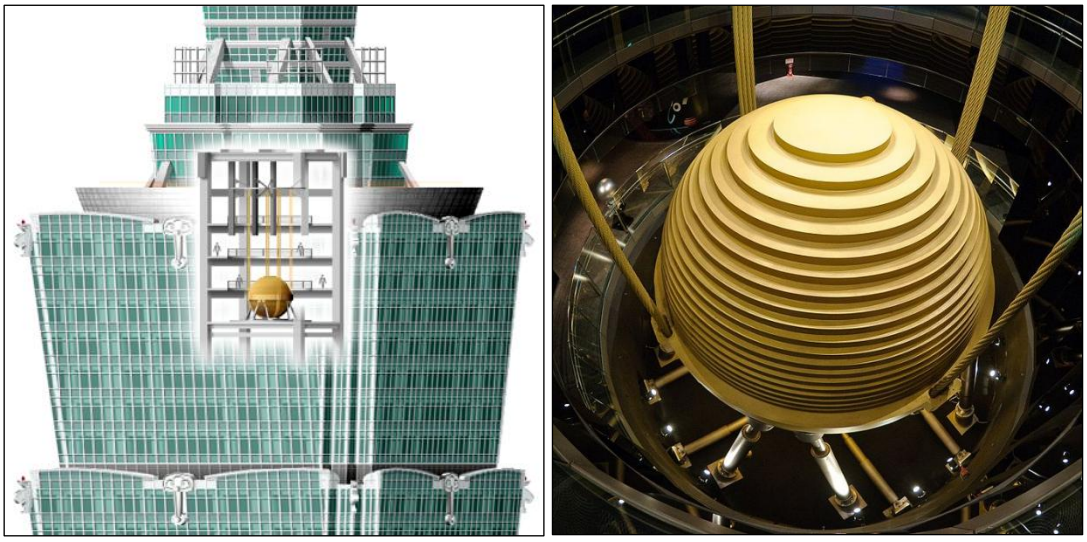
Skytree'nin üst kısmında, yaklaşık 620 ile 625 metre seviyelerinde yer alan çiftli Tuned Mass Damper (TMD) sistemi, rüzgâr kaynaklı titreşimlerin azaltılmasında görev alır. Bu damperler, kulenin üst bölümünde yer alan anten yapısının yatay salınımlarını kontrol altına alarak rezonans durumlarında zıt fazlı hareket oluşturarak enerji sönümlemektedir. Yapıdaki TMD'ler, pasif sönümleme prensibine dayalı olarak çalışmakta ve dış etkiye karşı doğrudan tepki üretmektedir. Ayrıca betonarme çekirdek ile dış kafes sistem arasına yerleştirilen hidrolik damperler sayesinde iki sistemin farklı titreşim modlarında davranması sağlanarak deprem enerjisi etkili biçimde dağıtılmaktadır. Bu çoklu sönümleme sistemleri, hem rüzgâr yüklerine karşı hem de şiddetli depremlerde yapının performansını artırarak, yapısal stabilitenin sürekliliğini temin etmektedir. **[23], [21]**

2.1.8.3. Taipei 101 (Tayvan) Yapısı TMD Sistemi İncelemesi

Taipei 101, Tayvan'ın Taipei şehrinde yer alan ve 508 metre yüksekliğiyle uzun yıllar dünyanın en yüksek binası unvanını taşıyan bir yapıdır. 2004 yılında tamamlanan bu süper yüksek yapı, hem rüzgâr hem de deprem yüklerine karşı dayanıklılığıyla dikkat çekmektedir. Taipei 101'in titreşim kontrol sistemi olarak kullanılan en önemli eleman, yapının 87 ile 92. katları arasında yer alan ve 660 ton ağırlığındaki küresel ayarlı kütle sönümleyicisidir (Tuned Mass Damper, TMD). Yaklaşık 5.5 metre çapındaki bu büyük çelik kütle, yapının yatay salınımlarını azaltmak amacıyla sarkaç gibi çalışmakta ve yapıya özel bir sönümleme etkisi sağlamaktadır. Yapılan test ve gözlemler, bu sistemin deprem ve rüzgâr kaynaklı ivmeleri %30 ila %40 oranında azaltabildiğini göstermiştir.



Şekil 2.31: Taipei 101 yapısı TMD sistemi. **[27]**



Şekil 2.32: Taipei 101 yapısı TMD sistemi. **[28]**

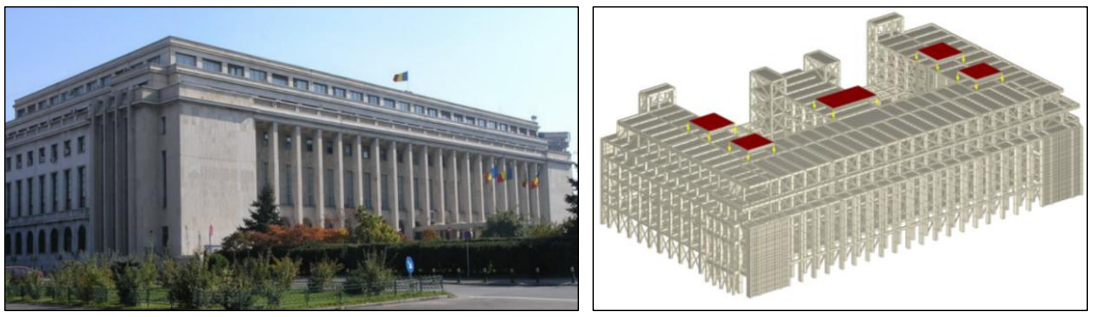
2.1.8.4. Palatul Victoria (Romanya) Yapısı TMD Sistemi İncelemesi

Ayarlanmış kütle sönümleyicilerin güçlendirme amaçlı kullanıldığı uygulamaların başlıca örneği Romanya' nın başkenti Bükreş' de inşaasına 1937 tarihinde başlanan "Victoria Sarayı (Palatul Victoria)" dır. II. Dünya Savaşı nedeniyle 1944 yılında Almanlar' ın Bükreş Bombardımanı sırasında yapı ağır hassar gördü ve gerekli tadilat yapıldıktan sonra kullanılmaya devam edildi. 2004 yılında tarihi eser ilan edilmesinden sonra, 2011 yılında tamamlaman sismik güçlendirme uygulamasıyla yapı halen hizmet vermektedir.

Viktoria Sarayı'nın (Romanya Hükûmeti Binası) güçlendirme çalışmalarında, geleneksel yöntemlere ek olarak ayarlı kütle sönümleyicileri (Tuned Mass Dampers - TMD) kullanılmıştır. Bu sistem, yapının üst kotuna yerleştirilen ve yatay yönde serbest hareket edebilen ek bir kütlenin, sönümleyiciler aracılığıyla yapıya bağlanması prensibine dayanır. Deprem sırasında yapı sarsıldığında, bu ek kütle, atalet etkisiyle yerinde kalma eğilimindedir ve yapıya ters yönde kuvvet uygulayarak yapısal yer değiştirmeleri azaltır. **[29]**

TMD sisteminin etkinliği, ek kütlenin doğal titreşim periyodunun yapının birinci doğal mod periyoduna yakın olacak şekilde ayarlanmasına bağlıdır. Bu uygulama, özellikle elastik davranış gösteren çerçeve sistemli yapılarda etkilidir. Viktoria Sarayı'nın yüksek kat açıklıkları ve büyük kat öteleme talepleri dikkate alındığında, bu sistemin uygulanması uygun görülmüştür. **[29]**

Ayrıca binanın işlevselliğinin sürdürülmesi gerektiğinden, yapıyı boşaltmadan müdahale edilebilecek bir sistem olan TMD, çatıya entegre edilmiştir. Deprem sırasında enerji, bu sönümleyicilere aktarılır ve onların kütlesel ataletleri sayesinde sistem dışına aktarılıp sönümlenerek yapısal hasar riski azaltılır. **[29]**



Şekil 2.33: Victoria Sarayı görünümü ve TMD 'li bilgisayar modeli. **[30]**



Şekil 2.34: TMD şeması ve Victoria Sarayı çatısında TMD elemanları. **[30]**



Şekil 2.35: Victoria Sarayı TMD elemanlarının kurulumu ve muhafazası. **[30]**

2.1.8.5. John Hancock Tower (ABD) Yapısı TMD Sistemi İncelemesi

Ayarlanmış kütle sönümleyicilerin güçlendirme amaçlı kullanıldığı uygulamalara bir başka örnek ise ABD' nin Boston eyaletinde bulunan John Hancock Tower (200 Clarendon Street) yapısıdır. 1968~1976 yılları arasında inşa edilen, 240.8m yüksekliğinde ve 60 katlı olan bu yapı, Boston' un en yüksek yapısıdır.

John Hancock Tower'ın tamamlanmasının ardından cephe elemanlarının (camların) kuvvetli rüzgar etkileri altında yerinden çıkarak düşmesi bölgede büyük yankı uyandırmasının yanı sıra zamanın teknik uzmanlarının dikkatini de çekmiştir. Yapılan incelemeler doğrultusunda yapının en belirgin mühendislik sorununun bölgedeki yüksek rüzgar etkileri altında yüksek yatay deplasman ve burulma davranışı sergilemesi olduğu, özellikle üst katlarda kullanım konforunu bozan titreşimlerin olduğu anlaşılmıştır. **[16]**. **[17]**.**[18]**.

Bu kapsamda, 1978 yılında, yapının dinamik tepkisini azaltmak ve rijitliği artırmak amacıyla yapının tasarım danışmanı William LeMessurier öncülüğünde iki adet ayarlı kütle sönümleyici (Tuned Mass Damper - TMD) sistemi binaya entegre edilmiştir. Bu

iki TMD elemanı yapının çatı katına yerleştirilmiş ve karşılıklı doğrultularda çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Her biri yaklaşık 300 ton ağırlığında olan bu sönümleyiciler, binanın birinci doğal titreşim moduna rezonans olacak biçimde ayarlanmıştır. Söz konusu sistem, yapının titreşim genliği belirli bir eşiğin üzerine çıktığında, karşıt yönlerde devreye girerek sönümleme etkisini artırmakta ve yapı davranışını pasif olarak stabilize etmektedir. Rüzgar kaynaklı yüklemeler sırasında, TMD elemanları binanın salınım hareketine ters fazda hareket ederek yapıya etkiyen atalet kuvvetlerini dengelemiş, böylece hem kat ivmeleri hem de göreli deplasmanlar azaltılmıştır. **[16]**. **[17]**.**[18]**.

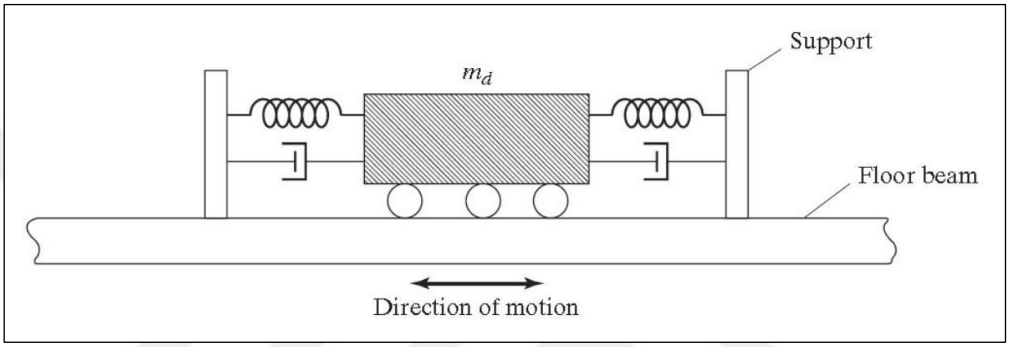
TMD sisteminin pasif olması, yani herhangi bir dış enerji kaynağına veya aktif kontrol sistemine ihtiyaç duymadan çalışabilmesi, yapının operasyonel sürekliliğini ve bakım kolaylığını garanti altına almıştır. Uygulama sonrası gerçekleştirilen performans ölçümleri, kullanıcı konforunun arttığını, yapısal ivmelerin anlamlı düzeyde azaldığını ortaya koymuştur. Bu uygulama, yüksek yapıların aerodinamik stabilitesinin pasif sönümleme ile sağlanmasına dair erken ve başarılı örneklerden biri olarak kabul edilmektedir. **[16]**. **[17]**.**[18]**.



Şekil 2.36: John Hancock Tower (Boston, ABD) ve TMD yerleşimi. **[17]**.



Şekil 2.37: John Hancock Tower yapısındaki TMD sistemi.**[17]**.



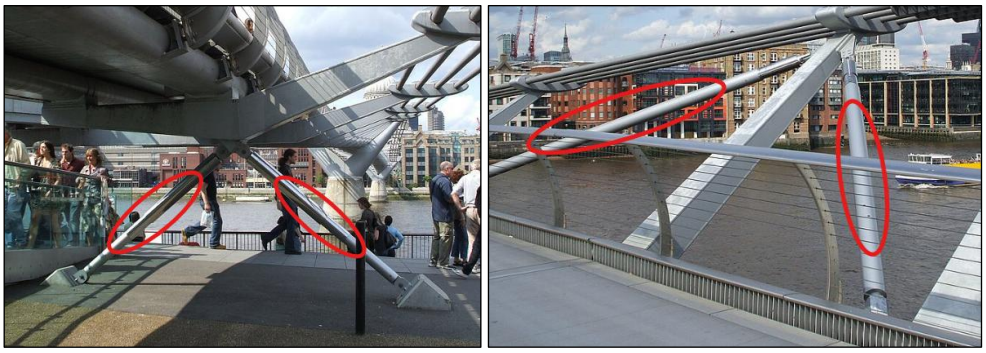
Şekil 2.38: John Hancock Tower 'daki TMD sistemi şematik diyagramı. **[16]**.

2.1.8.6. Millennium Bridge (İngiltere) Yapısı TMD Sistemi İncelemesi

Ayarlanmış düşey yönlü kütle sönümleyicilerin güçlendirme amaçlı kullanıldığı uygulamalara örnek ise 2000 yılında hizmete açılan 'London Millennium Bridge' köprüsüdür. Modern kablolu köprü mimarisinin simgelerinden biri olmakla birlikte, yaya adımarının köprünün doğal titreşim frekansıyla örtüşmesiyle beklenmeyen yanal salınım artışları gerçekleştiğinden kısa sürede kullanıma kapatılmıştır. **[16]**.

Yapılan analizler, köprüde gerçekleşen salınımların yapısal eksikliklerden dolayı olmayıp dış etkenlerden kaynaklandığı, yapının yanal frekanslarıyla yayaların yürüme frekanslarının yakın olması nedeniyle rezonans benzeri bir titreşim oluştuğunu ortaya koymuştur. Bu sorunun yetersiz yapısal rijitlik kaynaklı olmadığı anlaşılmış, rijitliği artırarak yapıyı rezonans frekansı aralığının dışına çıkarmanın yapının estetik tasarımını bozacağı, uygulanabilirliğinin zor ve maliyetli olduğu gerekçeleriyle rijitlik artırıcı güçlendirmelere gerek olmadığı kanaatine varılmıştır. Sorunun çözümü için 2001-2002 yılları arasında köprüye çeşitli pasif sönümleyici sistemler (viskoz damper, düşey damper, ayarlı kütle sönümleyici) entegre edilmiştir. Bu müdahale London

Millennium Bridge'i, yaya kaynaklı rezonansla mücadelede TMD ve damper kullanımının ilk başarılı örneklerinden biri haline getirmiştir. **[16]**.



Şekil 2.39: Millennium Bridge, güçlendirme damperleri. **[20]**.



Şekil 2.40: Millennium Bridge, düşeyde çalışan TMD elemanları. **[20]**. **[21]**.

2.1.9. Temel Altı Zeminin Güçlendirilmesi

a) Jet grout (yüksek basınçlı çimento enjeksiyonu): Yüksek basınçla yer altına enjekte edilen çimento esaslı karışımlar, zeminle karışarak sert sütunlar oluşturur. Bu yöntem zayıf zeminleri güçlendirmek ve taşıma kapasitesini artırmak için kullanılır.

b) Mikropiling (mikro kazıklarla zemin stabilizasyonu): Çapı küçük (genellikle <300 mm) olan kazıklar, taşıyıcı zemin katmanlarına kadar yerleştirilerek yük taşınmasını sağlar. Özellikle dar alanlarda ve mevcut yapıların altına uygulanmasıyla avantaj sağlar.

c) Enjeksiyon yöntemiyle zemin boşluklarının doldurulması (grouting): Zemindeki boşluklara özel karışımlar (çimento, kimyasal) enjekte edilerek zeminin

sıkılaşması ve dayanımının artırılması sağlanır. Su geçirimsizliği artırmak için de kullanılır.

d) Stabilize edici kimyasal katkılarla zemin iyileştirme: Kireç, çimento, uçucu kül gibi kimyasal katkılar zemine karıştırılarak plastikliği azaltılır, taşıma kapasitesi ve dayanımı artırılır. Özellikle killi zeminlerde etkilidir.

e) Drenaj ile yeraltı suyu uzaklaştırma: Zemin altındaki su seviyesini düşürerek taşıma gücünün artırılması hedeflenir. Bu sayede zemin oturmaları ve sıvılaşma riski azaltılır.

f) İstinat duvarı ekleyerek zemin itkisinden koruma: Eğimli veya dolgu alanlarda toprağın yatay kuvvetlerini dengelemek için istinat yapıları inşa edilir. Böylece yapıların yana doğru kayması veya oturması önlenir.

g) Hafif dolgu ekleyerek zemin itkisini azaltma: Geleneksel ağır dolgu malzemeleri yerine daha hafif alternatifler (örneğin EPS blokları) kullanılarak zemine binen yük ve dolayısıyla yan itki azaltılır. Özellikle zayıf zeminlerde tercih edilir.

2.1.10. Şekil Hafızalı Alaşımlarla (SMA) Güçlendirme

Şekil hafızalı alaşımlar (Shape Memory Alloys, SMA), belirli bir sıcaklık aralığında deformasyon sonrası orijinal şekline geri dönebilme özelliğine sahip metal alaşımlardır. Bu özellik sayesinde sismik yükler altında yüksek enerji yutma kapasitesi sağlar ve yapısal elemanların titreşimlerini azaltabilir. SMA'ların kullanımı, binanın depreme karşı dayanıklılığını artırarak titreşim sönümleme kapasitesini geliştirir ve hasarın daha kontrollü bir şekilde dağılmasına katkıda bulunur. Aşağıda başlıca kullanım alanları listelenmiştir.

a) Kolon-kiriş bağlantılarında,

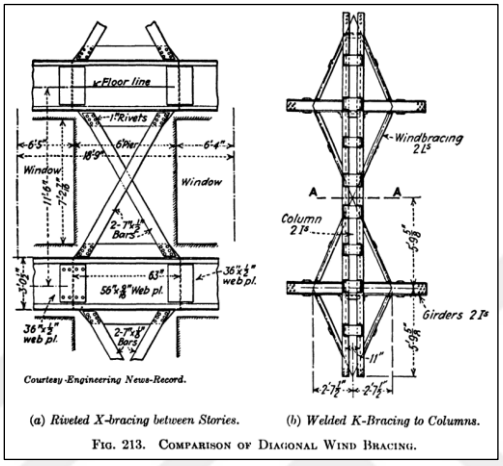
b) Sismik izolatör sistemlerinde,

c) Çelik elemanlarda deformasyon sonrası geri dönmeyi sağlamak,

amaçlarıyla kullanılabilmektedir.

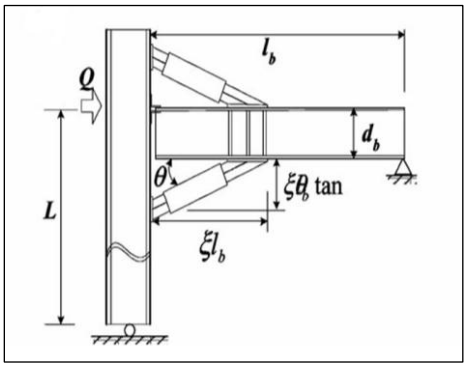
Yüksek katlı binaların tasarımında, kiriş ve kolonların köşe bölgelerine yerleştirilen eğik destekler (bağlama dirseği/göğüsleme/paraçol, Knee Bracing/K-Bracing), rüzgar ve deprem gibi sismik yükler altında yapısal performansı artıran bir niteliğe sahiptir.

Yanal yüklere karşı yapısal dirençliliği artırmak için kullanılan bu dirsek elemanlar; kapı, pencere, koridor vb. kat içi sirkülasyonu sağlayan mimari elemanları oldukça az etkilemektedir. Buna rağmen ve geçitlerin konumundaki kısıtlamaları minimize eder. Ancak ülkemizde ve dünyada eğik desteklerin yeni tasarlanmış binalarda kullanımı, geliştirdiği statik ve mimari tasarım kalitesi artışına rağmen nadir kullanılan bir yöntem olma özelliği devam etmektedir.



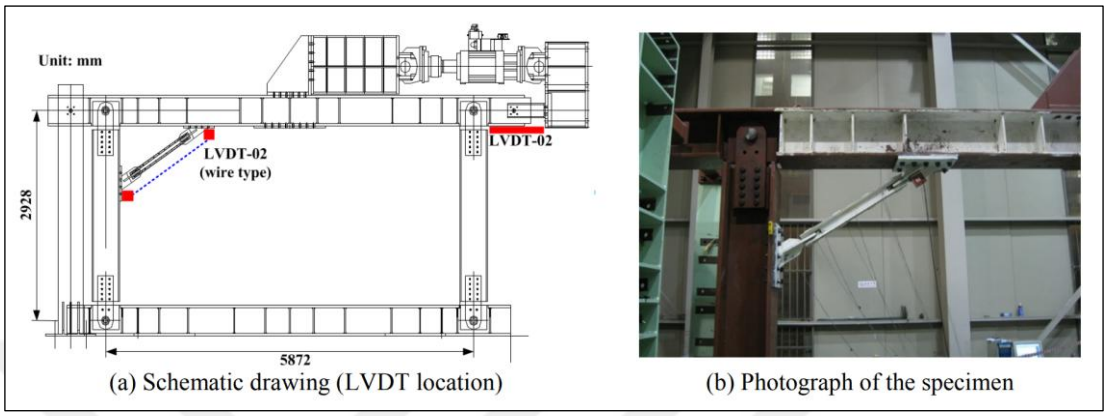
Şekil 2.41: Çaprazlı desteklerin karşılaştırılması (L. Elias Grinter). **[19]**.

Bazı araştırmacılar; yapısal eğik desteklerin yapıdan beklenen hedef performans seviyesini karşılamada önemli bir etkisi olduğunu, dirseklerin plastik deformasyon yaparak enerji tüketimini sağladığını, bu elemanlar ile yapılan güçlendirmenin etkili bir yöntem olduğunu ve hasarların da kontrol edilebilir seviyelerde olduğunu ifade etmişlerdir [20], [21], [22].



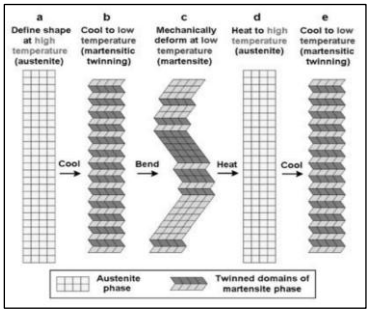
Şekil 2.42: Çapraz dirseklerin analiz modeli. **[20]**.

Han-Seon Lee ve diğerleri, basit bir test düzeneği kurarak Burkulması Önlenmiş Dirsekli (Buckling-Restrained Knee Bracing, BRKB) bir çerçevenin performansını gözlemlemiştir. Test sonuçları, BRKB sistemlerinin az katlı mevcut binalar için etkili bir güçlendirme yöntemi olduğunu göstermiştir [23].



Şekil 2.43: Burkulması önlenmiş dirsekli bir çerçevenin test düzeneği. **[23]**.

Teknolojik gelişmelerle birlikte yapı malzemeleri araştırmaları arasında, kritik dönüşüm sıcaklıklarının üzerinde ve altında iki farklı kristal yapıya sahip olabilen ve böylece deformasyondan sonra gerçek şekli ve boyutuna geri dönebilme yeteneğine sahip metalik bir malzeme olan şekil hafızalı alaşımların kullanımı dikkat çekmektedir. En sık kullanılanları Nikel-Titanyum alaşımları veya bakır esaslı alaşımlardır. Çünkü bu alaşımlar, şekil değişimi esnasında önemli ölçüde kuvvet üretebilmektedirler. **[24]**.



Şekil 2.44: Şekil hafızalı alaşımların ısıl etki altındaki dönüşüm şeması. **[24]**.

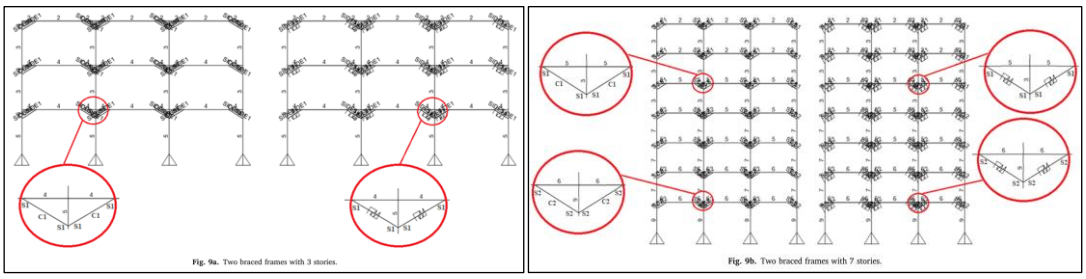
Süperelastik Şekil Hafızalı Alaşım (Superelastic Shape Memory Alloys, SMA) kullanımı, deprem mühendisliğinde çeşitli uygulamalar için yaygınlaşmıştır. SMA'lar, büyük doğrusal olmayan deformasyonlar sonrası orijinal şekline geri dönebilme

yeteneğine sahip olduğundan, betonarme yapıların güçlendirilmesinde, titreşim kontrolünde ve taban izolasyon sistemlerinde etkin olarak kullanılmaktadır [25], [26]. SMA'ların deprem yüklerine karşı etkinliği, yapılan araştırmalarla gösterilmiştir.

Bazı araştırmalar sonucunda SMA'ların deprem yüklemelerinde yüksek çevrimsel hareket kabiliyeti ve eski şekline geri dönme yeteneğiyle yeniden merkezlenmeyi kendi kendine sağlaması nedeniyle güçlendirme maliyetlerinin düşürüldüğü sonucu elde edilmiştir [27], [28].

SMA'ların, plastik deformasyonlarla mekanizma durumuna geçme potansiyeline sahip betonarme yapıların kritik bölgelerinde, geleneksel çelik ile birlikte takviye olarak kullanılabileceği anlaşılmaktadır. Ancak bu elemanlar betonarme elemanlara göre daha narin kesitli olduğundan, burkulmaya maruz kalma potansiyeli yüksektir. Bu nedenle burkulması önlenmiş dirsekler (Buckling-Restrained Knee Bracing, BRKB) sistemin performans seviyesini daha da artıracaktır.

Şekil hafızalı alaşımların maliyetleri yüksek olduğundan, çelik profilin yalnızca lokal bir kısmında gerektiği kadar kullanılması daha ekonomiktir. Araştırmacılar tarafından burkulması önlenmiş dirsekler ile bu dirseklerin şekil hafızalı alaşımlarla takviye edilmiş halini kıyaslayan bir çalışma yapılmıştır [29]. Bu çalışmada literatürde sıkça kullanılan deprem kayıtları altında 3 ve 7 katlı bir binanın tepe deplasmanlarına ait sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre SMA takviyesi yapılan burkulması önlenmiş dirseklerle tasarlanan yapının tepe deplasmanının daha merkezil olduğu görülmüştür.



Şekil 2.45: 3 ve 7 katlı binaların BRBs ve BRBs+SMA modelleri. **[29]**.

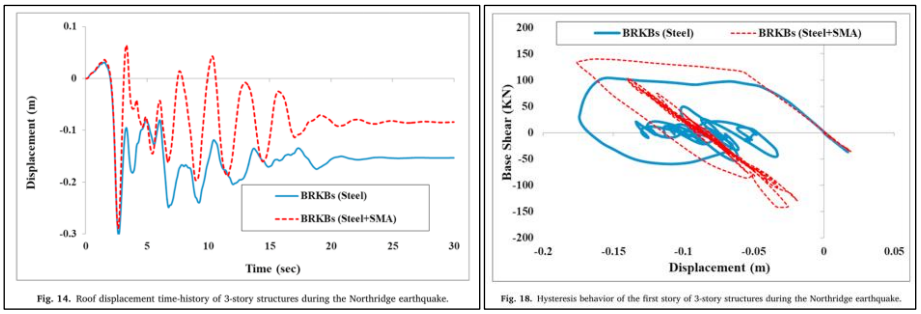


Fig. 14. Roof displacement time-history of 3-story structures during the Northridge earthquake.

Fig. 18. Hysteresis behavior of the first story of 3-story structures during the Northridge earthquake.

Şekil 2.46: 3 katlı binanın tepe deplasmanı ve çevrimsel davranışı. **[29]**.

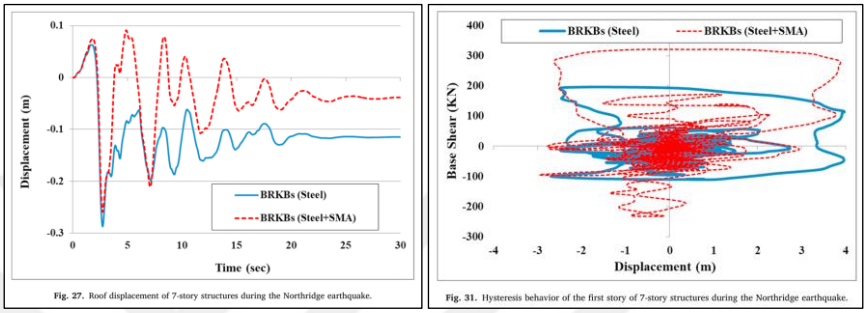


Fig. 27. Roof displacement of 7-story structures during the Northridge earthquake.

Fig. 31. Hysteresis behavior of the first story of 7-story structures during the Northridge earthquake.

Şekil 2.47: 7 katlı binanın tepe deplasmanı ve çevrimsel davranışı. **[29]**.

Sonuçlar, BRKB'lere SMA eklenmesiyle analiz sonuçlarındaki kalıcı deformasyon miktarının %50'den fazla azaltılabileceğini göstermiştir **[29]**.

2.1.11. Prefabrike Elemanlarla Güçlendirme

Fabrikada üretilen elemanlar sayesinde güçlendirme işlemi hızlı bir şekilde tamamlanır. Fabrika üretimi olduğundan, malzeme kalitesi ve ölçü hassasiyeti yüksektir. Mevcut yapıya zarar vermeden güçlendirme yapılabilir. Prefabrik elemanlar daha ince tasarlanabilir, böylece yapıya ek yük getirmez.

a) Önüretimli betonarme perde duvarlar ekleme: Mevcut yapıdaki yatay yük taşıma kapasitesini artırmak ve rijitliği yükseltmek için kullanılır. Fabrikada üretilen prefabrik perde duvarlar, çelik dübeller veya bağlantı plakaları ile mevcut yapıya sabitlenir. Bağlantı bölgelerinde epoksi enjeksiyon veya özel bağlayıcılar kullanılarak birleşim sağlanır.



Şekil 2.48: Dış yüzey betonu dökülmüş prefabrik perde elemanı.**[22]**.

b) Önüretimli betonarme kolon/kiriş ekleme: Mevcut yapının eksik taşıyıcı elemanlarını tamamlamak veya zayıf bölgeleri güçlendirmek için ek taşıyıcı elemanlar oluşturmak. Prefabrik kolon veya kiriş elemanları sahaya getirilir. Temel veya mevcut kirişlere çelik ankrajlarla monte edilir. Kolon-kiriş birleşim yerlerinde özel bağlantı elemanları kullanılır.

c) Önüretimli betonarme döşeme: Döşemelerin rijitliğini artırmak veya yük taşıma kapasitesini güçlendirmek amacıyla paneller genellikle kompozit davranış gösterecek şekilde mevcut döşemeye bağlanır. Düşey yüklerin aktarımı için çelik dübeller veya beton enjeksiyon teknikleri uygulanır.

2.1.12. Gergili Sistemlerle Güçlendirme

Bu yöntem temel olarak gergin çelik veya FRP malzemesinden üretilen halat, çubuk veya levhalar kullanılarak gerçekleştirilir ve yaygın olarak 3 farklı amaç için kullanılabilir;

I. Elemanlarda sehim gibi stabilite problemlerini gidermek

II. Taşıyıcı sistemin yanal ötelenme rijitliğini artırmak

III. Yapısal elemanlarda düzlem içi/dışı çekme gerilmelerini karşılamak

IV. Çelik gergi çaprazları ile yanal ötelenme rijitliğini artırmak

Köprü, viyadük, konferans salonu, spor salonu, fuaye alanı gibi geniş açıklıklara ihtiyaç duyulan yapılarda uygulama sonrasında gerçekleşen kullanılabilirlik sınırlarını aşan sehim miktarları gibi stabilite problemlerinin giderilmesinde çelik gergi halatları kullanılabilmektedir.



Şekil 2.49: Geniş açıklıklı elemanlarda gergi sistemleriyle güçlendirme. **[23]**.

Taşıyıcı sistemin genelinin yanal ötelenme rijitliğini artırabilmek için yapının bir veya daha fazla katından belli bir açıyla zemine sabitlenmiş gergi çubukları kullanılabilir. Bu çubuklar yapının her yönünde imal edildiğinde, taşıyıcı sistemin ötelenme miktarını azaltacaktır. Özellikle tarihi yapılarda yığma duvarların düzlem içi/dışı çekme gerilmelerini karşılayabilmek için FRP veya çelik malzemelerinden teşkil edilmiş gergi imalatları yapılabilmektedir.



Şekil 2.50: Yığma yapılarda FRP ile güçlendirme. **[24]**.



Şekil 2.51: Bursa Yıldırım Beyazıt Türbesi yığma duvar gergileri.



Şekil 2.52: Bursa Yıldırım Beyazıt Türbesi yığma duvar gergileri.

Çelik veya betonarme mevcut yapılarada çelik profiller ile çapraz tasarım imkanının olmadığı durumlarda çelik çapraz gergi çubukları kullanılabilir.



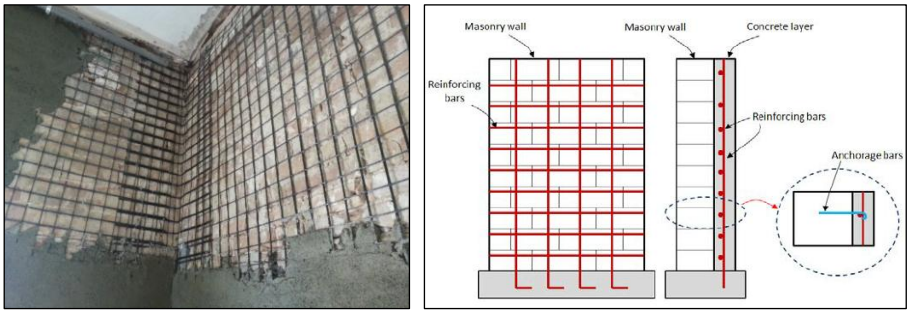
Şekil 2.53: Çelik çapraz gergi çubukları kullanımı. **[25]**.

Bu yöntemler kolay uygulanabilir ve hızlı montajın yanı sıra, hafif bir güçlendirme sistemi olduğundan yapıya ek yük bindirmez. Yapının mevcut tasarımına fazla müdahale edilmeden uygulanabilir. Yüksek basınçlı tanklar veya enerji santrallerinde titreşim kontrolü için de çelik halatlar kullanılmaktadır.

Dekantör santrifüjler (atık su arıtma, petrol sahası çamur işleme, gıda atığı ayrımı vb.) veya santrifüjlü kurutucular (Plastik geri dönüşüm, metal parça yıkama/kurutma vb.) içeren yüksek torklu ve dengesiz yüklü santrifüj makinelerinin bulunduğu endüstriyel tesislerin taşıyıcı sistemlerinin betonarme malzemesi zamanla bu dengesiz titreşim nedeniyle ayrışabileceğinden, halatlı güçlendirme sistemleriyle sönümleyici özellikli elemanlar birlikte kullanılarak hafif ve etkili çözümler geliştirilebilir.

2.1.13. Bölme Duvarların Betonarmeyle Takviyelendirilmesi

Mevcut yapıların dinamik yükler karşısındaki dayanımını artırmak için kullanılan bir güçlendirme yöntemidir. Genel olarak yığma yapılar için avantajlı olan bu yöntem, ülkemizde boşluklu tuğlalı dolgu duvarların yaygın kullanımı nedeniyle pek uygulanmamaktadır. Ancak bu yöntemin seçilmesindeki amaçlardan biri de patlama etkilerine karşı tahkim edilmesi istenilen binalardır. Örneğin güvenlik teşkilatlarına ait eski tarihli bir kamu binasının dış çevre duvarları, herhangi bir dış iskele veya tuğla duvar yıkımına gerek olmadan, bu yöntem ile tahkim edilerek patlama etkilerine karşı yapısal güvenlik sağlanabilmektedir. Patlamanın yapı dışında gerçekleştiği durumda yapı cephesinde oluşan basınca karşı en zayıf noktalar tuğla duvarlar, kapı ve pencerelerdir. Camlar, kapılar, tuğla duvarlar parçalanır ve yapı içinde büyük bir hızla uçuşarak şok dalgasını yapının içine alır ve yapıda balon etkisi oluşur. Tavan döşeme ve kirişleri yukarı, kolonlar ve duvarlar içeri doğru itilir. Döşeme ve kirişlerin yukarı itilmesi döşemenin parçalanmasına, kirişlerin ve kolonların mafsallaşarak mekanizma oluşmasına neden olur. Çünkü büyük yüzeyli döşeme büyük bir toplam kuvvetin etkisindedir ve çok incedir. Alttan yukarı doğru etkiyen böyle bir kuvvet için boyutlandırılmamıştır. Döşeme açıklık momentinin üstte oluşturduğu çekme kuvvetini karşılayacak hiçbir donatı yoktur. Ayrıca, mevcut pilyeler de ters yönde oluşan kesme kuvveti açısından işe yaramazlar. Döşeme ve kirişlerin yukarı itilmesi sonucunda kolonların eksenel basınç kuvveti azalır, hatta çekme bile olabilir. Eksenel kuvveti azalan kolonun moment ve kesme taşıma gücü düşer ve yanal basınca maruz kaldığından kiriş gibi davranırarak büyük açıklık momenti ve kesme kuvvetine maruz kalır. Bu yükleme durumu için boyutlandırılmamış olan kolon mafsallaşarak kırılır ve mekanizma oluşmasına ve göçmeye neden olur.



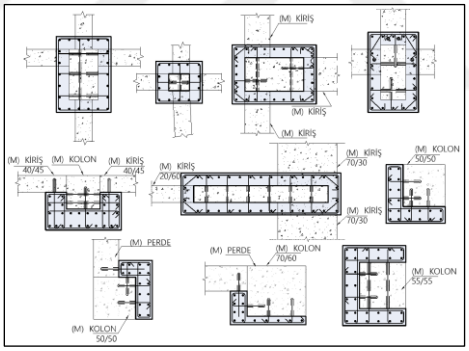
Şekil 2.54: Çelik çapraz gergi çubukları kullanımı. **[26]**. **[27]**.

2.2. Eleman Özelinde Güçlendirme Yöntemleri

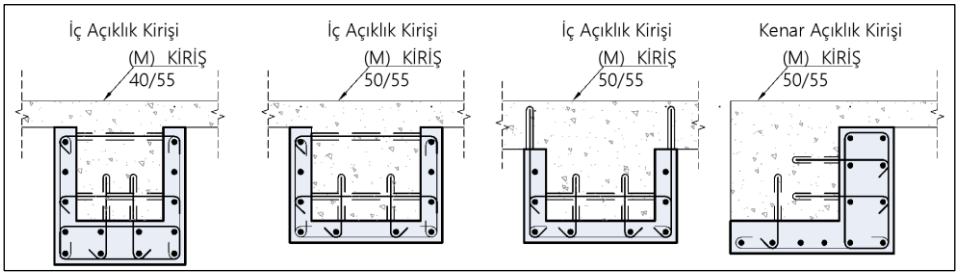
2.2.1. Betonarme Sargı/Mantolama (RC Jacketing) Yöntemi:

Betonarme mantolama/sargı yöntemi, mevcut yapıların taşıyıcı elemanlarının dayanım ve süneklik özelliklerini artırmak amacıyla uygulanan klasik ve etkili bir güçlendirme tekniğidir. Bu yöntemde, yetersiz kesit alanına sahip kolon, kiriş veya perde gibi elemanlar, yeni beton ve donatı elemanlarıyla sarılarak taşıma kapasiteleri artırılır. Kesit boyutlarının artırılması yalnızca eksenel ve eğilme değil, kesme dayanımını da olumlu yönde etkileyerek yapının genel performansını iyileştirir. Mantolama kalınlığına bağlı olarak elemanların rijitlikleri arttığından, yapının göreli kat ötelenme miktarları ve kat deplasmanları azalır. Özellikle deprem etkilerine karşı yetersiz kalan yapıların sünek davranış kazandırılarak güvenli hale getirilmesinde oldukça etkilidir.

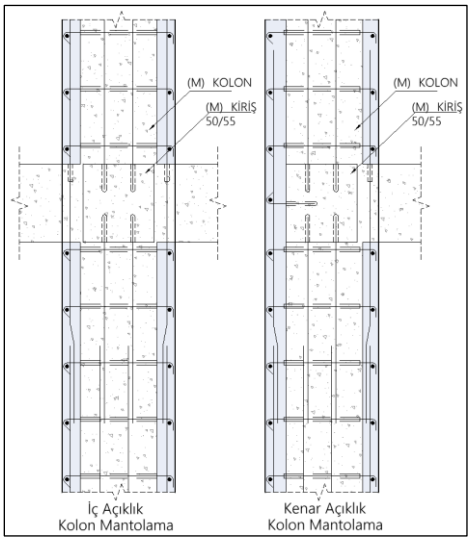
Aşağıda **Şekil 2.55**, **2.56**, **2.57** ve **2.58**' de kolon, kiriş ve perde elemanları için betonarme mantolama/sargı yöntemine ait örnek enkesitler sunulmuştur.



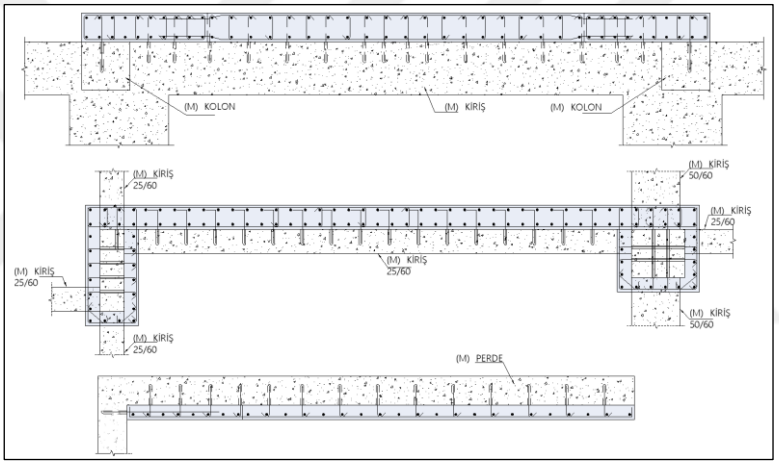
Şekil 2.55: Kolon mantolama detay çizimi enkesit örnekleri.



Şekil 2.56: Betonarme kirişlerin mantolanmasına tipik örnekler.



Şekil 2.57: Kolon mantolama detay çizimi boykesit örneği. **[10]**.



Şekil 2.58: Betonarme perdelerin mantolanmasına enkesit detayı örnekler. **[12]**.



Şekil 2.59: Betonarme perde mantolanmasına uygulama örneği. **[16]**.



Şekil 2.60: Betonarme kolon mantolama uygulama örneği. **[13]**



Şekil 2.61: Betonarme kolon mantolama uygulama örneği. **[13]**

Yapının yıkılıp yeniden yapılması yerine mevcut sistemin güçlendirilmesini esas alması, bu yöntemi ekonomik ve yapısal süreklilik açısından avantajlı kılar. Donatı detaylandırmasının doğru yapılması, eski ve yeni beton arasında yeterli aderansın sağlanması, deprem performansı açısından kritik öneme sahiptir. Kolon-kiriş birleşim bölgelerinin özel olarak ele alınması ise bölgesel zayıflıkların giderilmesini sağlar. Yapının sismik performansını artırmak için mantolama işlemi genellikle statik ve dinamik analizlerle projelendirilir. Geleneksel yapım teknikleriyle benzerliklerinin olması sebebiyle kapsamlı bir ilave eğitime gerek olmaksızın mevcut teknik ekip/personel kullanımı imkanı avantajı olduğundan, sektörde yaygın kullanımı sözkonusudur.



Şekil 2.62: Mantolama donatısı ve yüzey pürüzlendirilmesi. **[28]**

Elemanın tüm çevresine veya bazı kenarlarına donatı ankrajlanarak yapılan betonarme hacim artışında, eski ve yeni beton yüzeyleri arasındaki gerilme aktarımının yeterliliği büyük önem taşır. Bu yöntem; perde, kiriş, kolon ve temel gibi tüm betonarme elemanlarda uygulanabilir. Ancak mantolama kalınlığının 10 cm'nin altına düştüğü durumlarda, beton yerleşimi ve donatı diziliminde işçilik kaynaklı kalite kayıpları meydana gelebilir.



Şekil 2.63: Mantolama donatısı sürekliliği **[28]**

Betonarme mantolama uygulamalarında, yeni betonun mevcut taşıyıcı elemanlarla bütünleşik çalışabilen ve yüksek aderanslı şekilde uygulanması, güçlendirme sisteminin etkinliği açısından kritik öneme sahiptir. Bu doğrultuda şantiyelerde sıklıkla başvurulan "kalıplı döküm" ve "püskürtme beton (shotcrete)" olmak üzere başlıca iki farklı beton yerleştirme yöntemi kullanılabilmektedir.



Şekil 2.64: Kalıp kullanılarak perde/kolon mantolama uygulamaları. **[13]**

Kalıplı döküm yönteminde, beton hazır olarak şantiyeye getirilir ve beton pompası aracılığıyla donatılı kalıpların içine aktarılır. Bu yöntemde betonun segregasyona uğramadan ve boşluk kalmadan yerleştirilmesi sağlanmalı, gerektiğinde vibratör kullanılarak sıkıştırma işlemi titizlikle yürütülmelidir. Geleneksel yapım alışkanlıklarına uygunluğu ve yüksek hacimli dökümlerdeki etkinliği nedeniyle bu yöntem uygulamalarda geniş bir yer kaplamaktadır.

Püskürtme beton (shotcrete) yöntemi, özellikle kalıp kullanmanın zor olduğu dar, düzensiz veya eğimli yüzeylerde avantajlıdır. Bu yöntemde, beton karışımı özel makineler aracılığıyla yüksek basınçlı olarak doğrudan uygulama yüzeyine püskürtülür. Betonun yüzeye yüksek hızla çarpmasıyla hem sıkışması hem de yapışması sağlanır. Böylece kalıpsız uygulamalarda bile yeterli aderans ve homojenlik elde edilir. Püskürtme beton, katmanlı uygulamaya uygun yapısıyla kalınlık kontrollü imalatlara olanak tanır ve baş üstü uygulamalarda dahi etkin sonuçlar verebilir.

Ancak bu yöntemin etkinliği, uygulama koşullarına büyük ölçüde bağlıdır. Nozul ile yüzey arasındaki mesafe, püskürtme açısı, karışımın su/çimento oranı gibi parametrelerin uygun sınırlar içinde kalması gerekir. Ayrıca rebound (geri sıçrama) olarak bilinen malzeme kayıpları oluşabileceğinden, deneyimli ekipman operatörleri ve dikkatli işçilik gerektirir. Özellikle kuru karışım sistemlerinde toz oluşumu hem çevre hem de iş sağlığı açısından kontrol altında tutulmalıdır. Buna karşın kalıp ihtiyacını/işçiliğini önemli ölçüde azaltması, dar alanlara ulaşabilmesi ve uygulama süresini kısaltması sayesinde, püskürtme beton yöntemi yapı güçlendirme projelerinde pratik bir alternatif olarak öne çıkmaktadır.

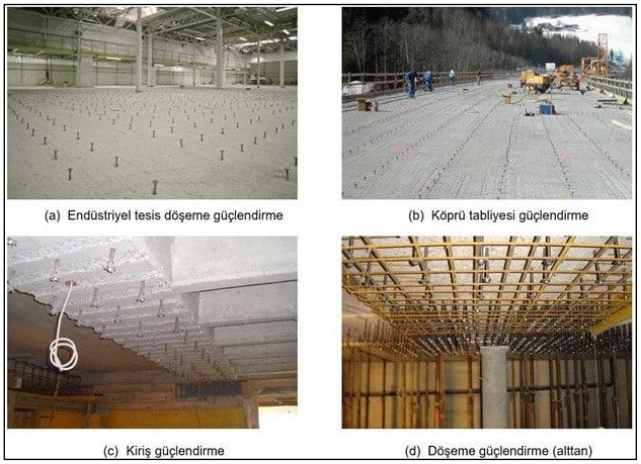


Şekil 2.65: Püskürtme beton ile kolon mantolama uygulaması. **[9]**, **[15]**.

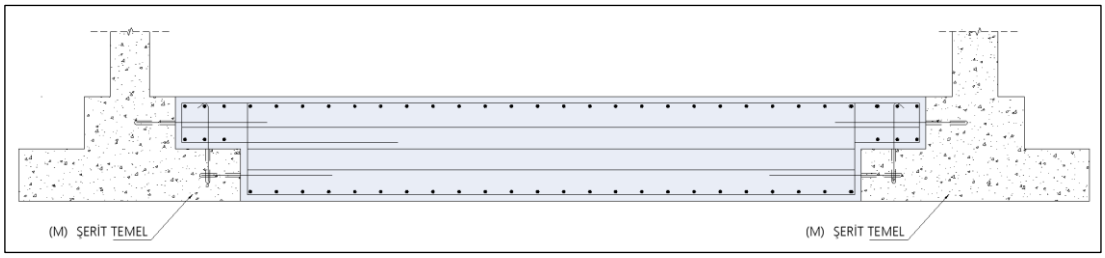


Şekil 2.66: Püskürtme beton uygulaması. **[30]**

Yapıların döşemelerinde meydana gelen yüksek sehim miktarı, zımbalama riski, düzlem içi kuvvet aktarım yetersizliği gibi kapasite artışını gerektirecek iyileştirmelerde de, betonarme mantolamaya benzer olarak döşeme kalınlaştırma yapılabilmektedir. Benzer şekilde yetersiz temel kapasitesi nedeniyle, temel elemanlarında da kalınlaştırma yapılabilmektedir.



Şekil 2.67: Mantolama öncesinde kayma elamanı uygulaması **[13]**.



Şekil 2.68: Şerit temellerin radye temele çevrilmesine ait detay çizimi



Şekil 2.69: Tekil temelde kesit büyütülmesine ait uygulama görseli **[13]**.

2.2.2. Çelik ile Eleman Güçlendirme Yöntemleri

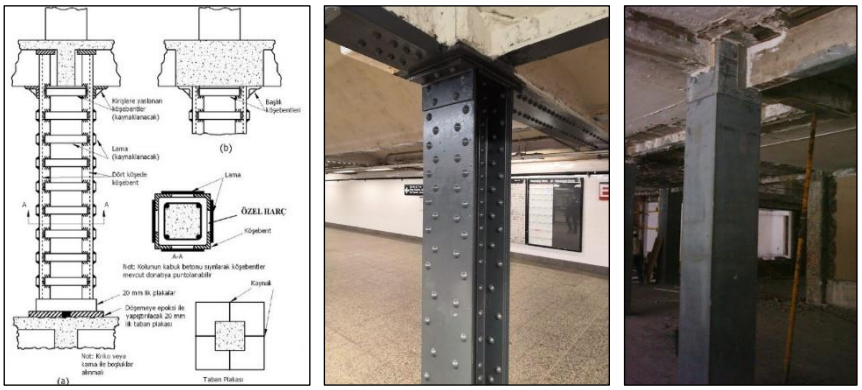
Yapısal güvenliğin artırılması hedefiyle mevcut betonarme elemanlara uygulanan yerinde güçlendirme teknikleri arasında, ince kesitli çelik levhalar, köşebentler ve U profiller gibi basit/hafif çelik elemanların betonarme kesitler bazında kullanımı, ekonomik ve uygulanabilir çözümler sunmaktadır. Bu yöntemde amaç, kolon, kiriş, döşeme, perde gibi taşıyıcı elemanların çevresel sarılma etkisiyle birlikte kesme kapasitesini yükseltmek, gevrek davranışı bastırmak ve sünekliği iyileştirmektir. Yüksek teknoloji gerektirmemesi, küçük boyutlu müdahalelerle etkili sonuçlar vermesi ve şantiye koşullarında kolayca uygulanabilmesi bu yöntemi ön plana çıkarmaktadır.

Basit çelik elemanlarla yapılan bu tür sargı etkisi sağlayan güçlendirmeler, betonarme mantolamaya kıyasla birçok pratik avantaj sunar. Öncelikle, yeni beton dökümüne ihtiyaç duyulmadığı için uygulama süresi kısalır, yapı kullanım dışı kalmadan müdahale yapılabilir. Aynı zamanda, kalıp, kür ve donatı işçiliği gibi işçilik sürelerini artıran ilave süreçler ortadan kalkar; bu da iş gücü ve maliyet avantajı sağlar. Ancak, betonarme mantolamanın sağladığı kesme kapasitesi artışı ve bütüncül rijitlik kazanımı, çelik plakalı sistemlerde sınırlı kalabilir. Ayrıca, dıştan uygulanan çelik

elemanlar yangına ve korozyona karşı korumasızdır, bu nedenle yüzey kaplamalarıyla desteklenmeleri gerekir.

Bu güçlendirme yönteminde kullanılan çelik elemanlar genellikle mevcut betonarme yüzeylere epoksi esaslı yapıştırıcılarla ve/veya mekanik dübellerle sabitlenir. Öncelikle beton yüzey, aderansı artırmak amacıyla pürüzlendirilir ve tozdan arındırılır. Ardından, köşebent, lama veya U profiller, taşıyıcı elemanın çevresine yerleştirilerek uygun yerlerinden kimyasal dübel (epoksi ankraj) veya çelik dübel ile betonarme yüzeye tutturulur. Bağlantı noktalarında gerekirse ince kesitli çelik saclarla geçiş plakaları eklenerek birleşim rijitliği artırılabilir. Epoksi enjeksiyonu hem aderansı artırır hem de küçük yüzey boşluklarını doldurarak temas bütünlüğünü sağlar. Gerektiğinde bağlantı noktaları, özellikle deprem etkilerine karşı, perçin ya da kaynakla da takviye edilebilir.

Köşebent, U profil veya lama gibi basit çelik elemanlarla yapılan dıştan güçlendirme uygulamaları, betonarme elemanlara sınırlı rijitlik katkısı sağladığından, donatı yetersizliği bulunan ve düşük hasar beklentili yapılarda etkili sonuç verir. Özellikle kısa ve enine donatısı yetersiz kolonlarda bu tür çelik elemanlar, çevresel sargı etkisi oluşturarak çekirdek betonun deformasyonunu sınırlar, basınç ve kesme dayanımını artırır. Aynı zamanda sünekliği geliştirip enerji sönümleme kapasitesini iyileştirerek yapısal taşıyıcı elemanın deprem davranışına olumlu katkı sağlar. Ancak taşıyıcı sistemin genelinde yetersizlik bulunan yapılarda (yüksek göreli ötelenme, kısıtlı yanal rijitlik vb.), bu yöntem tek başına yeterli olmayabilir ve çoğunlukla diğer güçlendirme teknikleriyle birlikte değerlendirilmelidir.



Şekil 2.70: Çelik levhalar ile güçlendirme detay ve uygulaması. **[10]**, **[31]**



Şekil 2.71: Çelik levhalar ile güçlendirme detay ve uygulaması. **[10]**, **[31]**

Betonarme döşeme ve kiriş gibi düşey yükleri aktaran elemanların açıklık momenti kapasitelerini artırmak amacıyla da aşağıda **Şekil 2.71**' de sunulan uygulama görsellerindeki gibi alttan çelik levha ile güçlendirme yöntemi uygulanabilmektedir.

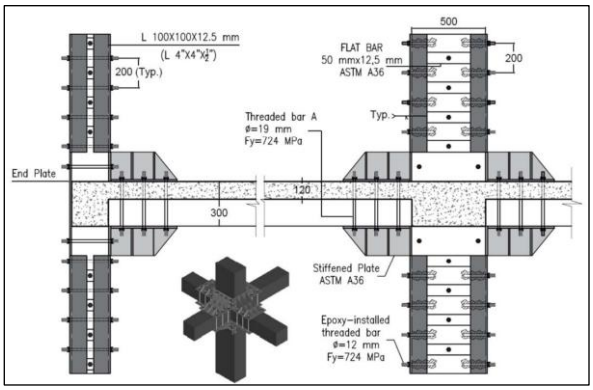


Şekil 2.72: Çelik plakaların epoksi ile betonarme yüzeye yapıştırılması. **[32]**

Bir çok eski yapıda karşılaşılan en kritik durumlardan biri olan kolon-kiriş birleşim bölgesi taşıma kapasitesi yetersizliğini bertaraf edebilmek için de çelik elemanlar ile kolon-kiriş birleşimleri güçlendirilebilir. Bu yöntem ile kolon-kiriş birleşimlerinin rijitliği önemli ölçüle artırılabilmektedir. Bu yöntemi kullanarak yapılan güçlendirme uygulamasıyla hasarların kirişlerde oluşması da sağlanabilir.

Basit çelik elemanlarla yapılan güçlendirme uygulamaları arasında yer alan öngermeli çelik halat/çember kullanımı, betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının performansını artırmaya yönelik etkili ve yenilikçi bir yöntemdir. Bu teknikte, yüksek dayanımlı çelik halatlar/çemberler kolon, kiriş, perde gibi elemanların çevresine sarılarak dıştan bir sargı etkisi oluşturulur. Bu sargı, beton çekirdeğin yanal genleşmesini kısıtlayarak çevresel basınç oluşturur. Böylece betonun basınç dayanımı ve sünekliği artar, gevrek kırılma riski azaltılır. Özellikle donatı oranı yetersiz olan ya da enine donatı

düzenlemesi sınırlı kalmış betonarme elemanlarda bu tür dıştan sarma uygulamaları önemli mekanik kazanımlar sağlar.



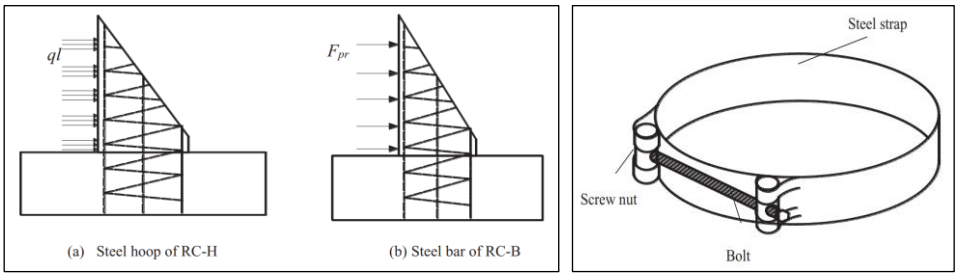
Şekil 2.73: Kolon-kiriş birleşimlerinin çelik plakalar ile güçlendirilmesi. **[33]**

Çelik halatlarla/çemberlerle yapılan bu sarılma, betonarme mantolama gibi hacimsel artış gerektiren yöntemlerin aksine, taşıyıcı kesiti büyütmeden dayanım artışı sağlamaktadır. Halatlara/çemberlere ön çekme kuvveti uygulanması durumunda, halatlar/çemberler eleman üzerinde aktif çevresel basınç oluşturarak dış etriye mekanizması gibi çalışır, boyuna donatının burkulmasını sınırlandırır, çekirdek betonun stabilitesini artırır ve elemanın deformasyon kapasitesini iyileştirir.

Düşük ağırlıkları, esnek formları ve modüler yapıları sayesinde, halatlarla yapılan güçlendirme işlemleri dar alanlarda, iskele kurulmadan ve yapıyı uzun süre kullanım dışı bırakmadan uygulanabilir. Bu yönüyle yöntem, hem ekonomik hem de operasyonel avantajlar sunar. Halatların/çemberlerin korozyona karşı korunması amacıyla galvanizleme, epoksi kaplama veya dıştan muhafaza kılıfı kullanılarak sistemin uzun ömürlü ve dayanıklı hâle getirilmesi mümkündür. Sonuç olarak, öngermeli çelik halatlarla/çemberlerle dıştan sarma yöntemi, yapısal iyileştirme projelerinde yüksek etkililik ve uygulama esnekliği sağlayan çağdaş bir mühendislik çözümüdür.

Dan Zhang ve arkadaşlarının (2021) **[32]** yaptığı deneysel bir çalışmada, deprem sonucu hasar görmüş köprü kolonlarının hızlı ve etkin bir şekilde onarılabilmesi amacıyla yeni bir hibrit sargı yöntemi geliştirilmiştir. Geliştirilen hibrit sargılı ceketleme sistemi, ağır iş makineleri gerektirmemekte ve yapıştırıcı malzeme için uzun süreli kürleme süresine ihtiyaç duymamaktadır; bu nedenle, deprem sonrası acil müdahaleler için uygulanabilir bir çözüm olarak öne çıkmaktadır.

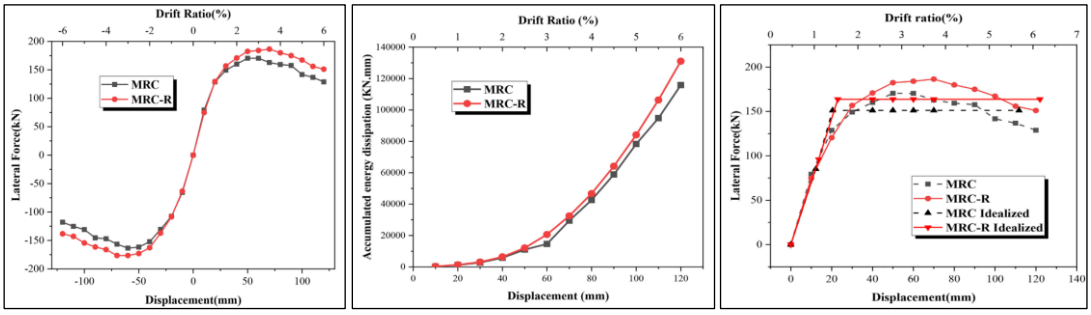
Aşağıda **Şekil 2.73**' de standart hibrit sargılı ve fretli etriye sargılı betonarme dairesel kolona etkiyen sargı basınçlarının şeması ve öngerilmeli çelik çember sunulmuştur.



Şekil 2.74: Hibrit ve fretli sargı etkisi şeması ve çelik çember **[32]**.



Şekil 2.75: Hasarlı kolonun çember ile güçlendirilmesi deney düzeneği **[32]**.



Şekil 2.76: Hasarlı ve güçlendirilmiş numune test sonuçları **[32]**.

Hibrit sargı sistemi, betonarme kolonları erken aşamada etkili bir şekilde sargılayarak kesme hasarını önlemekte ve eğilme dayanımı ile sünekliği artırmaktadır. Hibrit sargılı ceketleme yöntemi, statik çevrimsel yüklere maruz bırakılan hasarlı kolonların yatay dayanımını, yer değiştirme kapasitesini ve elastik rijitliğini başarılı bir şekilde geri kazandırmıştır. Onarılan numunelerin sünekliği orijinal numunelere göre %11, yatay taşıma kapasitesi ise %13 oranında artış göstermiştir. **[32]**.

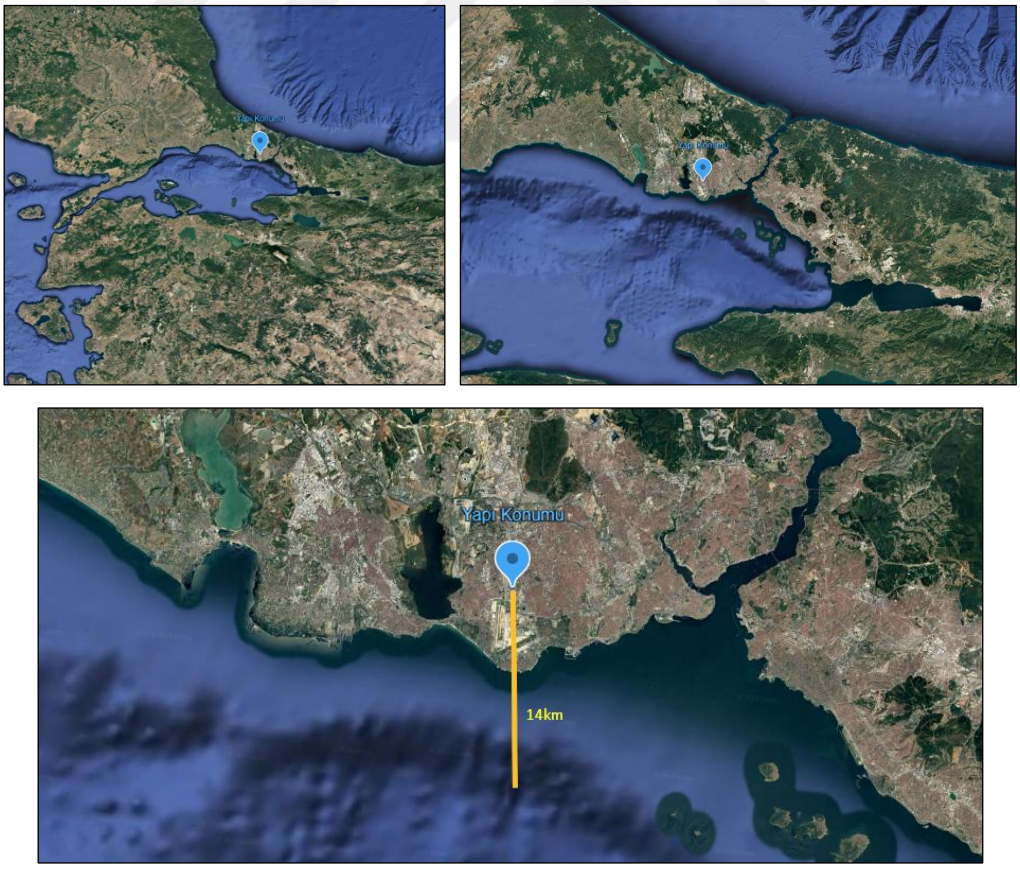
3. ARAŞTIRMA YÖNTEMİ VE METODOLOJİ

Bu bölümde yapısal analizlerde kabul edilen esaslar, analiz yöntemleri ve metodoloji sunulmaktadır.

3.1. Çalışma Konumu

Araştırma için İstanbul ili Bahçelievler ilçesi Yenibosna Mahallesi sınırları içerisinde bulunan enlemi 41.0065° ve boylamı 28.8165° olan koordinatlar seçilmiştir. Bu bölgenin seçilmesinin nedeni hem zemin sınıfının genellikle ZC~ZD olması ve fay hattına 12~14km yakınlıkta olmasıdır.

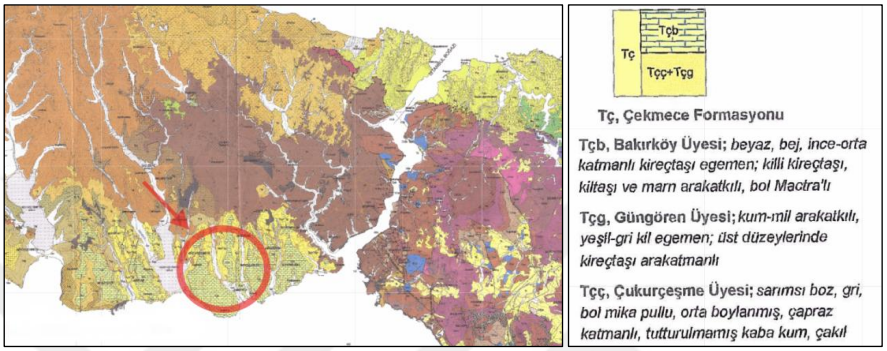
Aşağıda **Şekil 3.1**'de analizlerde kabul edilen yapı konumunu tarifleyen görseller sunulmuştur.



Şekil 3.1: Çalışma kapsamındaki yapıların konumu.

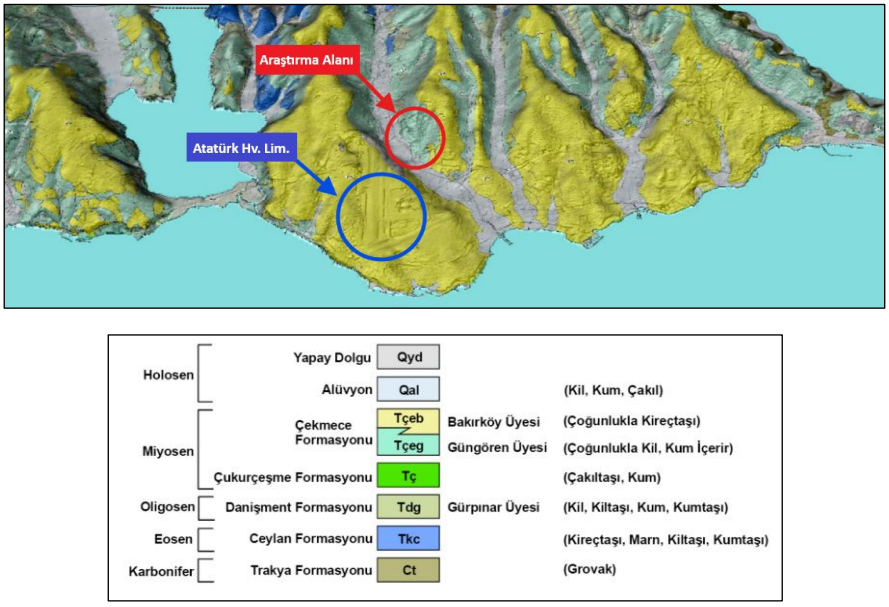
3.2. Çalışma Konumunun Geoteknik Bilgileri

Çalışma bölgesinin seçimindeki başlıca neden, gerçekten de bölgenin zemin özelliklerinin zayıf ve depremsellik riskinin yüksek olmasıdır. Aşağıda **Şekil 3.2**' de İBB Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü' nün (DEZİM) 2011 yılında gerçekleştirdiği "İstanbul Kent Jeolojisi" projesine ait bir jeolojik harita sunulmaktadır. **[5]**



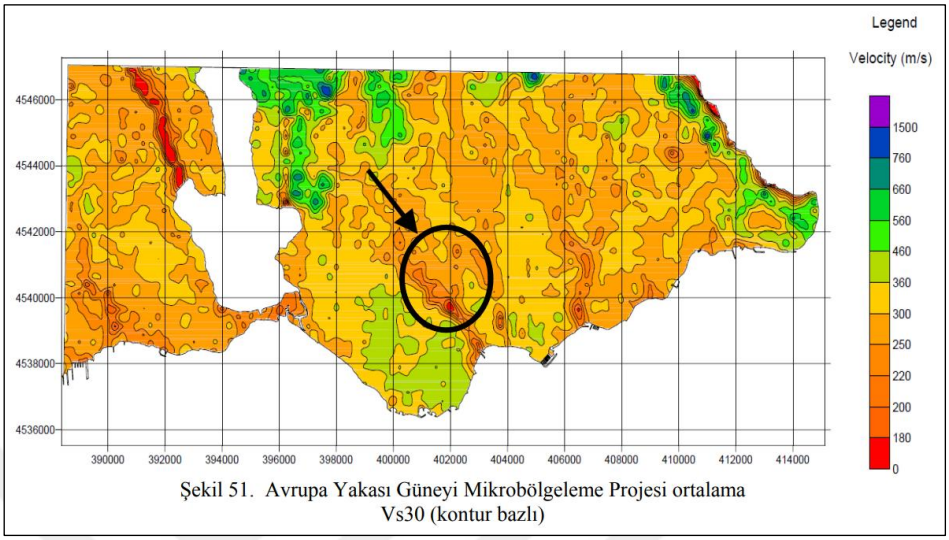
Şekil 3.2: İBB DEZİM, bölgenin jeolojik haritası ve sınıflandırması.

Aşağıda **Şekil 3.3**' de İBB Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü (DEZİM) Mikrobölgeleme Çalışması Raporuna ait bir 3B jeoloji sınıflandırması ve lejantı sunulmaktadır. **[6]**



Şekil 3.3: İBB DEZİM, 3B jeoloji haritası ve sınıflandırması.

Aşağıda **Şekil 3.**4’ de İBB Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü (DEZİM) Mikrobölgeleme Çalışması Raporuna ait bir Vs30 kontur çizgisi haritası sunulmaktadır. **[6]**



Şekil 51. Avrupa Yakası Güneyi Mikrobölgeleme Projesi ortalama Vs30 (kontur bazlı)

Şekil 3.4: İBB DEZİM, bölgenin Vs30 (m/s) kontur çizgi haritası.

İBB Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü’ nün (DEZİM) yaptığı çalışmalara istinaden araştırma bölgesinin Vs30 değeri 180~300 m/sn olarak belirlenebilir. Bu veriler doğrultusunda dikkate alınan zemin sınıfının ZD olmasına karar verilmiştir.

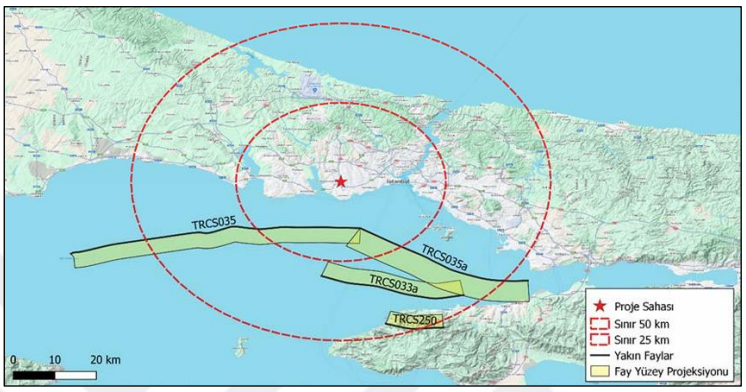
Tablo 3.1: Yerel zemin sınıfları (TBDY2018)

Tablo 16.1 – Yerel Zemin Sınıfları

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		$(V_S)_{30}$ [m/s]	$(N_{60})_{30}$ [darbe /30 cm]	$(c_u)_{30}$ [kPa]
ZA	Sağlam, sert kayalar	> 1500	–	–
ZB	Az ayrışmış, orta sağlam kayalar	760 – 1500	–	–
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrışmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360 – 760	> 50	> 250
ZD	Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180 – 360	15 – 50	70 – 250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak – katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \%\ 40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası $(c_u < 25$ kPa$)$ içeren profiller	< 180	< 15	< 70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaşabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli (PI >50) killer, 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killer.			

3.3. Çalışma Konumunun Geoteknik Bilgileri

Bu çalışma sahası Türkiye' nin önemli sismik aktivitesinin gözlemlendiği Kuzey Anadolu Fay Hattı (KAF)' ın Marmara segmentleri yakınlarında (~15km) yer aldığından, bu fay yapının deprem riskini belirleyen önemli bir sismik kaynak olarak düşünülmelidir.

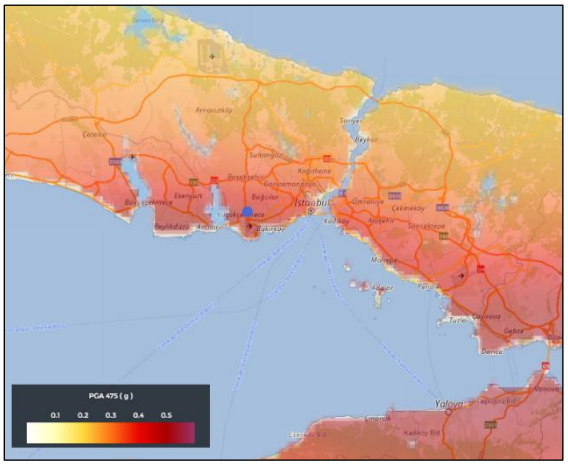


Şekil 3.5: Çalışılan konumun faylanmaya uzaklığı.

Kuzey Anadolu Fayı (KAF), Anadolu ve Avrasya plakalarını ayıran ve Türkiye'nin doğusundan batısına uzanan 1600 km'nin üzerinde uzunluğa sahip başlıca kıtasal transform fay sistemlerinden biridir. KAF, doğudan batıya tek kolda ilerlerken Bolu iline ulaştığında iki kola ayrılmaktadır.

Marmara Denizi'nin altından geçerek Saros Körfezi'ne uzanan Kuzey Anadolu Fayı'nın kuzey kolu (KAFK), bölgedeki en aktif sismik tehlike unsurudur ve kıtasal kaymanın büyük bölümü bu kolda gerçekleşir. 1999 İzmit ve 1912 Ganos depremleri bu kolun Marmara Denizi' ndeki sağ ve sol uç segmentlerini kırmıştır. Orta Marmara segmenti ise 1766'dan beri kırılmamış olup sismik boşluk olarak tanımlanır. GPS verileri, bu kolun yıllık kayma hızının yaklaşık 24±1 mm olduğunu göstermektedir.

2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) kapsamında yapılan analizlerde, yapının bulunduğu konuma ait deprem yer hareketi düzeyine ilişkin parametreler Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından sunulan Türkiye Deprem Tehlike Haritası (TDTH) ve ilgili web tabanlı uygulama üzerinden elde edilmektedir. Bu uygulama aracılığıyla, analiz yapılacak yapı için koordinat bazlı olarak tasarım spektral ivme katsayıları ve diğer sismik parametreler belirlenmekte ve performans değerlendirmelerinde esas alınmaktadır.



Şekil 3.6: AFAD-TDTH sisteminde ilgili konumun PGA haritası.

Aşağıda **Şekil 3.8**' de kabul edilen parametreler doğrultusunda AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritaları veri sisteminden alınan bilgilere ilişkin bir dizi görsel sunulmaktadır.

AFAD

Türkiye Deprem Tehlike Haritaları
İnteraktif Web Uygulaması

Kullanıcı Girdileri

Rapor Başlığı:	Yenibosna Mh	
Deprem Yer Hareketi Düzeyi:	DD-2	50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
Yerel Zemin Sınıfı:	ZD	Orta sıkı - sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları
Enlem:	41.0065°	
Boylam	28.8165°	

Çıktılar

S_S = 1.096 S_1 = 0.301 S_{DS} = 1.164 S_{D1} = 0.602

PGA = 0.451 PGV = 27.453

S_S : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

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

S_{DS} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S_{D1} : 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

PGA : En büyük yer ivmesi [g]

PGV : En büyük yer hızı [cm/sn]

Şekil 3.7: AFAD sistemine tanımlanan ve alınan DD2 parametreleri.

AFAD TDTH veri sisteminden edinilen bilgiler ve TBDY 2018 yönetmeliği Bölüm 2.3 doğrultusunda hazırlanan yatay elastik tasarım spektrumuna ait bilgiler aşağıda **Şekil 3.9**' da sunulmaktadır.

2.3.4. Yatay Elastik Tasarım Spektrumu

2.3.4.1 – Gözönüne alınan herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için *yatay elastik tasarım ivme spektrumu*'nun ordinatları olan *yatay elastik tasarım spektral ivmeleri* $S_{ae}(T)$, doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi [g] cinsinden **Denk.(2.2)**'de tanımlanmıştır (**Şekil 2.1**):

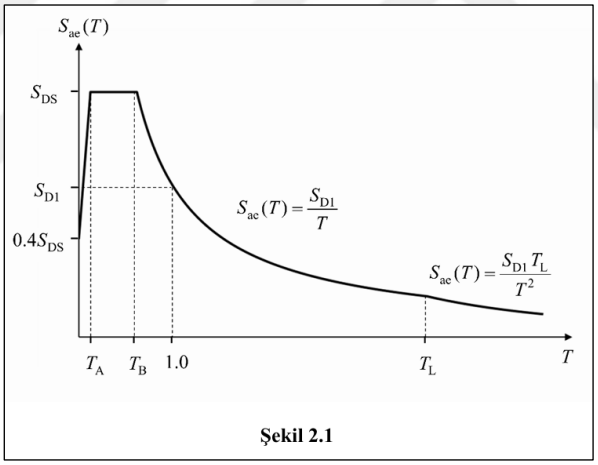
$$
\begin{aligned}
S_{ae}(T) &= \left(0.4 + 0.6\frac{T}{T_A}\right) S_{DS} && (0 \le T \le T_A) \\
S_{ae}(T) &= S_{DS} && (T_A \le T \le T_B) \\
S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1}}{T} && (T_B \le T \le T_L) \\
S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1} T_L}{T^2} && (T_L \le T)
\end{aligned}
\qquad \textbf{(2.2)}
$$

Burada S_{DS} ve S_{D1} **2.3.2.2**'de tanımlanan *tasarım spektral ivme katsayıları*'nı, T ise doğal titreşim periyodunu göstermektedir. Yatay tasarım spektrumu *köşe periyotları* T_A ve T_B **Denk.(2.3)** ile S_{DS} ve S_{D1} 'e bağlı olarak tanımlanır:

$$
T_A = 0.2\frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad ; \quad T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \qquad \textbf{(2.3)}
$$

Sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu T_L = 6 s alınacaktır.

Şekil 3.8: TBDY2018 Yatay Elastik Tasarım Spektrumu formülleri.



Şekil 3.9: TBDY2018 Yatay Elastik Tasarım Spektrumu grafiği.

Yapının depremsellik parametrelerinin belirlenmesinde TBDY2018 Tablo 4.1 uyarınca belirlenmiş olan R ve D katsayılarının seçimi önem arz etmektedir. Çekirdek perdesi, kolon, kiriş gibi betonarme elemanların kirişli plak ve kaset döşemelerle birlikte kullanıldığı durumda bina taşıyıcı sistemi A15 olarak seçilebilir.

Tablo 3.2: R ve D katsayıları (TBDY2018)

Tablo 4.1. Bina Taşıyıcı Sistemleri için Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı, Dayanım Fazlalığı Katsayısı ve İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları

Bina Taşıyıcı Sistemi	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R	Dayanım Fazlalığı Katsayısı D	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları BYS
A. YERİNDE DÖKME BETONARME BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ			
A1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
A11. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran *süneklik düzeyi yüksek* betonarme çerçevelerle karşılandığı binalar	8	3	BYS ≥ 3
A12. Deprem etkilerinin tamamının *süneklik düzeyi yüksek* bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdelerle karşılandığı binalar	7	2.5	BYS ≥ 2
A13. Deprem etkilerinin tamamının *süneklik düzeyi yüksek* boşluksuz betonarme perdelerle karşılandığı binalar	6	2.5	BYS ≥ 2
A14. Deprem etkilerinin moment aktaran *süneklik düzeyi yüksek* betonarme çerçeveler ile *süneklik düzeyi yüksek* bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.**4.3.4.5**)	8	2.5	BYS ≥ 2
A15. Deprem etkilerinin moment aktaran *süneklik düzeyi yüksek* betonarme çerçeveler ile *süneklik düzeyi yüksek* boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.**4.3.4.5**)	7	2.5	BYS ≥ 2
A16. Deprem etkilerinin tamamının çatı düzeyindeki bağlantıları mafsallı olan ve yüksekliği 12 m'yi geçmeyen *süneklik düzeyi yüksek* betonarme kolonlar tarafından karşılandığı tek katlı binalar	3	2	–

4.3.2.4 – DTS = 1, 1a, 2, 2a olan betonarme perdeli ve/veya çelik çaprazlı çerçeveli binalarda, herhangi bir doğrultuda aşağıda **(a)** ve **(b)**'de tanımlanan iki koşuldan birinin sağlanamaması durumunda, o doğrultuda *Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R* yerine (4/5)*R* gözönüne alınacaktır. *Dayanım Fazlalığı Katsayısı D*'de herhangi bir değişiklik yapılmayacaktır. **4.5.4.5**'de verilen koşulu sağlayan bağ kirişli perde sistemi, tek bir perde olarak olarak gözönüne alınacaktır.

(a) Taşıyıcı sistemde tek bir perdenin veya çelik çaprazlı çerçevenin aldığı taban devrilme momenti M_{DEV}, o doğrultuda binanın tümü için deprem yüklerinden meydana gelen toplam taban devrilme momenti M_o'ın 1/3'ünden fazla olmayacaktır.

(b) Binanın her bir kenar aksında yer alan perde/perdelerin veya çelik çaprazlı çerçeve/çerçevelerin aldığı taban devrilme momenti M_{DEV} veya M_{DEV}'lerin toplamı, o doğrultuda binanın tümü için deprem yüklerinden meydana gelen toplam taban devrilme momenti M_o'ın 1/6'sından az olmayacaktır.

Şekil 3.10: TBDY2018 Madde 4.3.2.4

Yapının her bir kenar aksında yer alan perde veya perdeler olmadığı için TBDY2018 Madde 4.3.2.4 uyarında R katsayısı 4/5*R oranında azaltılacaktır. Bu durumda;

R=7*4/5=5.6

D=2.5

değerleri dikkate alınmıştır.

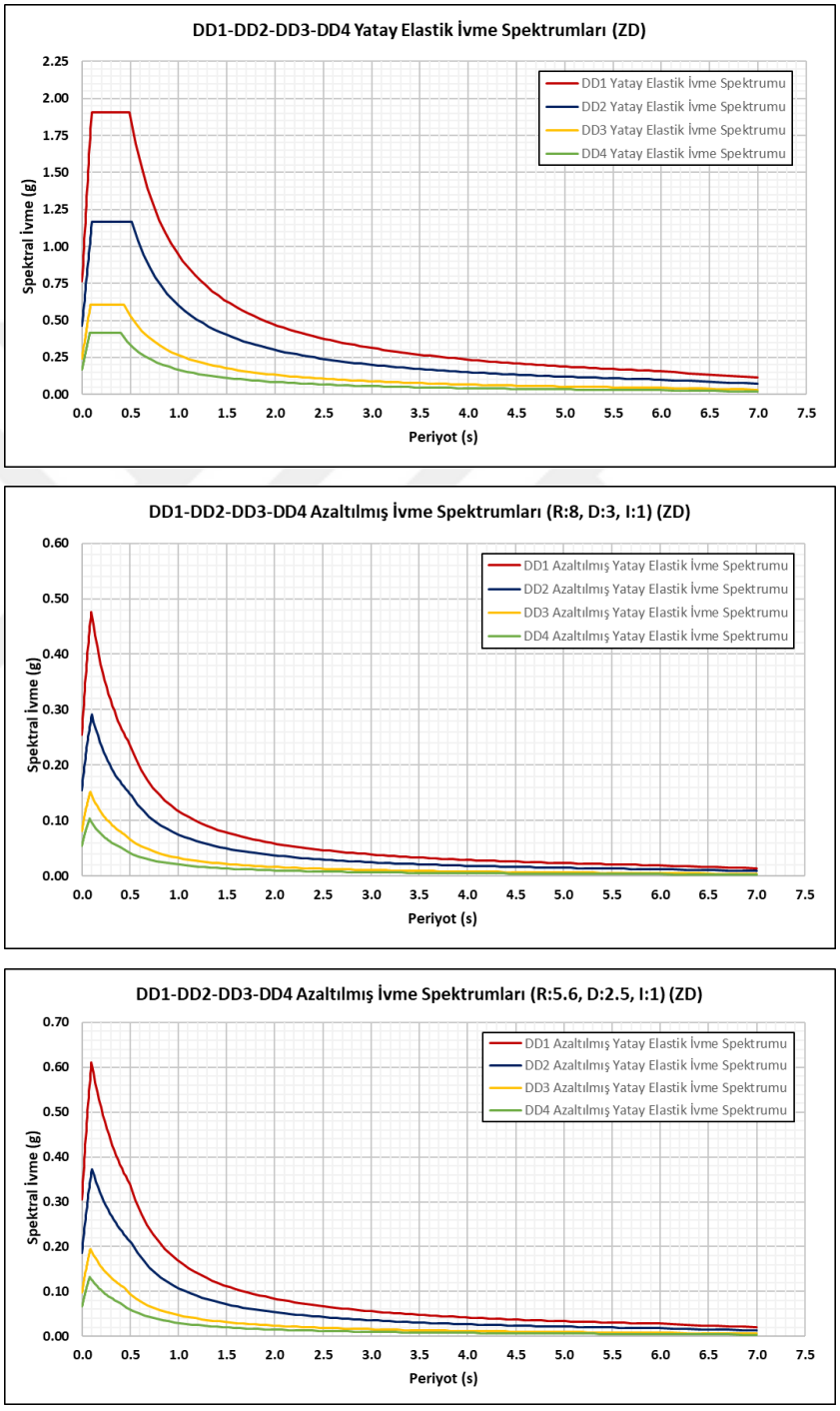
Bu çalışma kapsamında dikkate alınan kaset döşemeli ve kirişli plak döşemeli sistemlerde prdesiz yapılar için Tablo 4.1 doğrultusunda A11 "Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçevelerle karşılandığı binalar" seçilebilir. Bu durumda;

R=8.0

D=3.0

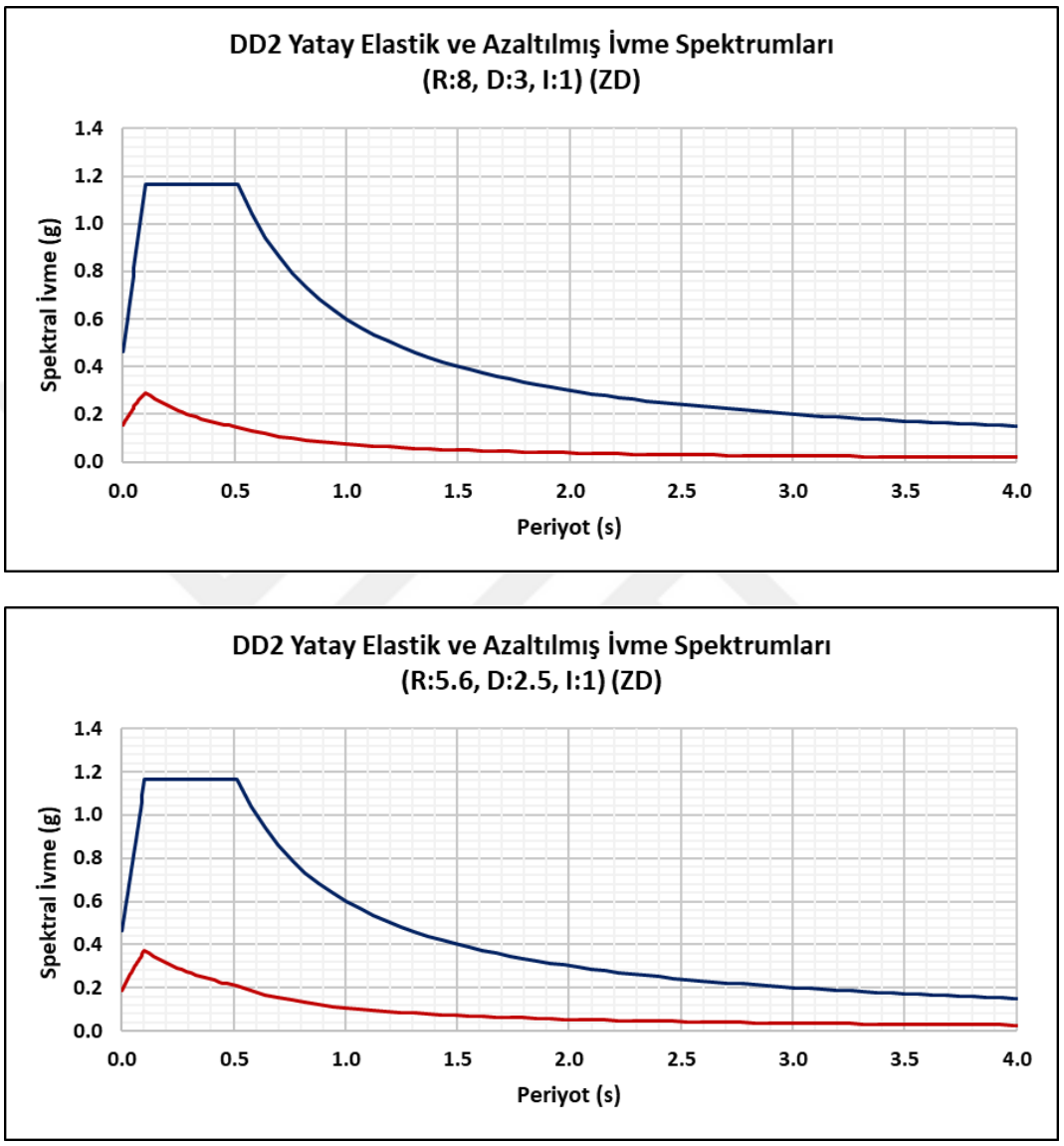
değerleri dikkate alınmıştır.

Bu veriler doğrultusunda DD1, DD2, DD3, DD4 deprem düzeyleri ve zemin sınıfı ZD için dikkate ayrı ayrı hazırlanan "Yatay Elastik İvme Spektrumları" ve yukarıda tariflenen R ve D katsayılarına göre hazırlanmış "Azaltılmış Yatay İvme Spektrumları" grafikleri aşağıda **Şekil 3.13**' de sunulmuştur.



Şekil 3.11: Elastik ve azaltılmış yatay ivme spektrumları.

Bu çalışma kapsamında yalnızca DD2 düzeyi dikkate alındığından, bu düzeye ait elastik ve azaltılmış ivme spektrumları münferiden aşağıda **Şekil 3.14**' de paylaşılmıştır.



Şekil 3.12: DD2 için elastik ve azaltılmış yatay ivme spektrumları.

3.4. Yapıların Malzeme ve Yük Bilgileri

Özet olarak yapı genelinde kabul edilecek malzeme özellikleri aşağıda paylaşılmıştır;

- Beton Karakteristik Basınç Dayanımı (fck) : 35 MPa
- Donatı Sınıfı : B420C, Nervürlü
- Donatı Karakteristik Akma Dayanımı (fyk) : 420 MPa
- Enine Donatı Aralığı (s) : 10 cm
- Enine Donatı Kancası : 135º

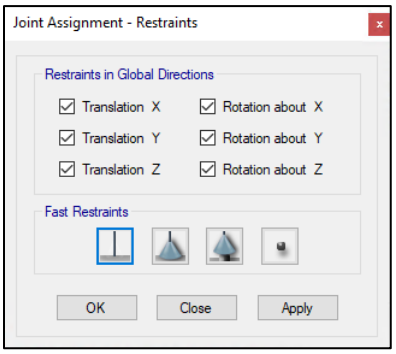
Yapılara tanımlanan yükler aşağıda sunulmuştur.

Tablo 3.3: Yapısal analizlerde tanımlanan kullanım yükleri.

Katlara Göre Kullanım Yükleri		
Yükleme	Normal Katlar	Çatı Katı
SDL	4.00 kN/m^2	2.50 kN/m^2
ASL	0.55 kN/m^2	0.55 kN/m^2
LL	2.00 kN/m^2	1.50 kN/m^2
S	-	0.75 kN/m^2

3.5. Yapısal Analizlerde Modelleme ve Performans Esasları

Yapının taşıyıcı sistemi ETABS V21.2.0 programı kullanılarak çerçeve elemanları (kolon ve kirişler) çubuk eleman, döşeme elemanları için kabuk (shell) eleman tanımlanmıştır. TBDY 2018-4.5.3.7'e göre yapıdaki perdeler hem düzlem içi, hem de düzlem dışı yer değiştirmelere ilişkin serbestlik derecelerini içeren kabuk sonlu elemanlar ile modellenmiştir. TBDY 2018'e göre analiz modeli ankastre temele oturan bir sistem olarak kabul edilmiş ve ETABS tanımlaması aşağıda **Şekil 3.16**' da sunulmuştur.

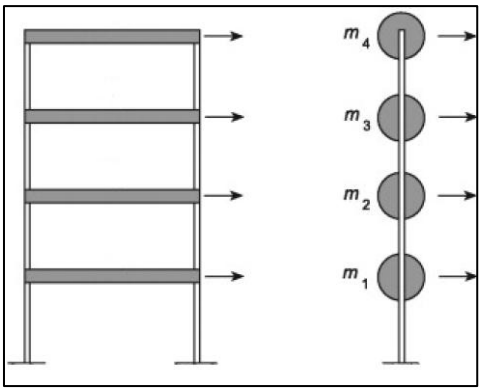


Şekil 3.13: Ankastre mesnet tanımı.

ETABS programında kütle kaynağı (Mass Source), yapının deprem etkileri altında analiz edilmesi için gerekli olan kütlelerin nasıl tanımlanacağını belirler. Bu tanım, yapı elemanlarına etkiyen sabit ve hareketli yüklerin hangi oranlarda kütle hesabına dahil edileceğini gösterir. Bu yükler, yapının kütle merkezini ve toplam ataletini belirlemede kullanılır. Aşağıda yapının kütle hesabına dahil edilen yükleme tipleri sunulmuştur.

- Zati Yük (DL) : 1.0
- Sabit Yük (SDL) : 1.0
- Hareketli Yük, n:0.3 (LL3) : 0.3
- Hareketli Yük, n:0.6 (LL6) : 0.6
- Hareketli Yük, n:0.8 (LL8) : 0.8
- Kar Yükü (S) : 0.3

Yapının dinamik analizlerinde, her kat düzeyindeki yatay kütleler, ilgili katın kütle merkezinde yoğunlaştırılarak (lumped mass approach) modele dahil edilmiştir. Bu kapsamda, “Lump lateral mass at story levels” seçeneği etkinleştirilmiş ve tüm lateral kütleler, analiz kolaylığı ve modal hesapların doğruluğu amacıyla kat düzlemlerinde toplanmıştır.



Şekil 3.14: Şematik lumped mass kabulü.

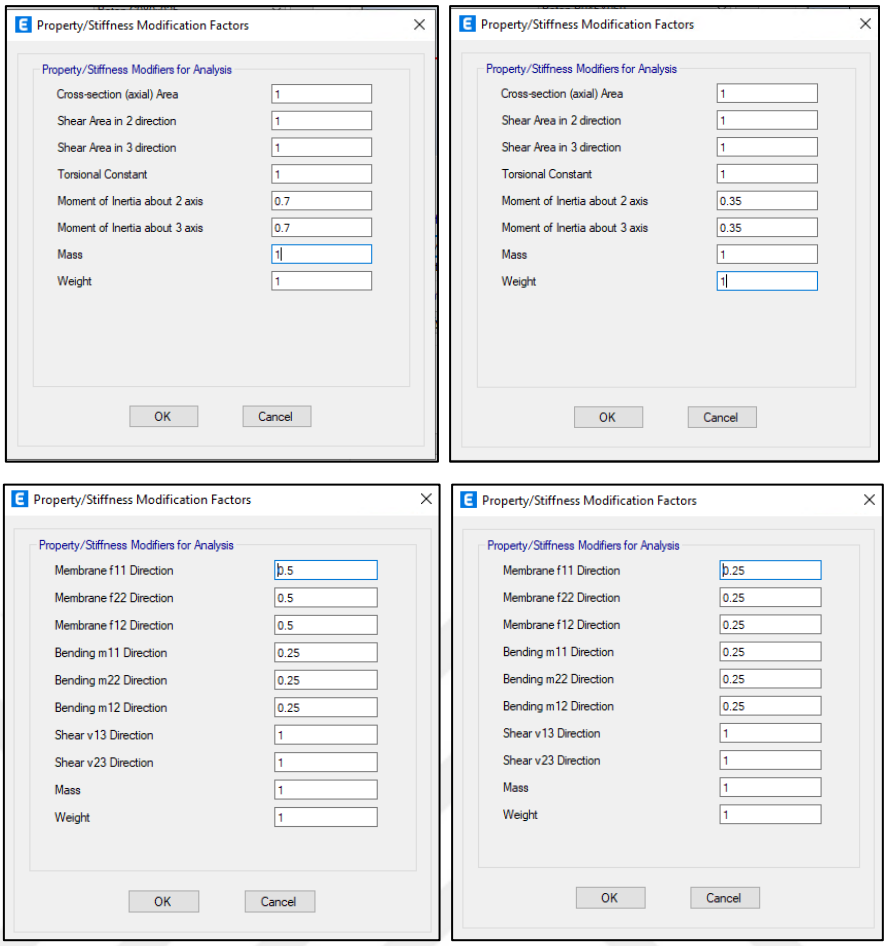
TBDY 2018 – 5.4.5.1'e göre doğrusal olarak modellenen perde ve döşemelerin düzlem içi ve düzlem dışı hareketlerine ilişkin etkin kesit rijitlikleri Tablo 4.2'den alınmıştır.

Tablo 3.4: Etkin kesit rijitliği çarpanları (TBDY2018)

Tablo 4.2. Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Etkin Kesit Rijitliği Çarpanları

Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanı	Etkin Kesit Rijitliği Çarpanı	
Perde – Döşeme (Düzlem İçi)	***Eksenel***	***Kayma***
Perde	0.50	0.50
Bodrum perdesi	0.80	0.50
Döşeme	0.25	0.25
Perde – Döşeme (Düzlem Dışı)	***Eğilme***	***Kesme***
Perde	0.25	1.00
Bodrum perdesi	0.50	1.00
Döşeme	0.25	1.00
Çubuk eleman	***Eğilme***	***Kesme***
Bağ kirişi	0.15	1.00
Çerçeve kirişi	0.35	1.00
Çerçeve kolonu	0.70	1.00
Perde (eşdeğer çubuk)	0.50	0.50

Aşağıda yapısal elemanlara ait örnek etkin kesit rijitliği çarpanları tanımlamaları sunulmuştur. Doğrusal olmayan analizlerde fiber hinge tanımı kullanıldığından, etkin kesit rijitlikleri modal analiz ve doğrusal analizler için kullanılmıştır.



Şekil 3.15: ETABS' a tanımlanan etkin kesit rijitlikleri.

Kabuk elemanlarla modellenen döşeme ve perdeler, iç kuvvet dağılımlarının daha doğru hesaplanabilmesi amacıyla otomatik olarak meshlenmiştir. Bu işlem sayesinde, özellikle gerilme yığılmalarının oluşabileceği perde-kolon birleşim bölgeleri ile döşeme açıklıklarında çözüm hassasiyeti artırılmış; yapı elemanlarının gerçek davranışlarına daha yakın sonuçlar elde edilmiştir. Böylece analiz sonuçlarının güvenilirliği artırılmış ve performans değerlendirmesine daha sağlıklı veri sağlanmıştır.

TBDY 2018'de Madde 3.2'de tanımlanan Deprem Tasarım Sınıfları'nın belirlenmesine esas olmak üzere Bina Kullanım Sınıfları (BKS), değerlendirmesi yapılacak olan yapının kullanım amacına uygun olarak TBDY2018 Tablo 3.1'de tanımlanmıştır.

Tablo 3.5: BKS ve I katsayıları (TBDY2018)

Tablo 3.1 – Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayıları

Bina Kullanım Sınıfı	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (I)
BKS = 1	**Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar** **a)** Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) **b)** Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. **c)** Müzeler **d)** Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb. özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1.5
BKS = 2	**İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar** Alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb.	1.2
BKS = 3	**Diğer binalar** BKS=1 ve BKS=2 için verilen tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb.)	1.0

Tanımlanan Bina Kullanım Sınıflarına ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için tanımlanan Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısına bağlı olarak, yönetmelikte deprem etkisi altında tasarımda esas alınacak Deprem Tasarım Sınıfları (DTS), TBDY 2018'de Tablo 3.2'den belirlenecektir.

Tablo 3.6: Deprem tasarım sınıfları (TBDY2018)

Tablo 3.2 – Deprem Tasarım Sınıfları (DTS)

DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS})	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS = 1	BKS = 2, 3
$S_{DS} < 0.33$	DTS = 4a	DTS = 4
$0.33 \le S_{DS} < 0.50$	DTS = 3a	DTS = 3
$0.50 \le S_{DS} < 0.75$	DTS = 2a	DTS = 2
$0.75 \le S_{DS}$	DTS = 1a	DTS = 1

TBDY 2018'de bahsedilen deprem tasarım sınıflarına göre, mevcut binalar için yapısal performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları TBDY 2018 Bölüm 3'te yer alan Tablo 3.4'ten seçilecektir.

Tablo 3.7: Mevcut binalarda performans hedefleri (TBDY2018)

(c) Mevcut Yerinde Dökme Betonarme, Önüretimli Betonarme ve Çelik Binalar
(Yüksek Binalar dışında – BYS ≥ 2)

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS = 1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-3	--	--	SH	ŞGDT
DD-2	KH	ŞGDT	--	--
DD-1	--	--	KH	ŞGDT

3.6. Yapısal Analiz Yöntemleri

Yapısal performans analizlerinde, TBDY 2018 Bölüm 15'te tanımlanmış olan doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile deprem hesabı gerçekleştirilmiştir. Binanın deprem etkisi altında yapısal performansının değerlendirilmesi için kullanılan doğrusal olmayan hesap yöntemleri kullanılarak

- Sünek davranışa ilişkin plastik şekil değiştirme ve plastik dönme talepleri
- Gevrek davranışa ilişkin iç kuvvet talepleri

hesaplanmıştır. Daha sonra bu talep büyüklükleri, şekil değiştirme ve iç kuvvet kapasiteleri ile karşılaştırılarak, kesit ve bina düzeyinde yapısal performans değerlendirilmesi yapılmıştır.

3.6.1. Ön Değerlendirme Analizleri

Ön değerlendirme analizlerinde TBDY 2018'te tanımlanmış olan "Sabit Tek Modlu İtme Yöntemi" kullanılmıştır. Göz önüne alınan deprem doğrultusunda her bir itme adımında katlara etkiyen deprem yük artımları, deprem dışı yüklemelerden sonraki birinci adımda belirlenen ve itme hesabı boyunca hiç değiştirilmeyen sabit mod şekli ile orantılı olarak tanımlanmıştır. İtme hesabı sonucunda koordinatları modal yerdeğiştirme – modal sözde ivme olan modal kapasite diyagramı elde edilmiştir. Son olarak elde edilen diyagramla, tanımlanan deprem etkisi altında modal yerdeğiştirme talebi ve buna bağlı olarak taşıyıcı sistemde meydana gelen iç kuvvet ve plastik yerdeğiştirme talepleri karşılaştırılmıştır.

"Sabit Tek Modlu İtme Yöntemi"nin amacı, birinci (deprem doğrultusunda hakim) titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde, deprem istemi sınırına kadar monotonik olarak adım adım arttırılan eşdeğer deprem yüklerinin etkisi altında doğrusal olmayan itme analizinin yapılmasıdır. Düşey yük analizini izleyen itme analizinin her adımında, taşıyıcı sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme ve iç kuvvet artımları ile bunlara ait birikimli değerler ve son adımda deprem istemine karşı gelen maksimum değerler hesaplanır.

Artımsal itme analizi sırasında, eşdeğer deprem yükü dağılımının, taşıyıcı sistemdeki plastik kesit oluşumlarından bağımsız biçimde sabit kaldığı varsayımı yapılabilir. Bu durumda yük dağılımı, analizin başlangıç adımında doğrusal elastik davranış için

hesaplanan birinci (deprem doğrultusundaki hakim) doğal titreşim mod şekli genliği ile ilgili kütlenin çarpımından elde edilen değerle orantılı olacak şekilde tanımlanır. Kat döşemeleri rijit diyafram olarak idealleştirilen binalarda, birinci (hakim) doğal titreşim mod şeklinin genlikleri olarak her katın kütle merkezindeki birbirine dik iki yatay öteleme ile kütle merkezinden geçen düşey eksen etrafındaki dönme gözönüne alınır.

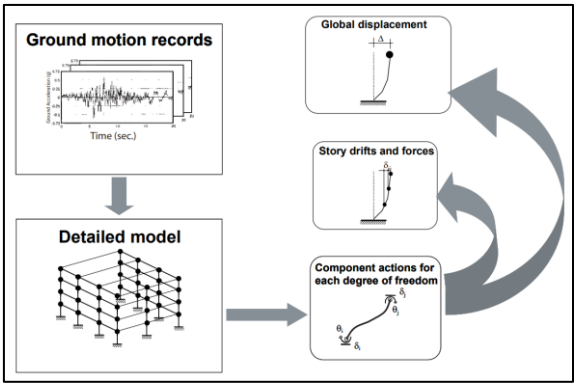
Sabit yük dağılımına göre yapılan itme analizi ile, koordinatları "tepe yer değiştirmesi– taban kesme kuvveti" olan itme eğrisi elde edilir. Tepe yer değiştirmesi, binanın en üst katındaki kütle merkezinde, gözönüne alınan x deprem doğrultusunda, her itme adımında hesaplanan yer değiştirmedir. Taban kesme kuvveti ise, her adımda eşdeğer deprem yüklerinin x deprem doğrultusundaki toplamıdır. İtme eğrisine uygulanan koordinat dönüşümü ile koordinatları "modal yerdeğiştirme– modal ivme" olan modal kapasite diyagramları elde edilebilir. Elde edilen diyagram doğrultusunda diğer tüm istem büyüklükleri (yer değiştirme, şekil değiştirme ve iç kuvvet istemleri) TBDY2018' e göre hesaplanır.

3.6.2. Güçlendirme Analizleri

Yapılan güçlendirme analizlerine TBDY 2018 – Bölüm 5 başlığı altında tanımlanmış olan "Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi İle Deprem Hesabı" kullanılmıştır. Bu hesap yöntemi, deprem yer hareketinin etkisi altında taşıyıcı sistemin hareket denklemlerini ifade eden diferansiyel denklem takımının zaman artımları ile adım adım doğrudan integrasyonu'na karşı gelir. Bu işlem sırasında, doğrusal olmayan davranış nedeni ile sistem rijitlik matrisinin zamanla değişimi gözönüne alınır.

Uygulanan yer hareketi, yapı modeline doğrudan ivme girdisi olarak tanımlanmış ve her bir zaman adımında sistemin iç kuvvet ve yer değiştirme değerleri yeniden hesaplanmıştır.

Doğrusal olmayan analiz kapsamında, yapı elemanlarının elastik sınırları aşabileceği ve plastik şekil değiştirmelere maruz kalabileceği kabul edilmiştir. Buna bağlı olarak, sistemin rijitlik özellikleri sabit tutulmamış, hasar birikimi ve yükleme geçmişine göre zamanla değişen rijitlik etkileri modele dahil edilerek, yapının doğrusal sınırlar dışındaki davranışı zamana bağlı olarak izlenebilmiştir.



Şekil 3.16: Doğrusal olmayan dinamik analiz akış şeması.

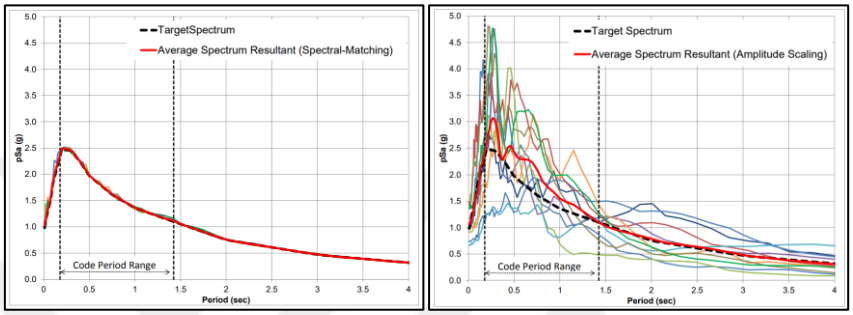
Analiz yöntemi, modal ayrıştırma kullanılmadan, sistemin tüm kütle ve rijitlik özelliklerini doğrudan dikkate alacak şekilde uygulanmıştır. Bu yaklaşım, yapıdaki düzensizliklerin ve lokal etkilerin daha hassas şekilde temsil edilmesini sağladığından, performansa dayalı tasarım sürecinde yapının inelastik davranışını ayrıntılı şekilde değerlendirme olanağı sunar. Bu yöntemle, yapı elemanlarında meydana gelen plastikleşmeler, deplasman talepleri ve genel performans düzeyi doğrudan belirlenmiş ve güvenilir bir değerlendirmeye imkan tanımıştır.

NLTHA yöntemiyle yapılan analizlerde kullanılan deprem kayıtları, genellikle gerçek deprem ölçümlerinden elde edilen ham verilerdir. Ancak bu kayıtlar, analiz yapılacak yapının bulunduğu bölgeye özgü sismik tehlike düzeyi veya tasarım spektrumu ile doğrudan uyum göstermeyebilir. Bu nedenle, deprem kayıtlarının ölçeklenmesi gereklidir. Ölçekleme işlemi, seçilen kayıtların hedef spektruma uygun hale getirilmesini sağlar ve yapının gerçekçi sismik performansının değerlendirilmesine olanak tanır. Böylece, yapı güvenliğinin doğru bir şekilde analiz edilmesi ve performans hedeflerine uygun sonuçların elde edilmesi mümkün hale gelir.

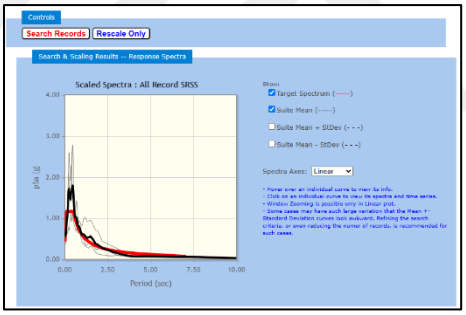
Deprem kayıtlarının seçiminde, yapısal performansın doğru değerlendirilebilmesi için güvenilir ve bölgeye uygun verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bağlamda, PEER (Pacific Earthquake Engineering Research Center) tarafından geliştirilen NGA (Next Generation Attenuation) veritabanı, dünya genelinde kaydedilmiş birçok deprem verisini yüksek doğrulukla sunmakta ve mühendislik analizlerinde önemli bir kaynak oluşturmaktadır. Bu çalışmada, PEER NGA veritabanından elde edilen kayıtlar kullanılarak yapının sismik performansı değerlendirilmiştir.

Deprem mühendisliğinde, seçilen kayıtların hedef tasarım spektrumu ile uyumlu hale getirilmesi için farklı ölçekleme yöntemleri kullanılmaktadır. Basit ölçekleme, tek bir sabit katsayı ile ivme değerlerini ölçeklerken, spektral uyuşum (matching) yöntemi, belirli periyotlarda hedef spektruma daha iyi uyum sağlamak için frekans bileşenlerini düzenler. Yöntem seçimi, analiz amacına ve yapının performans hedeflerine bağlıdır.

Aşağıda **Şekil 3.24**' de basit ölçekleme (amplitude scaling) ve spektral uyuşum (spectral matching) yöntemlerine ait örnekler sunulmuştur.



Şekil 3.17: Spektral uyuşum ve basit ölçekleme yöntemleri örneği



Şekil 3.18: Kayıtlarının PEER-NGA' veri tabanından alınması ve ölçeklenmesi.

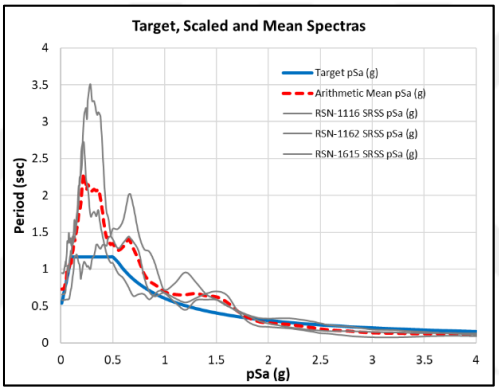
Bu çalışmada, deprem kayıtlarının ölçeklenmesinde basit ölçekleme yöntemi tercih edilmiştir. Basit ölçekleme, seçilen deprem kaydının ivme değerlerinin sabit bir katsayı ile çarpılması yoluyla gerçekleştirilir. Bu yöntemin tercih edilmesinin en önemli nedenlerinden biri, deprem hareketinin temel dinamik özelliklerini korumasıdır. Ölçekleme işlemi yalnızca kaydın genliğini değiştirirken, deprem hareketinin frekans içeriği, hız profili ve zaman aralığı sabit kalır. Böylece ölçekleme sonrası elde edilen kayıt, yapısal analizlerde gerçekçi sonuçlar üretmeye devam eder. Özellikle performans değerlendirmesi yapılan yapının dinamik karakteristiklerine uygun deprem talebinin belirlenmesi amacıyla, basit ölçekleme yöntemi pratik ve güvenilir bir yaklaşım sunmaktadır.

Kullanılan deprem kayıtlarına ait özet bilgiler aşağıdaki tablolarda sunulmuştur.

Tablo 3.8: Seçilen deprem kayıtlarına ait özet bilgiler.

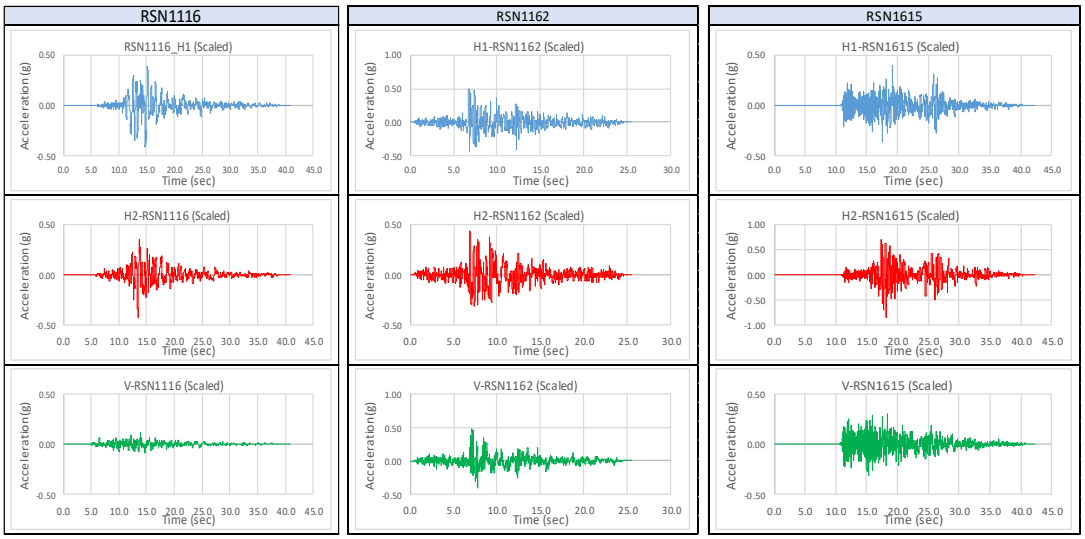
Record Sequence Number	Scale Factor	Tp-Pulse Period (sec)	5-75% Duration (sec)	5-95% Duration (sec)	Arias Intensity (m/sec)	Earthquake Name	Year	Station Name	Magnitude	Mechanism	Rjb (km)	Rrup (km)	Vs30 (m/sec)	Lowest Useable Frequency (Hz)
1116	1.7754	-	4.5	11.6	0.8	"Kobe_Japan"	1995	"Shin-Osaka"	6.9	SS	19.14	19.15	256	0.125
1162	3.6008	-	5.6	11.4	0.3	"Kocaeli_Turkey"	1999	"Goynuk"	7.51	SS	31.74	31.74	347.62	0.1875
1615	3.2807	-	13.6	16.1	1	"Duzce_Turkey"	1999	"Lamont 1062"	7.14	SS	9.14	9.14	338	0.0625

Record Sequence Number	Horizontal-1 Acc. Filename	Horizontal-2 Acc. Filename	Vertical Acc. Filename
1116	RSN1116_KOBE_SHI000.AT2	RSN1116_KOBE_SHI090.AT2	RSN1116_KOBE_SHI-UP.AT2
1162	RSN1162_KOCAELI_GYN000.AT2	RSN1162_KOCAELI_GYN090.AT2	RSN1162_KOCAELI_GYN-UP.AT2
1615	RSN1615_DUZCE_1062-N.AT2	RSN1615_DUZCE_1062-E.AT2	RSN1615_DUZCE_1062-V.AT2



Şekil 3.19: Kayıtların ölçeklenmiş spektrumları.

Aşağıda ölçeklenmiş deprem kayıtlarına ait zaman-ivme grafikleri sunulmuştur.



Şekil 3.20: RSN1116, RSN1162 ve RSN1615 için ölçeklenmiş kayıt grafiği.

3.7. Yapısal Taşıyıcı Elemanların Performans Kabulleri

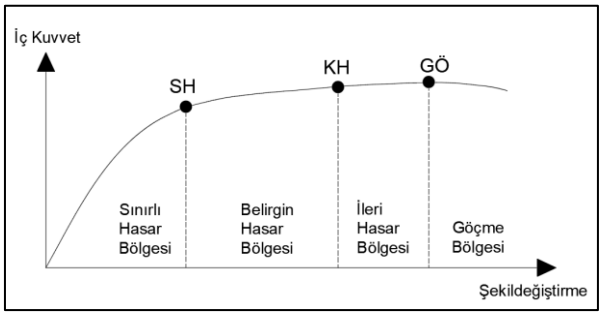
Bir yapının deprem vb. gibi dinamik etkiler altındaki performansı, onu oluşturan taşıyıcı elemanların mekanik tepkileri ve hasar davranışlarıyla şekillendiğinden; yapısal performans, eleman performanslarının bileşkesidir.

Temel, kolon, perde, kiriş ve birleşim bölgeleri gibi elemanlar, yatay yükler altında çatlama, plastikleşme ve taşıma kapasitesinde azalma vb. gibi hasar belirtileri gösterebilir. Bu hasarların doğru şekilde tanımlanması ve sınıflandırılması, yapı sisteminin güvenlik ve kullanılabilirlik düzeyinin belirlenmesinde kritik rol oynar. Bu bağlamda, taşıyıcı elemanlarda oluşan hasar durumları, belirli sınırlar ve performans kriterleri çerçevesinde değerlendirilerek yapısal davranışa etkileri yönetmelikler doğrultusunda teknik bir yaklaşımla ele alınacaktır.

Yapısal taşıyıcı elemanların hasar durumu, bu elemanların deprem gibi yatay yükler altındaki davranışlarına göre oluşan fiziksel ve mekanik bozulmaları tanımlar. Bu durum, özellikle plastikleşme, çatlama, ezilme, burkulma vb. gibi etkilerle kendini gösterir. Her eleman tipi (kolon, kiriş, perde, birleşim bölgesi) için hasar gelişimi farklı şekillerde ilerlese de genelde şu evrelerde değerlendirilir;

- Elastik Davranış: Yapı elemanı yük altında geri dönüşlü şekilde şekil değiştirir, kalıcı hasar yoktur.
- Sınırlı Hasar: Elastik ötesi davranış çok sınırlıdır, neredeyse dayanım kaybı hiç olmadan eleman görevini sürdürebilir.
- Belirgin Hasar: Kesit dayanımının güvenli olarak sağlanabileceği elastik ötesi davranışın başladığı, dayanımın ve rijitliğin kısmen azaldığı evredir.
- İleri Hasar: Kesitte belirgin elastik ötesi (plastik) davranış vardır. Dayanım ve rijitlik azaldığından, elemanın taşıyıcılığı sınırlıdır. Elemanın güçlendirilmesi edilmesi ya da yenilenmesi gerekebilir.
- Göçme Hasarı: Kesit plastik davranış kapasitesini aşarak yük taşıyamaz duruma gelmiştir.

Bir yapısal taşıyıcı elemanın yukarıda ifade edilen kesit hasar durumlarından/bölgelerinden hangisine uğradığı, TBDY2018 Bölüm 15.3.2 uyarınca belirli şekildeğiştirme sınır değerlerine göre tanımlanmaktadır.



Şekil 3.21: TBDY2018 kesit hasar bölgeleri ve sınırları.

Kesitteki en büyük şekildeğiştirme miktarı;

- SH sınır değerine ulaşmadıysa, eleman "Sınırlı Hasar Bölgesinde" olarak nitelendirilir.
- SH~KH sınırları aralığında ise "Belirgin Hasar Bölgesinde" olarak nitelendirilir.
- KH~GÖ sınırları aralığında ise "İleri Hasar Bölgesinde" olarak nitelendirilir.
- GÖ sınır değerini geçmiş ise "Göçme Bölgesinde" olarak nitelendirilir.

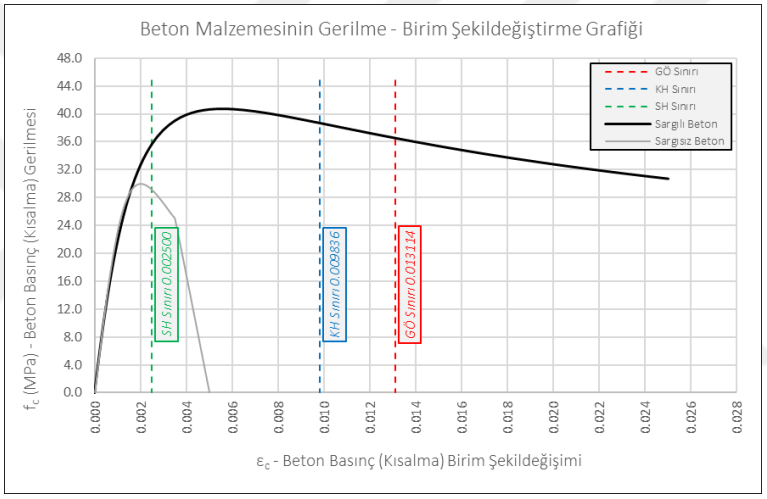
Kesit düzeyindeki bu hasar durumları sünek elemanlar içindir. Gevrek hasar gören elemanlarda bu sınıflandırmalar geçerli değildir.

3.8. Yapısal Taşıyıcı Elemanların Hasar Sınırları

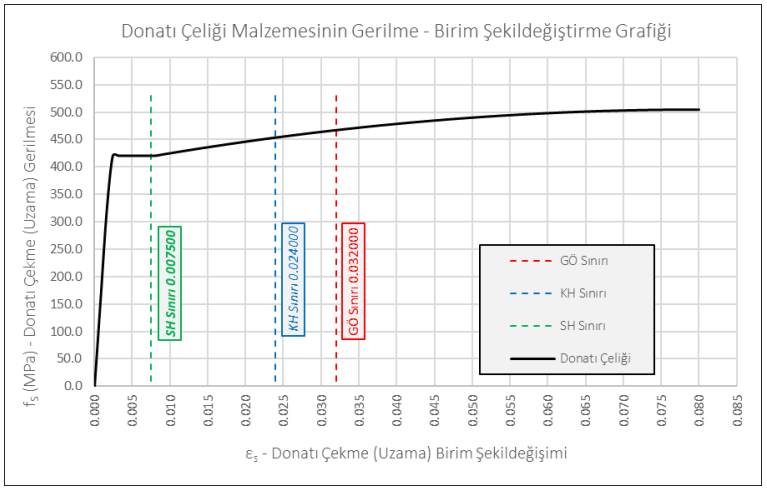
Yapısal taşıyıcı elemanlarının uçlarındaki plastik dönmeler, doğrusal olmayan analizlerin çıktılarından elde edilerek, yönetmelikler çerçevesinde tanımlanmış şekildeğiştirme sınırları ile mukayese edilir. Sünek elemanlar için kesit düzeyindeki hasar bölgelerini ayıran Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçme Öncesi Hasar (GÖ) olmak üzer üç hasar sınırı tanımlanmıştır. Bu sınırlar, yapı elemanlarının malzeme özellikleri, kesit geometrileri ve donatı detaylandırma koşullarına bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Bu sınırlar, yapı elemanlarının malzeme özellikleri, kesit geometrileri ve donatı detaylandırma koşullarına bağlı olarak değişiklik gösterebilir.

TBDY 2018, taşıyıcı sistemlerin deprem etkisi altındaki davranışını değerlendirmek için Şekil Değiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım (ŞGDT) yaklaşımını önerir. Bu yöntemde, yapı elemanlarının doğrusal olmayan davranışları dikkate alınarak, deprem etkisi altındaki şekil değiştirme talepleri belirlenir. Elde edilen talepler, yönetmelikte tanımlanan şekil değiştirme kapasiteleriyle karşılaştırılarak, yapı elemanlarının performans seviyeleri değerlendirilir.

Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Düzeyi için yapılacak performans değerlendirmesinde kullanılmak üzere, "*yayılı plastik davranış modeline*" göre hesaplanan beton ve donatı çeliği toplam birim şekildeğiştirmeleri $\varepsilon_c^{(GÖ)}$ ve $\varepsilon_s^{(GÖ)}$ için izin verilen hasar limit değerleri aşağıda sunulmuştur.



Şekil 3.22: TBDY2018 kesit hasar bölgeleri ve sınırları.



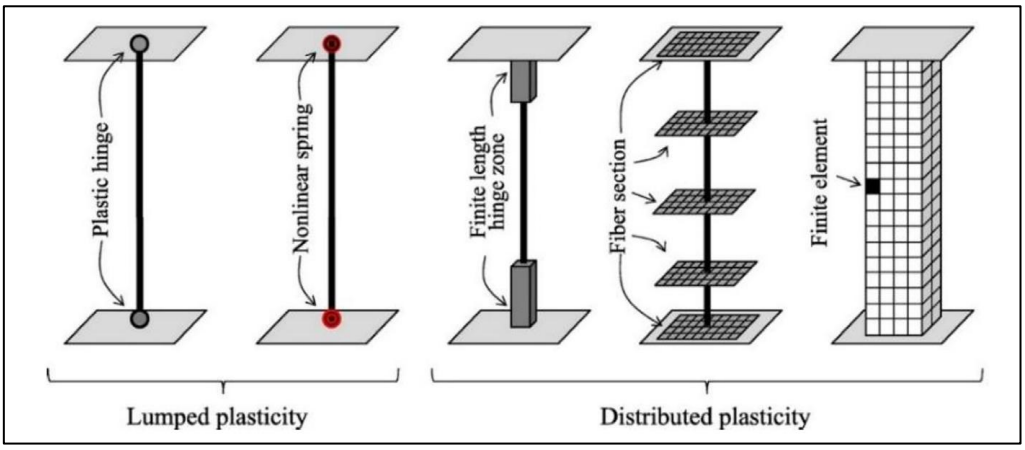
Şekil 3.23: TBDY2018 kesit hasar bölgeleri ve sınırları.

Bu çalışmada yapılan hesaplarda kesitlerin şekildeğiştirme sınır değerlerinin, fiber(lif) elemanların gerilme değerleri ile kıyaslandığı "*yayılı plastik davranış modeli*" kullanılmıştır.

Aşağıda malzemelerin birim şekil değiştirme oranlarına göre hasar limitleri sunulmuştur. Bu çalışma kapsamında hazırlanan Excel tabloları ile her bir elemanın hasar durumları tespit edilmiştir.

Tablo 3.9: Malzemelerin hasar limitleri.

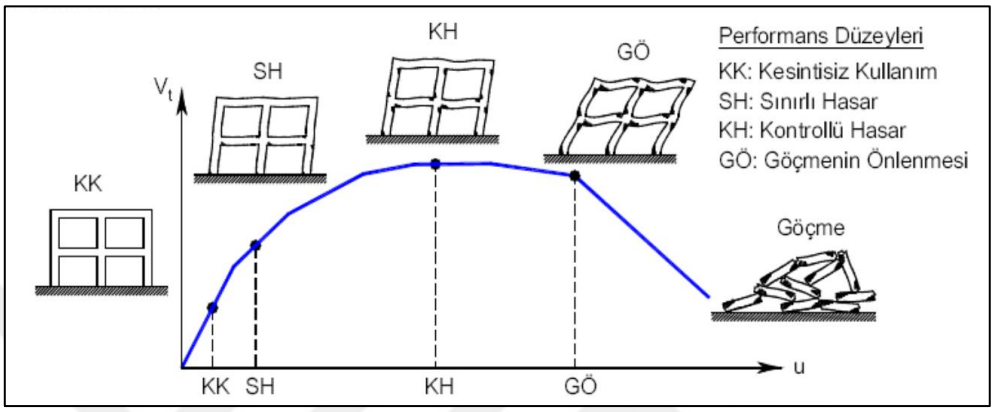
Malzemelerin Birim Şekil Değiştirmede Hasar Limitleri				
Material	**Açıklama**	**SH (IO)**	**KH (LS)**	**GÖ (CP)**
Beton (C35)	Sargısız beton	-0.0025	-0.00263	-0.0035
Donatı-B420C	Donatı	±0.0075	±0.024	±0.032
Beton-B065X035	Kiriş	-0.0025	-0.00587	-0.00783
Beton-B050X060	Kiriş	-0.0025	-0.00646	-0.00861
Beton-C045X045	Kolon	-0.0025	-0.0112	-0.01493
Beton-C050X050	Kolon	-0.0025	-0.0108	-0.01439
Beton-C055X055	Kolon	-0.0025	-0.01045	-0.01393
Beton-C060X060	Kolon	-0.0025	-0.01014	-0.01352
Beton-C065X065	Kolon	-0.0025	-0.00987	-0.01316
Beton-C070X070	Kolon	-0.0025	-0.00962	-0.01283
Beton-C075X075	Kolon	-0.0025	-0.01018	-0.01357
Beton-C080X080	Kolon	-0.0025	-0.00995	-0.01327
Beton-C085X085	Kolon	-0.0025	-0.0104	-0.01387



Şekil 3.24: Yapı elemanları için plastik davranış modelleri **[41]**.

3.9. Bina Performans Düzeyi Kabul Kriterleri

Mevcut binaların deprem performansı, uygulanan deprem etkisi altında binada oluşması beklenen hasarların durumu ile ilişkili olup dört farklı hasar durumu tanımlanmıştır. Hesap yöntemlerinin uygulanması ve eleman performanslarına karar verilmesi ile bina deprem performans düzeyi belirlenir.



Şekil 3.25: Bina performans düzeyini şematik tariflemesi.

Bu hasar durumları aşağıda açıklanmıştır;

- Sınırlı Hasar Bölgesi: Yapı, deprem sırasında küçük ve kabul edilebilir hasarlar alır. Şekil değiştirmeler sınırlıdır, işlevsellik bozulmaz ve yapı hemen kullanılabilir, güvenlik riske edilmeden onarıma alınabilir.

- Belirgin Hasar Bölgesi: Yapı, önemli hasar alır ancak göçmeye yol açmaz. Plastikleşme, çatlamalar ve deformasyonlar görülür. Yapı hala kullanılabilir, ancak bölgesel güçlendirme veya onarım gerekebilir.

- İleri Hasar Bölgesi: Yapı, önemli hasar alır ve kullanılamaz hale gelir. Taşıyıcı elemanlarda büyük deformasyonlar ve plastikleşme meydana gelir. Yapı yıkılmamış olsa da güçlendirme veya yeniden inşa edilmesi gerekir.

- Göçme Bölgesi: Yapı, tamamen çökme noktasına gelir. Taşıma kapasitesi tükenir, elastik sınırlar aşılır ve yapısal bütünlük bozulur. Yapı tamamen kullanılamaz hale gelir.

Buna göre aşağıda verilen koşullarda binaların sınırlı hasar performans düzeyini karşıladığı kabul edilir:

- Yapıda plastik mafsal oluşumuna izin verilmez.
- Yapının herhangi bir katında, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %20'si Belirgin Hasar Bölgesi'ne geçebilir, ancak diğer taşıyıcı elemanlarının tümü Sınırlı Hasar Bölgesi'ndedir.
- Eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri kaydı ile bu durumdaki yapıların Sınırlı Hasar Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilebilir.

Kontrollü Hasar Performans Düzeyini karşılayacak, yapı performansı koşulları aşağıda verildiği gibidir:

- Betonarme yapıların herhangi bir katında, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %35'i İleri Hasar Bölgesi'ne geçebilir.
- İleri Hasar Bölgesi'ndeki düşey elemanların, her bir katta düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine katkısı %20'nin altında olmalıdır. En üst katta İleri Hasar Bölgesi'ndeki düşey elemanların kesme kuvveti toplamının, o kattaki tüm düşey elemanların kesme kuvveti toplamına oranı en fazla %40 olabilir.
- Diğer taşıyıcı elemanların tümü Sınırlı Hasar Bölgesi veya Belirgin Hasar bölgesi'ndedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinin birden Belirgin Hasar Sınırı aşılmış olan düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir (Doğrusal yöntemle hesapta, alt ve üst düğüm noktalarının ikisinde birden TBDY 2018'de yer alan Denk.(7.3)'ün sağlandığı kolonlar bu hesaba dâhil edilmezler).

Gevrek olarak hasar gören tüm elemanların Göçme Bölgesi'nde olduğunun göz önüne alınması kaydı ile aşağıdaki koşulları sağlayan binaların Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir:

- Betonarme yapıların herhangi bir katında, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %20'si Göçme Bölgesi'ne geçebilir.

- Diğer taşıyıcı elemanların tümü Sınırlı Hasar Bölgesi, Belirgin Hasar Bölgesi veya İleri Hasar Bölgesi'ndedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Belirgin Hasar Sınırı aşılmış olan düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir.

- Bina Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi'ni sağlayamıyorsa Göçme Durumu'ndadır. Binanın kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

4. ÖN DEĞERLENDİRME ANALİZLERİ

Tez çalışması kapsamına gerçekleştirilen ön değerlendirme analizlerinin amacı, birkaç farklı parametrenin dikkate alındığı bir mukayeseli analiz sonucu elde etmek ve bu sonuçların yorumlanmasıdır. Analiz sonuçlarına göre tespit edilen en elverişsiz yapının güçlendirilme yöntemi araştırılacaktır. Bu ön değerlendirme analizleri sayesinde yapıların ön tasarımında dikkat edilmesi gereken tasarım özelliklerine dikkat çekilmesi amaçlanmıştır.

Ön değerlendirmeye alınan binalar öncelikle TBDY2018 ve TS500 yönetmeliklerine göre tasarlanmış ve gerekli yönetmelik şartları sağlanmıştır.

Tablo 4.1: Ön değerlendirme analizlerinde kullanılan yapılar ve özellikleri.

Ön Değerlendirmeye Alınan Yapıların Özellikleri							
ETABS Model İsimlendirmeleri	Döşeme Sistemi	Perde Oranı	f_{ck} (MPa)	f_{yk} (MPa)	$Ø_{etr}$ (mm)	s_{etr} (mm)	ρ_{boyuna}
KasetSistem-SWR(0.00)-Model01	Kaset	0.00%	35	35	10	100	~%1.00
KasetSistem-SWR(0.70)-Model01	Kaset	0.70%					
KasetSistem-SWR(1.44)-Model01	Kaset	1.44%					
KasetSistem-SWR(2.10)-Model01	Kaset	2.10%					
KirisliSistem-SWR(0.00)_Model01	Kirişli	0.00%					
KirisliSistem-SWR(0.70)_Model01	Kirişli	0.70%					
KirisliSistem-SWR(1.44)_Model01	Kirişli	1.44%					
KirisliSistem-SWR(2.10)-Model01	Kirişli	2.10%					

4.1. Yapılarının Ortak Özellikleri

Bu tür parametrik analizlerde, belirli parametrelerin ortak tutulması, farklı yapı sistemlerinin yapısal davranışlarının daha anlamlı ve tutarlı bir şekilde karşılaştırılmasına olanak tanımaktadır. Ortak parametreler sayesinde, elde edilen analiz sonuçlarının yalnızca yapısal sistem farklarından kaynaklandığı daha net bir biçimde ortaya konulmakta, böylece yapılan değerlendirmelerin bilimsel doğruluğu ve güvenilirliği artırılmaktadır. Bu yaklaşım, yapı performans analizlerinde nesnel sonuçlara ulaşmanın önemli bir adımı olarak değerlendirilmektedir.

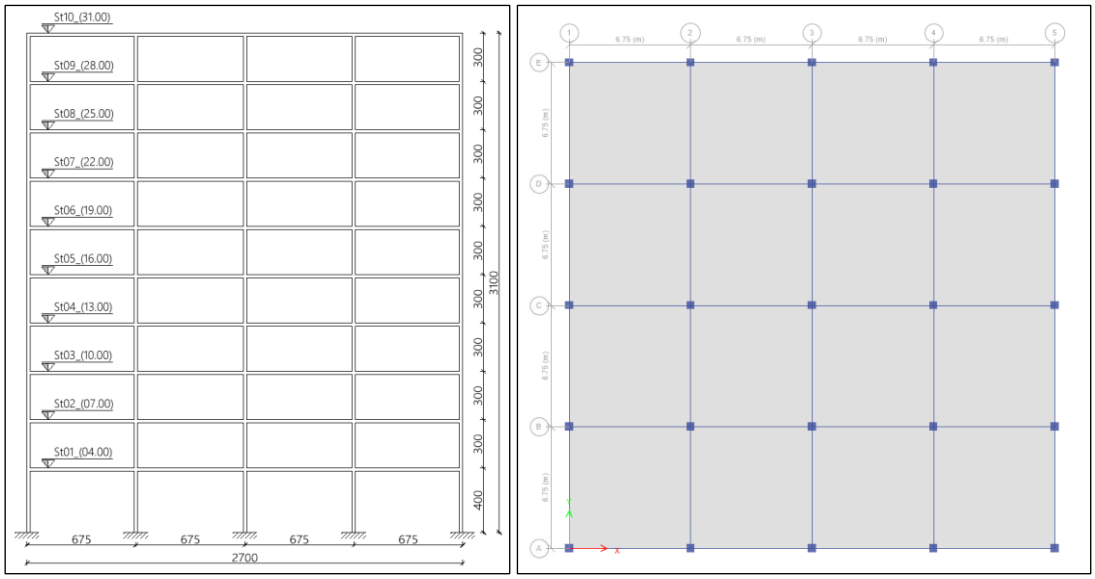
Bu çalışma kapsamında kullanılacak olan analiz modellerinin ortak özellikleri aşağıda listelenmiştir.

1. Yapısal Narinlik Oranı (Structural Slenderness Ratio): Bu oran, bir yapının yüksekliğinin taban genişliğine veya uzunluğuna (hangisi daha küçükse) oranını ifade

eden önemli bir geometrik parametre olduğundan, yapısal davranışı ve deprem performansını doğrudan etkileyen kritik bir değişken olarak kabul edilmektedir. Yüksek yapısal incelik oranına sahip yapılar, yanal yükler altında daha fazla deplasman yapma eğilimindedir ve burkulma riski artar. Bu nedenle, yüksek katlı yapılarda rijit çekirdek sistemler, perde duvarlar ve sönümleyici elemanlar gibi güçlendirme önlemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Buna karşın, düşük yapısal incelik oranına sahip yapılar daha rijit davranış sergiler ve taban kesme kuvvetlerine karşı daha dirençli olur.

Bu çalışma kapsamında yapısal narinlik oranı 31m/27m=1.148 olarak belirlenmiştir ve tüm yapısal modellerde aynı oran kullanılmıştır. Bu kavram, yapıların doğal titreşim periyotlarını da etkilemekte olup, yüksek yapısal incelik oranı uzun periyotlara ve dolayısıyla düşük frekanslı titreşimlere yol açmaktadır. Yapısal stabilitenin sağlanması ve deprem etkilerine karşı güvenli yapı tasarımı açısından, yapısal incelik oranının doğru bir şekilde belirlenmesi ve analiz edilmesi büyük önem taşımaktadır. Çalışma kapsamında sonuçların anlamlı mukayeselerini yapabilmek için bu oran sabit tutulmuştur.

2. Yapı Geometrisi: Tüm yapıların kat yükseklikleri, kat alanları, aks açıklıkları ve adetleri aynıdır. Yapısal analiz modelleri her yönden simetrik olarak kurulmuştur. Aşağıda **Şekil 4.2** ve **Şekil 4.3**' de yapının prensip kesiti ve örnek bir ETABS plan görünümü sunulmaktadır.



Şekil 4.1: Yapıların şematik kesit çizimi.ve ETABS plan görünümü

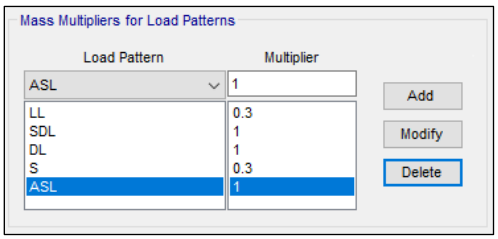
3. Düşey Yükler: Yapıya etkiyen düşey yükler sabit tutularak, yapının kullanım amacına göre oluşabilecek farklı davranış özellikleri de kısmen bertaraf edilmiştir. Ancak döşeme tipinin ve düşey taşıyıcı eleman miktarının değişmesi nedeniyle, yapının zati ağırlığı modeller arasında fark etmektedir. Aşağıda yapılara etkiyen kullanım yüklerini ifade eden bir özet tablo sunulmaktadır.

Tablo 4.2: Yapısal analizlerde tanımlanan kullanım yükleri.

Katlara Göre Kullanım Yükleri		
Yükleme	Normal Katlar	Çatı Katı
SDL	4.00 kN/m^2	2.50 kN/m^2
ASL	0.55 kN/m^2	0.55 kN/m^2
LL	2.00 kN/m^2	1.50 kN/m^2
S	-	0.75 kN/m^2

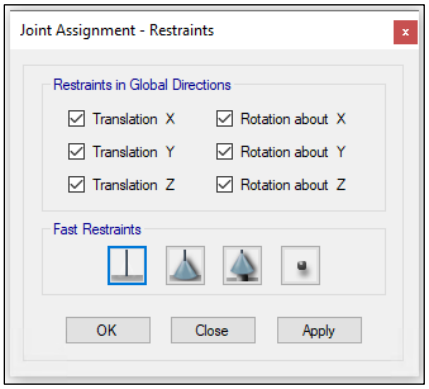
- SDL: Şap, kaplama, bölme duvarlar vb. gibi yapının kalıcı ağırlığını ve kütlesini oluşturabilecek unsurları temsil eder.
- ASL: Kaset döşemeli sistemlerde, kaset döşemenin dolgu malzemesini temsil etmektedir.
- LL: TS498 yönetmeliği uyarınca belirlenen olan hareketli yükü ifade eder. TBDY2018 Tablo 4.3 ile tariflenen hareketli yük katılım katsayısı, bu çalışma kapsamında n=0.3 olarak belirlenmiştir.
- S: TS498 yönetmeliği uyarınca belirlenen kar etkisine karşılık gelen hareketli yükü ifade eder. Bu çalışma kapsamında kar yüklemesi için de n=0.3 olarak belirlenmiştir.

4. Kütle Kaynağı Tanımları: Yapıların dinamik analizlerinde kütle matrisini tanımlamak için kullanılan kütle kaynağı (mass source) analizlerde önem arz etmektedir. Deprem veya modal analizlerde yapının sismik kütlesinin doğru şekilde modellenmesi, analiz sonuçlarının güvenilirliği açısından kritik öneme sahiptir. Kütle kaynağı, yapının doğal titreşim özelliklerinin ve deprem etkisi altındaki davranışının belirlenmesinde doğrudan rol oynadığından, kütle kaynakları tüm modellerde aynı özelliklerle tanımlanmıştır.



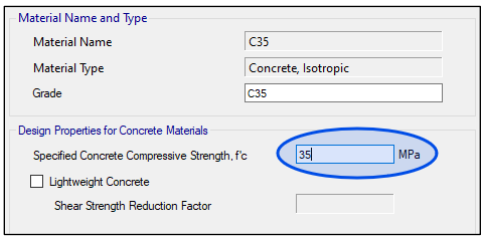
Şekil 4.2: Yapısal analizlerde kabul edilen kütle çarpanları.

5. Temel ve Mesnet Şartları: Parametrik analizlerde, yapının temel etkilerini göz ardı ederek yapılan modellendirme yaklaşımı kullanılmıştır. Yapı elemanlarının mesnet şartları ankastre (sabit) olarak kabul edilmiştir. Bu yaklaşımda, yapı temele rijit bir şekilde bağlanmış gibi modellenir ve yatay ya da düşey hareketlere izin verilmez. Ankastre mesnet tanımı, yapının taban düzlemine tamamen sabitlendiği ve moment ile kayma kuvvetlerine karşı mutlak rijitlik sağladığı anlamına gelir. Ankastre mesnetlerin kullanılması, özellikle yapının üst yapısal elemanlarının davranışını daha berrak bir şekilde yorumlanmasına imkan tanımaktadır. Çünkü bu kabul ile temel rijitliği veya zemin-yapı etkileşiminden kaynaklanabilecek belirsizlikler ortadan kaldırılır ve yapı sisteminin üst katmanlarındaki değişkenlerin etkisi daha net gözlemlenebilir. Ancak, bu kabulün temel rijitliğinin yapısal davranış üzerindeki etkilerini göz ardı etmesi nedeniyle elde edilen sonuçların kapsamının bilincinde olmak önem arz etmektedir.



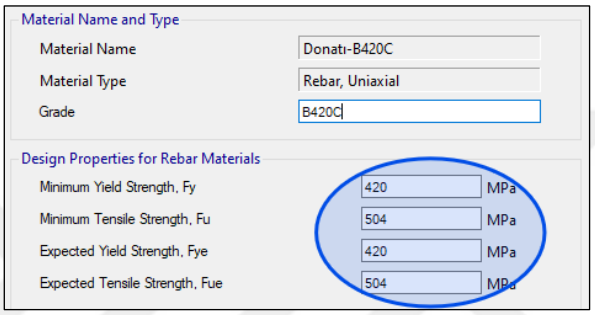
Şekil 4.3: Yapısal analizlerde kabul edilen mesnet şartı.

6. Beton Sınıfı: Yapıların tamamında TS500 ile tariflenmiş olan C35 beton malzemesi kullanılmıştır.



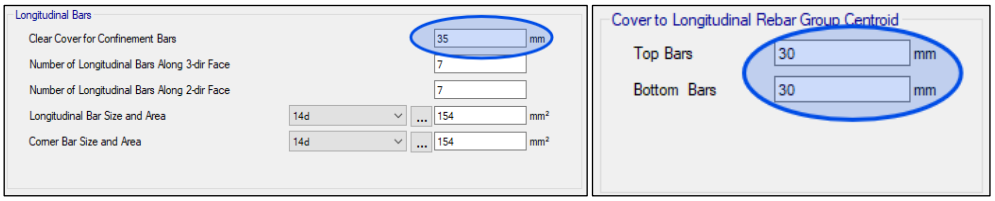
Şekil 4.4: Yapısal analizler için seçilen beton sınıfı.

7. Donatı Sınıfı: Yapıların tamamında TS500 ile tariflenmiş B420C nervürlü donatı çeliği kullanılmıştır.



Şekil 4.5: Yapısal analizler için seçilen donatı sınıfı.

8. Paspayı: Kirişler için 25mm, kolonlar için ise 35mm olmak üzere paspayı miktarı tanımlanmıştır.



Şekil 4.6: Yapısal elemanlarda pas payı.

9. Taşıyıcı Sistem Katsayıları: Deprem etkisi altındaki yapı davranışını yansıtmak amacıyla kullanılan taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) ile dayanım fazlalığı katsayısı (D), TBDY 2018 kapsamında yapıların elastik olmayan davranışını temsil eden ve tasarım yüklerinin azaltılmasında doğrudan etkili olan temel parametrelerdir. Bu katsayılar, sistemin süneklik kapasitesi ve yapısal güvenlik düzeyiyle yakından ilişkili olup, deprem tasarımında kritik bir rol üstlenir. Perdesiz yapılar için A11 (*Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçevelerle karşılandığı binalar*) taşıyıcı sistem tipi seçilmiştir ve

bu yapılarda R=8 ve D=3 alınmıştır. Perdeli yapılar için A15 (*Deprem etkilerinin moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar*) taşıyıcı sistem tipi seçilmiştir ve R=7 ve D=2.5 olarak alınmıştır. Ancak A15 taşıyıcı sistem tipindeki yapılarda TBDY2018-4.3.2.4 uyarınca 4/5*R azaltması yapılarak R=5.6 ve D=2.5 olarak analizler gerçekleştirilmiştir.

10. Döşeme Boyutlarının Belirlenmesi: Döşeme boyutlarının belirlenmesinde TS500 Çizelge 13.1 ile tariflenen "Eğilme Elemanlarında Sehim Hesabı Gerektirmeyen (Yükseklik/Açıklık) Oranları" tablosundaki çift doğrultuda çakışan iç açıklık döşemesi şartlarından yararlanılmıştır. Bu doğrultuda tüm yapılar için 675cm olan aks açıklık mesafesine göre kirişli plak döşeme için en az 675/35=19.3cm döşeme kalınlığı gerekmektedir. Kaset döşemeli (çift doğrultulu dişli döşeme) sistem için ise TS500 Bölüm 11.5 uyarınca, Bölüm 11.3 hükümlerine uyulacağından 675/25=27cm kaset yüksekliği yeterli olmaktadır ancak TS500 Çizelde 13.1 uyarınca sehim hesabı gerektirmeyen şartların sağlanması için iç açıklıktaki dişli döşeme şartı olan 675/20=33.75cm minimum şartına uyulmuştur. Bu bilgiler doğrultusunda kirişli döşemeler için 20cm, kaset döşemeler için ise 35cm yükseklik kabulü yapılmıştır.

11. Kiriş Boyutlarının Belirlenmesi: Tüm modellerde kiriş boyutları TBDY2018 ve TS500 yönetmeliklerine göre gerekli talep/kapasite şartlarını sağlayacak ve çekme donatısı %2.00 donatı oranını geçmeyecek şekilde (TS500 Denklem 7.5) belirlenmiştir. Kaset döşemeli sistemde kiriş derinlikleri, kaset derinliği aynı olacak şekilde seçilmiştir. Kirişli döşemeli sistemde ise kiriş derinlikleri, döşeme kalınlığının 3 katını (3*20cm=60cm) ve TS500 Çizelge 13.1 ile tariflenen sehim hesabı gerektirmeyen iç açıklık kirişi şartını (675/15=45cm) sağlayacak şekilde belirlenmiştir. Bu bilgiler doğrultusunda kirişli döşemeli sistemlerde kiriş derinliği için 60cm, kaset döşemeli sistemlerde kiriş derinliği için ise 35cm yükseklik kabulü yapılmıştır.

12. Kiriş Donatılarının Belirlenmesi: Her ne kadar yapılardaki kiriş boyutları aynı olsa da, katlara etkiyen deprem kuvvetlerinin değişkenlik göstermesi sebebiyle tanımlanan kiriş donatıları, analizler sonucunda TS500 ve TBDY2018 yönetmelikleri doğrultusunda kesitlerin talep ettiği donatı miktarını karşılanarak her katta elemanlara tanımlanmıştır. Kirişlerde mesnet bölgesinde Ø10/10cm etriye dikkate alınmıştır.

Kiriş genişlikleri 35cm' i aştığından, TBDY2018-7.4.4 uyarınca düşeyde 3 kol etriye dikkate alarak kesme kuvveti kontrolleri yapılmıştır.

Tablo 4.3: Analiz modellerine tanımlanan kiriş donatı alanları.

Kaset Döşemeli Sistemde Talep Edilen ve Tanımlanan Kiriş Donatı Alanları							
Story	DesignSect	Talep Edilen Max. ve Ort. Donatılar				ETABS' a Tanımlanan	
		Max AsTopTotal	Max AsBotTotal	Ort AsTopTotal	Ort AsBotTotal	AsTopTotal	AsBotTotal
		mm^2	mm^2	mm^2	mm^2	mm^2	mm^2
St01_(04.00)	B065X035-ST01	2714	1260	2387	1213	**2388**	**1213**
St02_(07.00)	B065X035-ST02	2821	1305	2523	1278	**2524**	**1278**
St03_(10.00)	B065X035-ST03	2792	1301	2501	1267	**2501**	**1267**
St04_(13.00)	B065X035-ST04	2740	1271	2452	1229	**2452**	**1230**
St05_(16.00)	B065X035-ST05	2580	1250	2354	1186	**2354**	**1186**
St06_(19.00)	B065X035-ST06	2395	1235	2231	1132	**2232**	**1132**
St07_(22.00)	B065X035-ST07	2200	1206	2086	1068	**2086**	**1069**
St08_(25.00)	B065X035-ST08	2074	1140	1948	1011	**1949**	**1012**
St09_(28.00)	B065X035-ST09	1966	1079	1816	960	**1817**	**960**
St10_(31.00)	B065X035-ST10	1628	848	1476	790	**1476**	**790**

Kirişli Plak Döşemeli Sistemde Talep Edilen ve Tanımlanan Kiriş Donatı Alanları							
Story	DesignSect	Talep Edilen Max. ve Ort. Donatılar				ETABS' a Tanımlanan	
		Max AsTopTotal	Max AsBotTotal	Ort AsTopTotal	Ort AsBotTotal	AsTopTotal	AsBotTotal
		mm^2	mm^2	mm^2	mm^2	mm^2	mm^2
St01_(04.00)	B045X060-ST01	2216	1061	1985.4	1023.2	**1986**	**1024**
St02_(07.00)	B045X060-ST02	2175	1050	2015.3	1040.3	**2016**	**1041**
St03_(10.00)	B045X060-ST03	2185	1047	1981.5	1022.7	**1982**	**1023**
St04_(13.00)	B045X060-ST04	2128	1043	1934.5	999.8	**1935**	**1000**
St05_(16.00)	B045X060-ST05	2002	1036	1856.1	964.1	**1857**	**965**
St06_(19.00)	B045X060-ST06	1857	1035	1765.8	923.1	**1766**	**924**
St07_(22.00)	B045X060-ST07	1722	1016	1665.3	876.7	**1666**	**877**
St08_(25.00)	B045X060-ST08	1616	956	1555.5	827.4	**1556**	**828**
St09_(28.00)	B045X060-ST09	1497	892	1428.6	801.7	**1429**	**802**
St10_(31.00)	B045X060-ST10	1174	777	1094.8	726.4	**1095**	**727**

13. Kolon Boyutlarının Belirlenmesi: Tüm modellerde kolon boyutları TBDY2018 ve TS500 yönetmeliklerine göre, yapı elemanlarının tasarımında doğrudan etkisi olan eksenel kuvvet ve bileşik eğilme taleplerine belirlenmiştir. Özellikle depremli ve depremsiz durumlardaki eksenel basınç kuvvetleri boyutlandırmada esas alınmıştır. Ancak döşeme tipi ve dolayısıyla çerçeve rijitlikleri değiştiğinden, kaset döşemeli sistem ile kirişli döşemeli sistemin kolon boyutları arasında farklılıklar vardır.

Tablo 4.4: Analiz modellerinde kolon tip dağılımları.

Kirişli Sistem Katlara Göre Kolon Tipi Dağılımı			Kaset Sistem Katlara Göre Kolon Tipi Dağılımı		
Story	Section Property	Adet	Story	Section Property	Adet
St01_(04.00)	C050X050-16Q14(1.00)-Q10/10-X05-Y05	4	St01_(04.00)	C050X050-16Q14(1.00)-Q10/10-X05-Y05	4
	C055X055-20Q14(1.02)-Q10/10-X05-Y05	12		C055X055-20Q14(1.02)-Q10/10-X05-Y05	12
	C075X075-28Q16(1.00)-Q10/10-X06-Y06	9		C070X070-20Q18(1.04)-Q10/10-X05-Y05	9
St02_(07.00)	C050X050-16Q14(1.00)-Q10/10-X05-Y05	4	St02_(07.00)	C045X045-16Q14(1.22)-Q10/10-X05-Y05	4
	C055X055-20Q14(1.02)-Q10/10-X05-Y05	12		C050X050-16Q14(1.00)-Q10/10-X05-Y05	12
	C070X070-20Q18(1.04)-Q10/10-X05-Y05	9		C065X065-28Q14(1.02)-Q10/10-X05-Y05	9
St03_(10.00)	C045X045-16Q14(1.22)-Q10/10-X05-Y05	4	St03_(10.00)	C045X045-16Q14(1.22)-Q10/10-X05-Y05	4
	C050X050-16Q14(1.00)-Q10/10-X05-Y05	12		C050X050-16Q14(1.00)-Q10/10-X05-Y05	12
	C065X065-24Q16(1.02)-Q10/10-X05-Y05	9		C060X060-24Q14(1.03)-Q10/10-X05-Y05	9
St04_(13.00)	C045X045-16Q14(1.22)-Q10/10-X05-Y05	16	St04_(13.00)	C045X045-16Q14(1.22)-Q10/10-X05-Y05	16
	C060X060-24Q14(1.03)-Q10/10-X05-Y05	9		C060X060-24Q14(1.03)-Q10/10-X05-Y05	9
St05_(16.00)	C045X045-16Q14(1.22)-Q10/10-X05-Y05	16	St05_(16.00)	C045X045-16Q14(1.22)-Q10/10-X05-Y05	16
	C055X055-20Q14(1.02)-Q10/10-X05-Y05	9		C055X055-20Q14(1.02)-Q10/10-X05-Y05	9
St06_(19.00)	C045X045-16Q14(1.22)-Q10/10-X05-Y05	16	St06_(19.00)	C045X045-16Q14(1.22)-Q10/10-X05-Y05	16
	C050X050-16Q14(1.00)-Q10/10-X05-Y05	9		C050X050-16Q14(1.00)-Q10/10-X05-Y05	9
St07_(22.00)	C045X045-16Q14(1.22)-Q10/10-X05-Y05	25	St07_(22.00)	C045X045-16Q14(1.22)-Q10/10-X05-Y05	25
St08_(25.00)	C045X045-16Q14(1.22)-Q10/10-X05-Y05	25	St08_(25.00)	C045X045-16Q14(1.22)-Q10/10-X05-Y05	25
St09_(28.00)	C045X045-16Q14(1.22)-Q10/10-X05-Y05	25	St09_(28.00)	C045X045-16Q14(1.22)-Q10/10-X05-Y05	25
St10_(31.00)	C045X045-16Q14(1.22)-Q10/10-X05-Y05	25	St10_(31.00)	C045X045-16Q14(1.22)-Q10/10-X05-Y05	25
Toplam Adet		250	Toplam Adet		250

14. <u>Kolon Donatılarının Belirlenmesi:</u> Kolon donatıları da TS500 ve TBDY2018 yönetmeliklerinin talep ettiği eksenel, kesme ve eğilme kuvveti kapasitelerini karşılayacak şekilde donatılandırılmıştır. Etriyeler TBDY2018-7.3.3.1 uyarınca tariflenen şekilde TBDY2018-Denklem 7.1 ile hesaplanan miktar kadar yerleştirilerek gerekli kontroller gerçekleştirilmiştir. Boyuna donatılar ise analizlerden elde edilen PMM talepleri doğrultusunda %1.00~%1.22 aralığında değişmektedir.

(b) Etriyeli kolonlarda $N_d > 0.20\, A_c\, f_{ck}$ (basınç) olması durumunda sarılma bölgelerindeki minimum toplam enine donatı alanı, **Denk.(7.1)**'de verilen koşulların elverişsiz olanını sağlayacak şekilde hesaplanacaktır. Bu hesapta kolonun çekirdek boyutu b_k, her iki doğrultu için ayrı ayrı gözönüne alınacaktır (**Şekil 7.3**):

$$A_{sh} \geq 0.30\, s\, b_k\, [(A_c / A_{ck}) - 1]\, (f_{ck} / f_{ywk})$$
$$A_{sh} \geq 0.075\, s\, b_k\, (f_{ck} / f_{ywk}) \qquad \textbf{(7.1)}$$

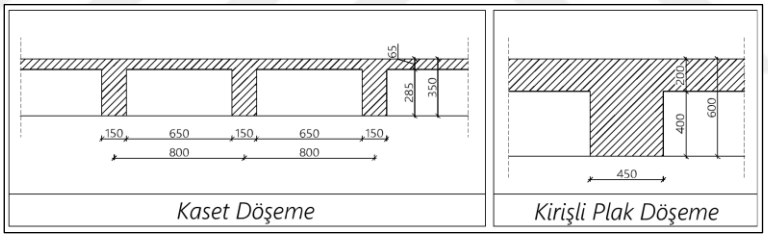
Şekil 4.7: TBDY2018 uyarınca minimum etriye alanı denklemleri.

4.2. Yapıların Ayırt Edici Özellikleri

Bu çalışmada, ön değerlendirme kapsamında TBDY2018 ve TS500 yönetmeliklerinin gerektirdiği şartlara uygun olarak tasarlanan çeşitli yapılar dikkate alınmıştır. Yapısal güvenlik ve performansın sağlanması amacıyla bu yönetmeliklerde belirtilen analiz kriterleri, hesap yöntemleri ve sınır değerler esas alınarak modeller oluşturulmuştur.

4.2.1. Döşemelerin Ayırt Edici Özellikleri

İncelenen yapıların döşeme tipleri, kirişli plak döşeme ve kaset döşeme (çift doğrultulu nervürlü döşeme) olmak üzere iki ana grupta ele alınmıştır. Döşeme kalınlıkları ise TS 500'ün sehim hesabı gerektirmeyen kalınlık şartları dikkate alınarak belirlenmiş, aynı zamanda yapım kolaylığı ve ekonomik imalat prensipleri de göz önünde bulundurulmuştur. Bu yaklaşım, döşeme rijitliği ve stabilitesinin yanı sıra, ülkemizdeki yaygın kullanılan uygulamayı temsil niteliğinin yüksek olması açısından önem arz etmektedir.



Şekil 4.8: Analiz modellerindeki döşeme tiplerinin geometrik özellikleri.

Döşeme tiplerinin yapısal davranışa etkisi, kirişlerin konumu ve geometrik özellikleri açısından belirgin farklılık göstermektedir. Zaten bu farkın oluşturacağı etkilerin sayısal araştırmasını gerçekleştirmek amacıyla bu tez kapsamında döşeme tipleri değişken parametre olarak dikkate alınmıştır.

Kirişli döşemeli sistemlerde tavandan sarkan kirişler çerçeve sistemin yanal ötelenme rijitliğini artırdığından dolayı, sistemin çerçeve davranışını güçlendirmektedir. Kaset kaset döşemeli sistemlerde kirişler döşeme kalınlığında (yastık kiriş) olup, döşemeden sarkan çıkıntı bulunmaması sayesinde daha düz ve estetik bir yapı elde edilmektedir. Ancak bu estetik olarak avantajlı olan döşeme sistemi, çerçeve sisteminin yanal ötelenme rijitliğini (kirişli plak sistemlere göre) azaltmakta ve deprem etkisi altında

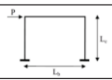
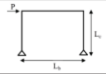
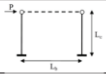
daha yüksek tepe deplasmanlarına yol açabilmektedir. Bu özellik, özellikle yüksek katlı yapılarda kaset döşemeli sistemin daha esnek bir davranış sergileyerek daha çok deplasman yapmasına ve dolayısıyla yapıdaki taşıyıcı elemanların kesit deformasyonlarının artmasına neden olmaktadır.

Kolon ve kirişlerden teşkil edilen perdesiz ve süneklik düzeyi yüksek bir betonarme yapı tasarlanırken, TBDY2018 yönetmeliğine göre deprem hesabında dikkate alınan ve ağırlığı oldukça yüksek parametreler olan taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) ve dayanım fazlalığı kaysayısı (D) değerleri belirlenirken Tablo 4.1 verilerinden yararlanılmaktadır. Bu tabloda, sunulan tez çalışmasının mukayese kapsamında olan kirişli plak çerçeve (perdesiz) sistemler için "*A11- Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçevelerle karşılandığı binalar*" seçilmesi gerektiği net bir şekilde belirlenmiştir. Ancak kaset (çift doğrultulu) döşemeli sistemler için net bir ifade kullanılmamıştır. Kaset döşemeye benzer uygulama yöntemine sahip tek doğrultulu dişli döşemeler için "*A23- Deprem etkilerinin moment aktaran süneklik düzeyi sınırlı dolgulu (asmolen) veya dolgusuz tek doğrultulu dişli döşemeli betonarme çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar*" ile tanımlanan taşıyıcı sistem seçimi yapılabilmektedir.

Tasarım mühendislerinin davranış bilgisi ve yorumuna açık olan bu konu, uygulamada kaset döşemeli sistemlerin tasarımında farklı R ve D katsayıslarının kullanılmasına yok açmaktadır.

Döşemeler yapısal tasarım ve analizlerde yatay yük taşıyıcı eleman olarak dikkate alınmayıp, yatay yükleri düşey taşıyıcılara güvenle aktarabilen diyafram elemanı olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle taşıyıcı sistemin sünekliğinin belirlenmesinde yatay yük taşıyıcı elemanlar olan kiriş-kolon-perde elemanlarının geometrik özellikleri ve donatı detayları dikkate alınmaktadır. Ancak her ne kadar taşıyıcı sitemin sünekliğinin belirlenmesinde döşeme tipleri direkt olarak etkili olmasa da, kaset döşeme veya asmolen döşeme gibi çerçeve davranışında kirişin etkinliğini azaltan döşeme tiplerinin dolaylı etkisi bulunmaktadır.

Table 4.1. Lateral stiffness and displacement for steel frames – (after Silvia and Badie, 2008)

Support Condition	Steel Frame Type	Lateral Displacement*	Lateral Stiffness*
Fixed Support		$\Delta=\left(\frac{6\alpha+4\kappa}{6\alpha+\kappa}\right)\frac{P L_c^3}{24 E I_c}$	$K_1=\left(\frac{6\alpha+\kappa}{6\alpha+4\kappa}\right)\frac{24 E I_c}{L_c^3}$
Pinned Support		$\Delta=\left(4+\frac{2\kappa}{\alpha}\right)\frac{P L_c^3}{24 E I_c}$	$K_1=\left(\frac{\alpha}{4\alpha+2\kappa}\right)\frac{24 E I_c}{L_c^3}$
Inverted Moment Frame (cantilevered columns)		$\Delta=\frac{P L_c^3}{6 E I_c}$	$K_1=\frac{6 E I_c}{L_c^3}$

* I_c , L_c = moment of inertial and height of column; I_b , L_b = moment of inertial and length of beam

$\alpha=\frac{I_b}{I_c}$ and $\kappa=\frac{I_b}{L_c}$

Şekil 4.9: Çerçeve sistemler için yatay rijitlik ve yer değiştirme denklemleri.

Yapısal taşıyıcı sistemde kiriş elemanlarının boyutları diyafram elemanının (döşeme) kalınlığı içerisinde kalması durumunda, kirişler de diyafram elemanı davranışı gösterecektir. Ancak taşıyıcı sistemin süneklik şartları kolon-kiriş-döşeme gibi 3 ana elemanın davranışına bağlı olduğundan, kirişlerdeki sınırlı sünek davranış, taşıyıcı sistemin genelinde bir süneklik azalışına sebep olacaktır.

Amerikan yönetmeliklerinde (ACI 318 ve ASCE 7) kaset döşemeli sistemlerin süneklik düzeyi doğrudan tanımlanmamakta, bunun yerine taşıyıcı sistemin türü ve detaylandırma düzeyi esas alınmaktadır. Kaset döşemeler, yatay yük taşıyıcı sistem olarak değil, genellikle rijit diyafram kabulüyle yatay yükleri düşey taşıyıcılara aktaran ikincil elemanlar olarak değerlendirilir.

Yapının düşey taşıyıcı sistemi moment aktaran çerçeveler veya perdeler gibi elemanlardan oluşuyor ve ACI 318 kapsamında "special detailing" koşullarını sağlıyorsa, bu sistemler yüksek sünek davranış gösterebilecek şekilde sınıflandırılır.

ASCE 7 yönetmeliğinde ise süneklik düzeyine karşılık gelen davranış katsayısı (R) doğrudan taşıyıcı sistem tipine bağlıdır. Bu kapsamda, kaset döşemeli bir yapının taşıyıcı sistemi özel moment çerçevesi (Special Moment Frame, SMF) veya perde-çerçeve bileşimi şeklinde tasarlanmışsa, sistem yüksek süneklik düzeyine sahip kabul edilmekte ve buna uygun davranış katsayıları (örneğin R = 7–8) ile analiz edilmektedir. Özel moment çerçevesi (SMF) ise, yatay yüklerin büyük bir kısmını moment aktarımı ile karşılayan ve göçmeden önce önemli plastik şekil değiştirmelere izin verecek şekilde özel olarak boyutlandırılmış ve detaylandırılmış çerçeve sistemidir.

Bu tez çalışması kapsamında moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeve davranışı oldukça kısıtlı olan kaset döşemeli sistemin, süneklik düzeyinin

yüksek alındığı bir tasarım yaklaşımı sebebiyle beklenenden daha fazla deplasman yapabileceği ve öngörülmeyen yapısal hasarlara yol açabileceği araştırılmaktadır.

Döşeme sistemlerinin farkından doğan bir diğer ayırt edici özellik ise, döşemelerin oluşturduğu zati yük değişimleridir. Kaset döşemelerin imalat özellikleri nedeniyle kesitin önemli bir kısmına betonarme malzeme kullanılmayıp, dolgu malzemesi (asmolen tuğlası, gazbeton blok vb.) kullanılmaktadır. Bu da yapının zati yüklerinde bir miktar azalmaya yol açacağından, yapıya etkiyecek olan taban kesme kuvvetinde de azalım olacaktır. Ancak dolgu malzemesinin de bir ağırlığı olduğu zati yük hesaplarında dikkate alınmalıdır. Bu çalışma kapsamında kaset döşemelerin dolgu malzemesinin yayılı ağırlığının 0.55 kN/m^2 olarak seçilmesine karar verilmiştir.

Asmolen dolgu ağırlığı hariç, yukarıda geometrik özellikleri tariflenen kaset döşeme için zati ağırlık 4.05 kN/m^2 olarak hesaplanmıştır. Asmolen dolgu ağırlığı da hesaba katıldığında, dolgulu kaset döşeme zati ağırlığı 4.60 kN/m^2 olarak hesaplanmıştır.

20cm kirişli plak döşemenin yapıya oluşturduğu zati yük ise 5 kN/m^2 olarak hesaplanmıştır.

Her iki döşeme sistemi arasında bir kıyaslama yapıldığında; kaset döşemeli sisteme gelecek taban kesme kuvveti ve kolonlara etkiyen eksenel kuvvetlerde zati yük etkisi kirişli plak döşemelere göre neredeyse %10 daha az olmaktadır. Bu da tüm katlar boyunca dikkate alındığında, 35cm kaset döşemeli yapının ilk kat kolonlarının boyutlarının 20cm kirişli plak döşemeli sistemden bir miktar daha küçük çıkmasına sebep olmaktadır. Düşey taşıyıcı eleman boyutlarındaki bu fark, yanal ötelenme miktarlarında kayda değer bir farklılık gözlemlenmesine neden olacaktır.

4.2.2. Kolonların Ayırt Edici Özellikleri

Yapıların kolon boyutlarının katlara göre dağılımında aşağıdaki ilkeler uygulanmıştır;

I. Kolonların etkili taşıma alanı arttıkça talep edilen kesit boyutu da artacaktır. Köşe, kenar ve iç kolonlarda talepleri karşılayacak şekilde farklı boyutlar seçilmiştir.

II. 35cm derinlikli kaset döşeme sistemi, 20cm derinlikli kirişli plak döşeme sisteminden (zati yük açısından) yaklaşık %10 daha hafif olduğundan, ilk katlarda kolon boyutları arasında 5~10cm mertebesinde bir farklılık oluşmaktadır.

4.2.3. Perdelerin Ayırt Edici Özellikleri

Benzer geometri ve kullanım amacına sahip, farklı döşeme sistemlerinin kullanıldığı yapıları yalnızca "yüksek süneklikli çerçeve yapılar" açısından değil, "yüksek süneklikli perdeli çerçeveli yapılar" açısından da değerlendirebilmek adına yapılarda çeşitli oranlarda değişen perde miktarları dikkate alınmıştır.

Deprem perdesi oranı (Shear Wall Ratio, SWR) hesabı her bir doğrultu için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Aşağıda X doğrultusu için örnek bir hesap yapılmıştır;

Perde boyutlarının seçiminde Lw/Bw≈7 oranı dikkate alınmıştır. Bu sabit katsayının seçilmesindeki amaç, değişken atalet özelliklerinin bertaraf edilerek perde oranındaki değişikliğin daha belirgin olarak gözlemlenmesine imkan tanımaktır. Yine aynı gerekçe ile her iki doğrultuda da 6 adet perde yerleştirilmiştir ve bu perdeler dış akslarda yapı sınırına paralel yerleştirilmemiştir.

Kaset döşemeli ve kirişli plak döşemeli olup, yüksek süneklikli çerçeve taşıyıcı sistemli tasarımı yapılan binalara aşağıdaki oranlarda her iki doğrultuda perdeler eklenmiştir.

I.%0.00 perdesiz, sadece çerçeveli yapılar

II.%0.70 perdeli ve çerçeveli yapılar

III.%1.44 perdeli ve çerçeveli yapılar

IV.%2.10 perdeli ve çerçeveli yapılar

İsimlendirme	Perde Bilgileri					
	Genişlik	Uzunluk	lw/bw	Adet	T. P. Alanı	T.P. Oranı
SWR(2.10)	0.60	4.20	7.00	6	15.12	2.07%
SWR(1.44)	0.50	3.50	7.00	6	10.5	1.44%
SWR(0.07)	0.35	2.45	7.00	6	5.145	0.71%

Şekil 4.10: Perdeli modellere ait perde bilgileri

5. ÖN DEĞERLENDİRME SONUÇLARI

Bu bölümde, önceki bölümde ortak ve ayırt edici özellikleri tariflenen ön değerlendirme yapılarına ait sonuçlara yer verilmektedir.

Tablo 5.1: Ön değerlendirme analizlerinde kullanılan model isimlendirmeleri.

ETABS Model İsimlendirmeleri	Döşeme Sistemi	Perde Oranı
KasetSistem-SWR(0.00)-Model01	Kaset	0.00%
KasetSistem-SWR(0.70)-Model01	Kaset	0.70%
KasetSistem-SWR(1.44)-Model01	Kaset	1.44%
KasetSistem-SWR(2.10)-Model01	Kaset	2.10%
KirisliSistem-SWR(0.00)_Model01	Kirişli	0.00%
KirisliSistem-SWR(0.70)_Model01	Kirişli	0.70%
KirisliSistem-SWR(1.44)_Model01	Kirişli	1.44%
KirisliSistem-SWR(2.10)-Model01	Kirişli	2.10%

Yukarıdaki tabloda model isimlendirmeleri paylaşılmıştır. Perde oranı, her bir yönte ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Ön değerlendirme sonuçlarına göre elde edilen kapasite eğrilerinin karşılaştırılmasıyla, en elverişsiz bina seçileren güçlendirme yöntemlerine tabi tutulacaktır.

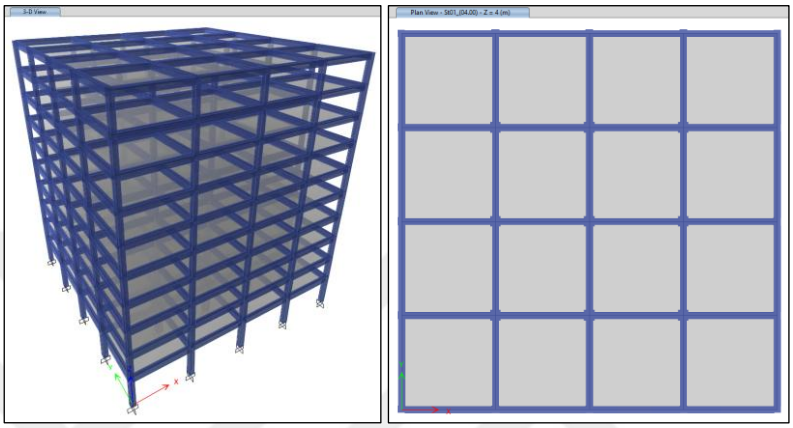
Bu bölümün devamında yapının Sabit Tek Modlu İtme (Pushover) analizinden elde edilen kapasite eğrisi ve her bir adıma ait Deformasyon Enerjisi Kapasitesi (DEKAP) ile her bir adımın eğimi (Step Slope) bilgilerini içeren tablolar sunulmuştur.

Her bir adımdaki DEKAP (Deformasyon Enerjisi Kapasitesi) değerlerinin toplamı, kapasite eğrisinin altında kalan alanı vermektedir. Sabit Tek Modlu İtme Analizi sonuçlarından elde edilen bu alan ne kadar yüksekse, yapının deformasyonu sırasında tükettiği enerji/iş miktarı da o kadar fazladır. Bu faktör ön değerlendirme analizlerinin sonucundaki mukayese için önemli bir parametre olarak dikkate alınmıştır.

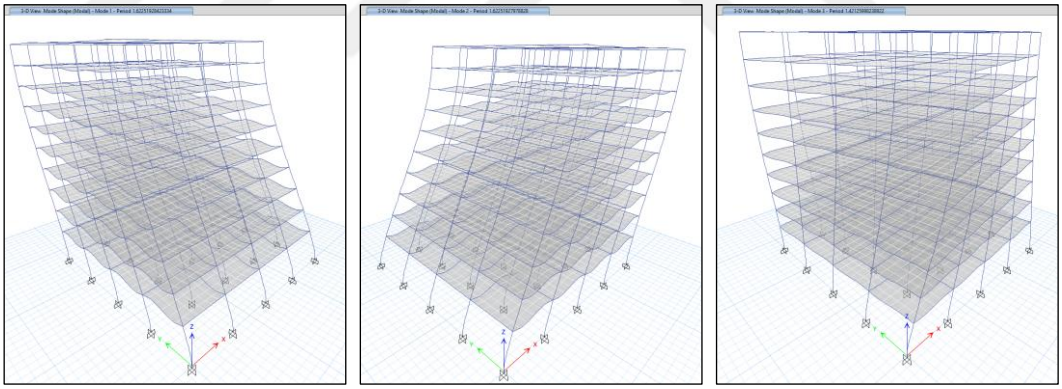
5.1. Kirişli Plak Döşemeli Sistemlere Ait Sonuçlar

5.1.1. KirisliSistem-SWR(0.00)_Model01

Bu model, herhangi bir deprem perdesinin mevcut olmadığı kirişli plak döşemeler ile tasarlanmış çerçeve bir betonarme yapıyı içermektedir.



Şekil 5.1: ETABS modeli 3B ve plan görünümleri.



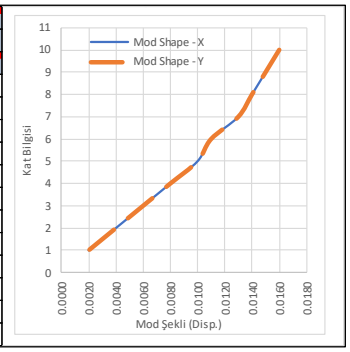
Şekil 5.2: ETABS modal analiz 3B görünümleri.

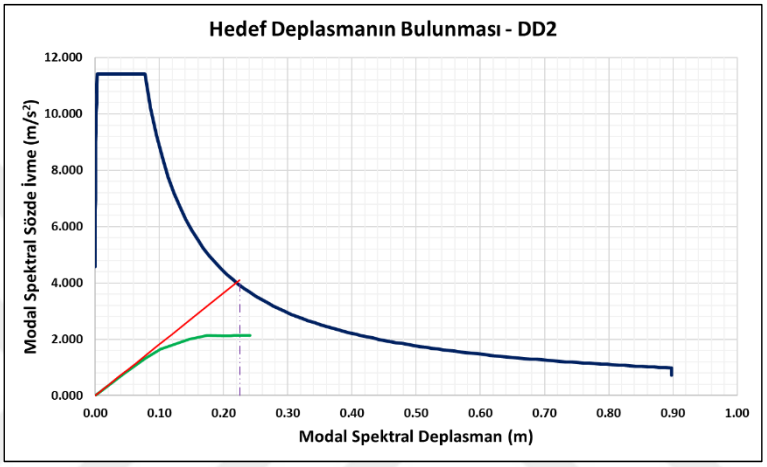
Tablo 5.2: ETABS modal analizde kütle katılım oranları ve periyotlar.

Yapının Dinamik Özellikleri							
Mod	Periyot (s)	UX	UY	RZ	Toplam UX	Toplam UY	Toplam RZ
1	**1.623**	0.000	**0.806**	0.000	0.000	0.806	0.000
2	**1.623**	**0.806**	0.000	0.000	0.806	0.806	0.000
3	**1.421**	0.000	0.000	**0.822**	0.806	0.806	0.822
4	0.553	0.000	0.111	0.000	0.806	0.917	0.822
5	0.553	0.111	0.000	0.000	0.917	0.917	0.822
6	0.478	0.000	0.000	0.105	0.917	0.917	0.927
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
50	0.0580	0	0	0.0018	1	1	1

Tablo 5.3: ETABS modelinin mod şekli ve kat kütleleri

Katların Mod Şekli ve Kütleleri							
X Direction				Y Direction			
Mod	Story	Mod Shapes (Φ)	Mass (kg)	Mod	Story	Mod Shapes (Φ)	Mass (kg)
2	10	0.01600	744612.1	1	10	0.01600	744612.1
	9	0.01500	866029.7		9	0.01500	866029.7
	8	0.01400	866029.7		8	0.01400	866029.7
	7	0.01300	866029.7		7	0.01300	866029.7
	6	0.01100	866903.8		6	0.01100	866903.8
	5	0.01000	869223.4		5	0.01000	869223.4
	4	0.00800	871818.3		4	0.00800	871818.3
	3	0.00600	875998.7		3	0.00600	875998.7
	2	0.00400	882866.5		2	0.00400	882866.5
	1	0.00200	898679.5		1	0.00200	898679.5
	Base	0.0000	39534.4		Base	0.0000	39534.4
	0	0	0.0		0	0	0.0

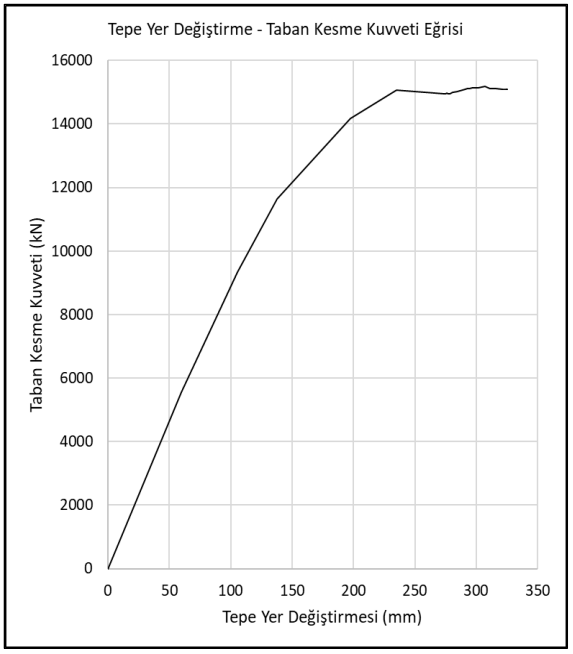




Şekil 5.3: Hedef deplasman hesabı.

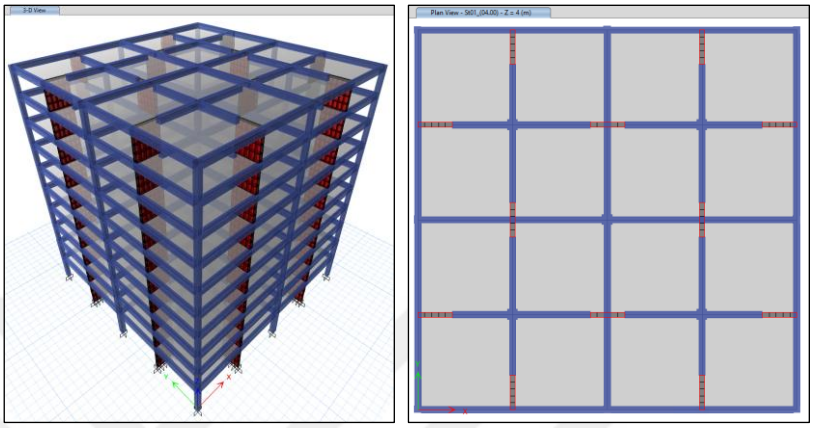
Tablo 5.4: Statik itme eğrisi ve temel performans katsayıları.

KirisliSistem-SWR(0.00)-Model01 - Pushover Sonuçları					
Step	Monitored Disp.	Base Force	DEKAP	Step Slope	Behavior Region
-	mm	kN	kNm	kN/m	
0	0.00	0.0	0.1	0.0	Elastic
1	1.55	148.1	166.3	95.6	Elastic
2	59.94	5546.5	339.7	92.5	Elastic
3	105.60	9334.1	335.1	83.0	Elastic
4	137.54	11648.8	775.4	72.5	Plastic
5	197.61	14166.8	550.3	41.9	Plastic
6	235.26	15070.3	592.2	24.0	Plastic
7	274.70	14960.5	19.7	-2.8	Plastic
8	276.01	14978.6	19.6	13.8	Plastic
9	277.32	14952.8	5.5	-19.7	Plastic
10	277.69	14958.0	10.0	14.2	Plastic
11	278.36	14961.5	34.3	5.3	Plastic
12	280.65	14991.4	50.5	13.1	Plastic
13	284.01	15018.7	101.3	8.1	Plastic
14	290.74	15100.5	25.3	12.2	Plastic
15	292.42	15112.9	9.9	7.4	Plastic
16	293.08	15120.4	17.9	11.4	Plastic
17	294.26	15125.1	38.6	4.0	Plastic
18	296.81	15132.0	9.9	2.7	Plastic
19	297.46	15141.4	56.1	14.4	Plastic
20	301.17	15148.7	90.2	2.0	Plastic
21	307.12	15178.6	60.0	5.0	Plastic
22	311.08	15104.5	84.7	-18.7	Plastic
23	316.68	15115.5	78.1	2.0	Plastic
24	321.85	15098.4	31.4	-3.3	Plastic
25	323.93	15093.7	16.7	-2.3	Plastic
26	325.04	15094.1	-	0.3	Plastic
Toplam DEKAP			3518.8	-	-
Elastik Rijitlik (İlk 3 Adım), K_0				90.3	-
Plastik Rijitlik (Diğer Adımlar), K_1				9.0	-
Rijitlik Azalımı				90%	-

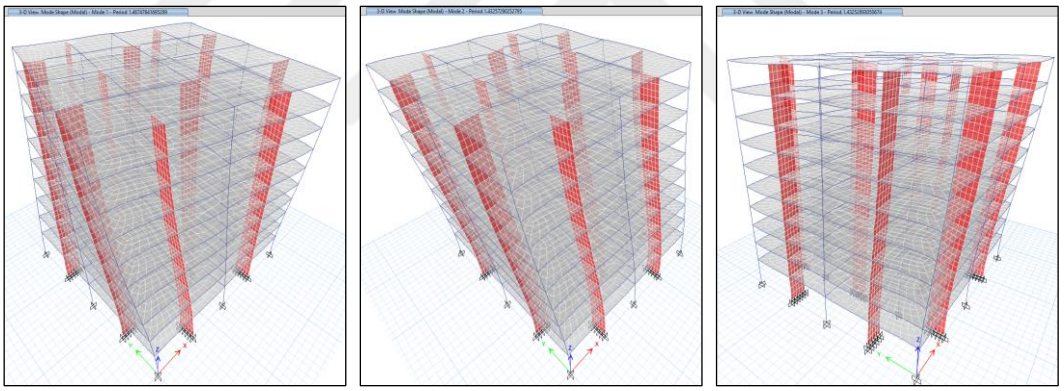


5.1.2. KirisliSistem-SWR(0.70)_Model01

Bu model, her bir doğrultuda kat brüt alanının ~%0.70' i kadar deprem perdesi içeren kirişli plak döşemeler ile tasarlanmış perdeli ve çerçeve bir betonarme yapıyı içermektedir.



Şekil 5.4: ETABS modeli 3B ve plan görünümleri.



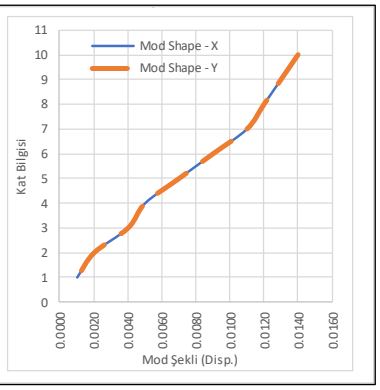
Şekil 5.5: ETABS modal analiz 3B görünümleri.

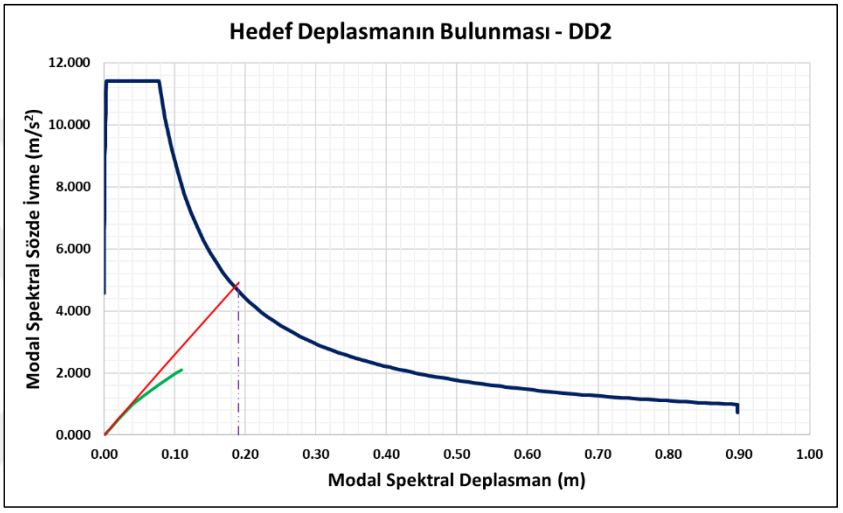
Tablo 5.5: ETABS modal analizde kütle katılım oranları ve periyotlar.

Yapının Dinamik Özellikleri							
Mod	Periyot (s)	UX	UY	RZ	Toplam UX	Toplam UY	Toplam RZ
1	**1.467**	0.000	0.000	**0.760**	0.000	0.000	0.760
2	**1.433**	**0.536**	0.209	0.000	0.536	0.209	0.761
3	**1.433**	0.209	**0.536**	0.000	0.744	0.744	0.761
4	0.434	0.000	0.000	0.129	0.744	0.744	0.889
5	0.409	0.083	0.057	0.000	0.828	0.801	0.889
6	0.409	0.057	0.083	0.000	0.884	0.884	0.889
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
50	0.0000	0	0	0	0.9964	0.9964	0.9969

Tablo 5.6: ETABS modelinin mod şekli ve kat kütleleri

Katların Mod Şekli ve Kütleleri							
X Direction				Y Direction			
Mod	Story	Mod Shapes (Φ)	Mass (kg)	Mod	Story	Mod Shapes (Φ)	Mass (kg)
2	10	0.01400	766697.6	3	10	0.01400	766697.6
	9	0.01300	920029.8		9	0.01300	920029.8
	8	0.01200	920029.8		8	0.01200	920029.8
	7	0.01100	920029.8		7	0.01100	920029.8
	6	0.00900	920515.4		6	0.00900	920515.4
	5	0.00700	921804.1		5	0.00700	921804.1
	4	0.00500	923245.7		4	0.00500	923245.7
	3	0.00400	925277.0		3	0.00400	925277.0
	2	0.00200	928588.5		2	0.00200	928588.5
	1	0.00100	949950.3		1	0.00100	949950.3
	Base	0.0000	72950.5		Base	0.0000	72950.5
	0	0	0.0		0	0	0.0

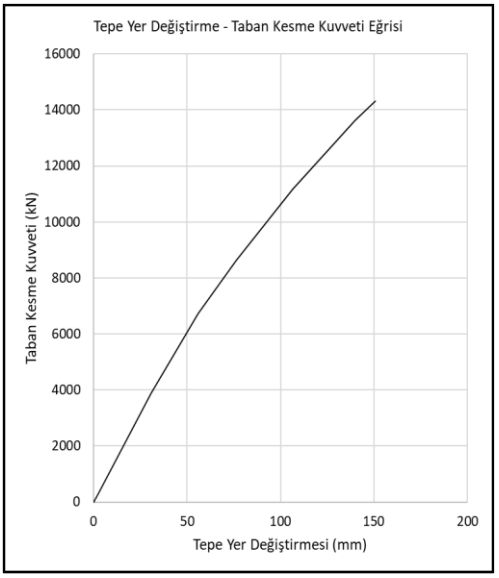




Şekil 5.6: Hedef deplasman hesabı.

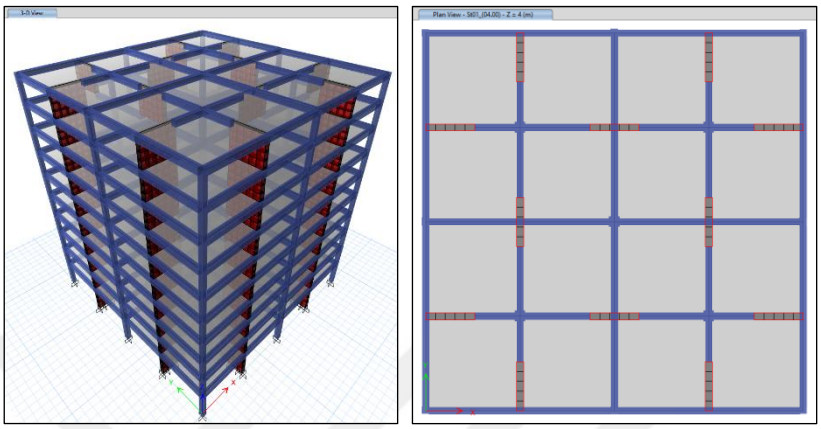
Tablo 5.7: Statik itme eğrisi ve temel performans katsayıları.

KirisliSistem-SWR(0.07)_Model01					
Step	Monitored Disp.	Base Force	DEKAP	Step Slope	Behavior Region
-	mm	kN	kNm	kN/m	
0	0.00	0.0	0.4	0.0	Elastic
1	2.47	317.8	59.7	128.9	Elastic
2	30.77	3898.1	132.6	126.5	Elastic
3	55.73	6729.8	157.6	113.5	Plastic
4	76.26	8622.5	300.3	92.2	Plastic
5	106.60	11173.7	414.5	84.1	Plastic
6	140.02	13635.5	149.4	73.7	Plastic
7	150.71	14308.3	-	62.9	Plastic
Toplam DEKAP			1214.5	-	-
Elastik Rijitlik (İlk 2 Adım), K_0				127.7	-
Plastik Rijitlik (Diğer Adımlar), K_1				85.3	-
Rijitlik Azalımı				33%	-

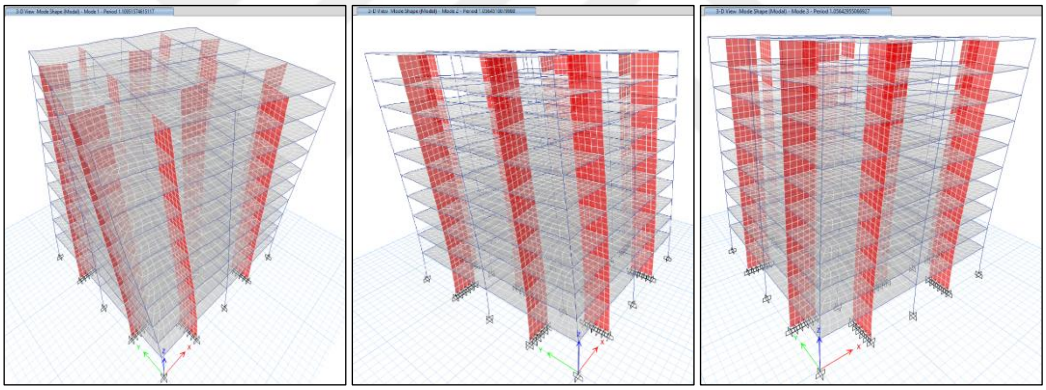


5.1.3. KirisliSistem-SWR(1.44)_Model01

Bu model, her bir doğrultuda kat brüt alanının ~%1.44' ü kadar deprem perdesi içeren kirişli plak döşemeler ile tasarlanmış perdeli ve çerçeve bir betonarme yapıyı içermektedir.



Şekil 5.7: ETABS modeli 3B ve plan görünümleri.



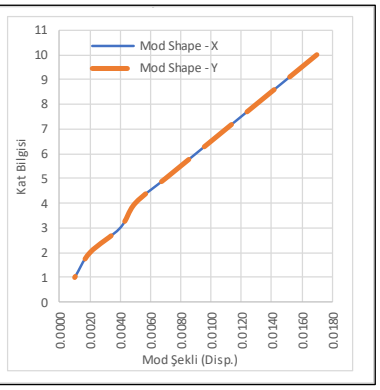
Şekil 5.8: ETABS modal analiz 3B görünümleri.

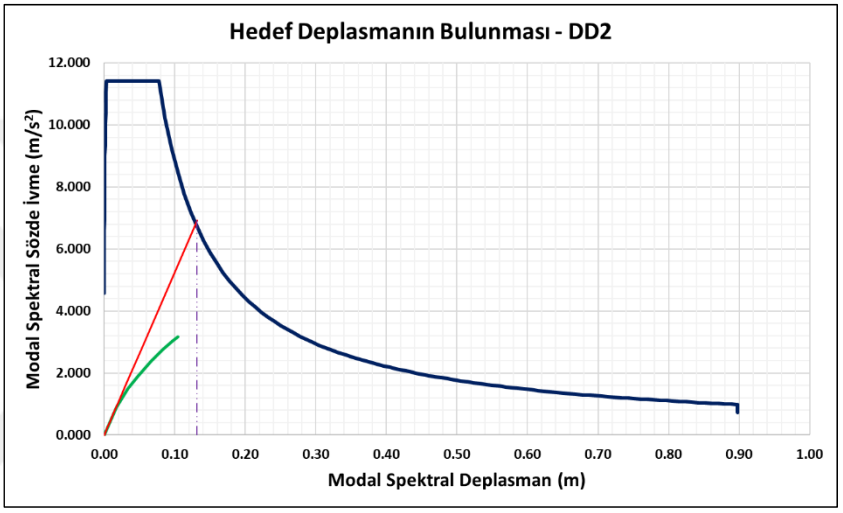
Tablo 5.8: ETABS modal analizde kütle katılım oranları ve periyotlar.

Yapının Dinamik Özellikleri							
Mod	Periyot (s)	UX	UY	RZ	Toplam UX	Toplam UY	Toplam RZ
1	**1.110**	0.000	0.000	**0.724**	0.000	0.000	0.724
2	**1.056**	**0.667**	0.042	0.000	0.667	0.042	0.724
3	**1.056**	0.042	**0.667**	0.000	0.709	0.709	0.724
4	0.297	0.000	0.000	0.156	0.709	0.709	0.880
5	0.267	0.159	0.011	0.000	0.867	0.719	0.880
6	0.267	0.011	0.159	0.000	0.878	0.878	0.880
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
50	0.0000	0	0	0	0.9933	0.9933	0.9943

Tablo 5.9: ETABS modelinin mod şekli ve kat kütleleri

Katların Mod Şekli ve Kütleleri							
X Direction				Y Direction			
Mod	Story	Mod Shapes (Φ)	Mass (kg)	Mod	Story	Mod Shapes (Φ)	Mass (kg)
2	10	0.01700	801581.1	3	10	0.01700	801581.1
	9	0.01500	995867.6		9	0.01500	995867.6
	8	0.01300	995867.6		8	0.01300	995867.6
	7	0.01100	995867.6		7	0.01100	995867.6
	6	0.00900	996353.2		6	0.00900	996353.2
	5	0.00700	997641.9		5	0.00700	997641.9
	4	0.00500	999083.5		4	0.00500	999083.5
	3	0.00400	1001114.8		3	0.00400	1001114.8
	2	0.00200	1004426.3		2	0.00200	1004426.3
	1	0.00100	1039439.5		1	0.00100	1039439.5
	Base	0.0000	127556.3		Base	0.0000	127556.3
	0	0	0.0		0	0	0.0

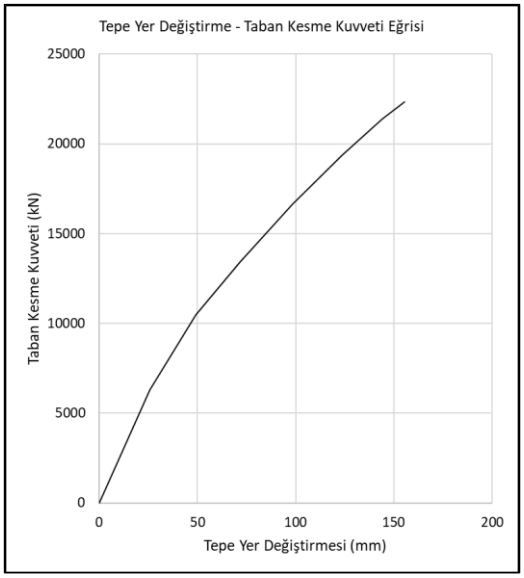




Şekil 5.9: Hedef deplasman hesabı.

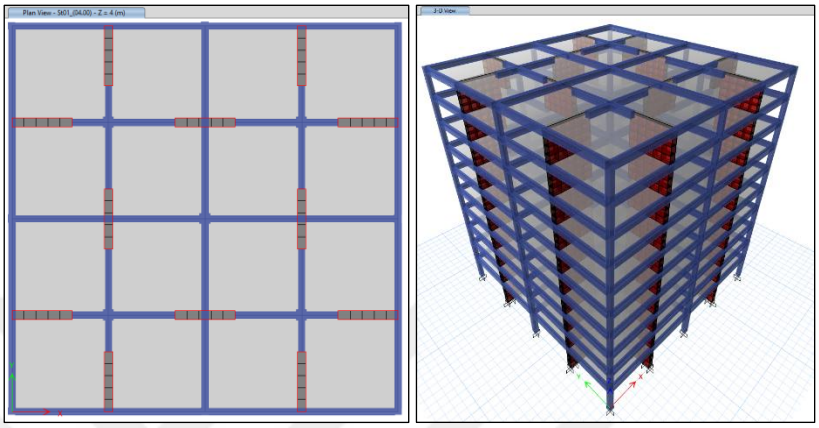
Tablo 5.10: Statik itme eğrisi ve temel performans katsayıları.

KirisliSistem-SWR(1.44)_Model01					
Step	Monitored Disp.	Base Force	DEKAP	Step Slope	Behavior Region
-	mm	kN	kNm	kN/m	
0	0.00	0.0	1.0	0.0	Elastic
1	2.84	707.5	80.0	248.9	Elastic
2	25.73	6288.7	198.2	243.9	Elastic
3	49.34	10495.5	266.6	178.1	Plastic
4	71.63	13425.6	403.0	131.5	Plastic
5	98.42	16658.1	451.9	120.7	Plastic
6	123.50	19372.5	418.7	108.2	Plastic
7	144.05	21377.4	244.8	97.6	Plastic
8	155.25	22341.7	0.8	86.1	Plastic
9	155.28	22343.5	0.0	52.7	Plastic
10	155.29	22343.8	-	132.6	Plastic
Toplam DEKAP			2064.9	-	-
Elastik Rijitlik (İlk 2 Adım), K_0				246.4	-
Plastik Rijitlik (Diğer Adımlar), K_1				113.4	-
Rijitlik Azalımı				54%	-

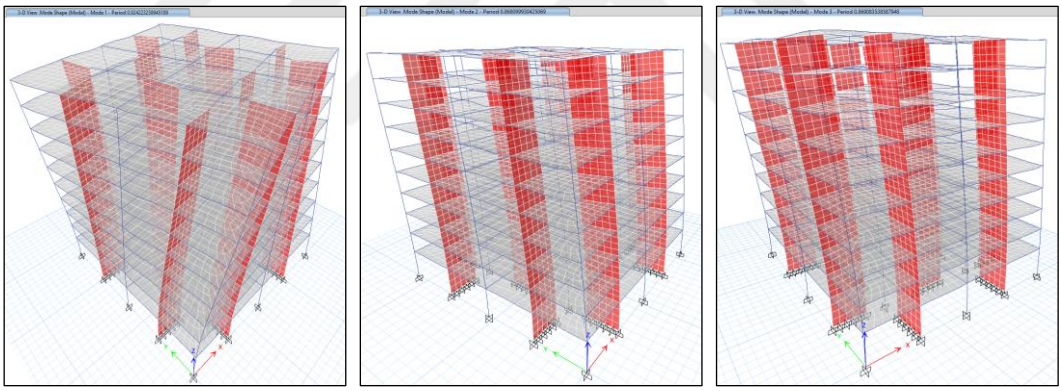


5.1.4. KirisliSistem-SWR(2.10)_Model01

Bu model, her bir doğrultuda kat brüt alanının ~%2.10' u kadar deprem perdesi içeren kirişli plak döşemeler ile tasarlanmış perdeli ve çerçeve bir betonarme yapıyı içermektedir.



Şekil 5.10: ETABS modeli 3B ve plan görünümleri.



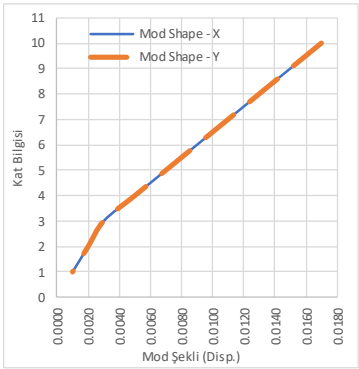
Şekil 5.11: ETABS modal analiz 3B görünümleri.

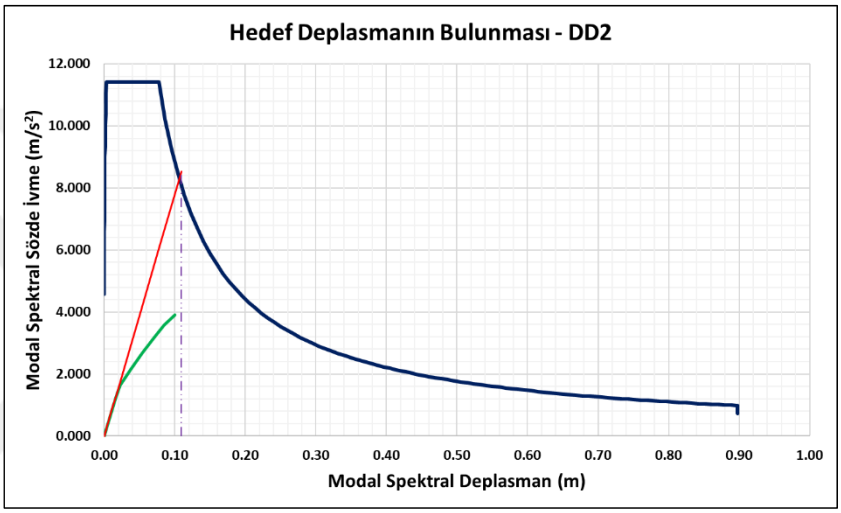
Tablo 5.11: ETABS modal analizde kütle katılım oranları ve periyotlar.

Yapının Dinamik Özellikleri							
Mod	Periyot (s)	UX	UY	RZ	Toplam UX	Toplam UY	Toplam RZ
1	**0.924**	0.000	0.000	**0.709**	0.000	0.000	0.709
2	**0.869**	**0.002**	0.693	0.000	0.002	0.693	0.709
3	**0.869**	0.693	**0.002**	0.000	0.695	0.695	0.709
4	0.236	0.000	0.000	0.170	0.695	0.695	0.879
5	0.209	0.000	0.181	0.000	0.696	0.877	0.879
6	0.209	0.181	0.000	0.000	0.877	0.877	0.879
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
50	0.0000	0	0	0	0.991	0.991	0.9924

Tablo 5.12: ETABS modelinin mod şekli ve kat kütleleri

Katların Mod Şekli ve Kütleleri							
X Direction				Y Direction			
Mod	Story	Mod Shapes (Φ)	Mass (kg)	Mod	Story	Mod Shapes (Φ)	Mass (kg)
3	10	0.01700	832867.0	2	10	0.01700	832867.0
	9	0.01500	1062486.7		9	0.01500	1062486.7
	8	0.01300	1062486.7		8	0.01300	1062486.7
	7	0.01100	1062486.7		7	0.01100	1062486.7
	6	0.00900	1062972.3		6	0.00900	1062972.3
	5	0.00700	1064261.0		5	0.00700	1064261.0
	4	0.00500	1065702.6		4	0.00500	1065702.6
	3	0.00300	1067733.9		3	0.00300	1067733.9
	2	0.00200	1071045.4		2	0.00200	1071045.4
	1	0.00100	1117836.3		1	0.00100	1117836.3
	Base	0.0000	174667.2		Base	0.0000	174667.2
	0	0	0.0		0	0	0.0

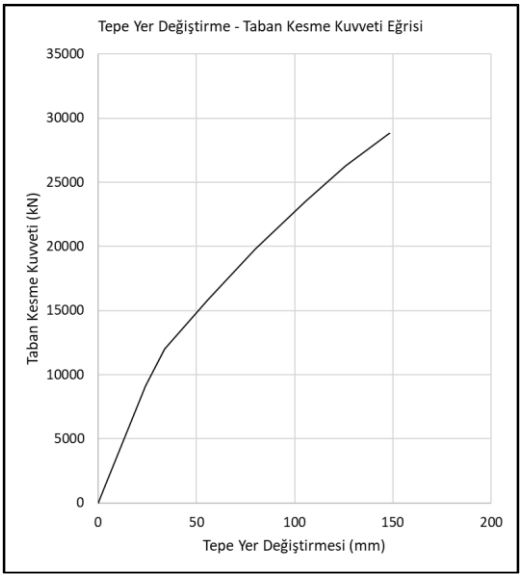




Şekil 5.12: Hedef deplasman hesabı.

Tablo 5.13: Statik itme eğrisi ve temel performans katsayıları.

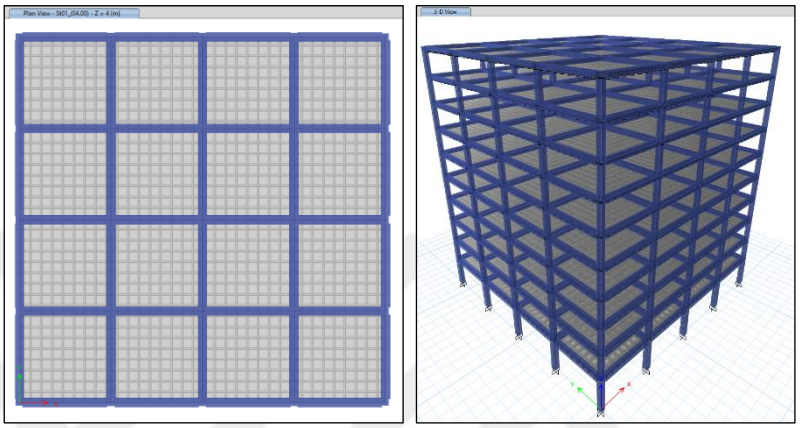
KirisliSistem-SWR(2.10)-Model01					
Step	Monitored Disp.	Base Force	DEKAP	Step Slope	Behavior Region
-	mm	kN	kNm	kN/m	
0	0.00	0.0	3.0	0.0	Elastic
1	3.94	1528.4	107.8	387.9	Elastic
2	24.14	9143.0	103.0	377.0	Elastic
3	33.88	12012.1	307.7	294.5	Plastic
4	55.96	15853.7	428.6	174.0	Plastic
5	80.01	19792.5	549.0	163.8	Plastic
6	105.37	23505.7	512.0	146.4	Plastic
7	125.95	26259.2	607.4	133.8	Plastic
8	148.02	28774.7	4.5	114.0	Plastic
9	148.18	28782.1	0.9	47.2	Plastic
10	148.21	28784.6	0.2	82.5	Plastic
11	148.21	28786.4	-	256.2	Plastic
Toplam DEKAP			2624.1	-	-
Elastik Rijitlik (İlk 2 Adım), K_0				382.5	-
Plastik Rijitlik (Diğer Adımlar), K_1				156.9	-
Rijitlik Azalımı				59%	-



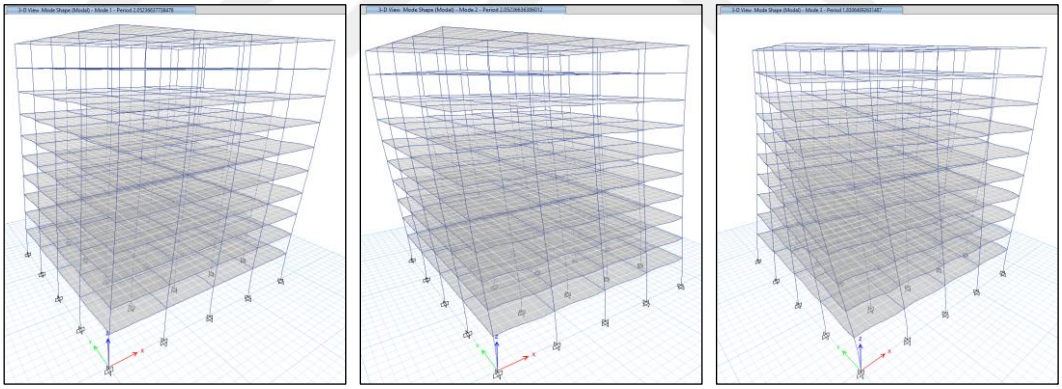
5.2. Kaset Döşemeli Sistemlere Ait Sonuçlar

5.2.1. KasetSistem-SWR(0.00)-Model01

Bu model, herhangi bir deprem perdesinin mevcut olmadığı kaset döşemeler ile tasarlanmış çerçeve bir betonarme yapıyı içermektedir.



Şekil 5.13: ETABS modeli 3B ve plan görünümleri.



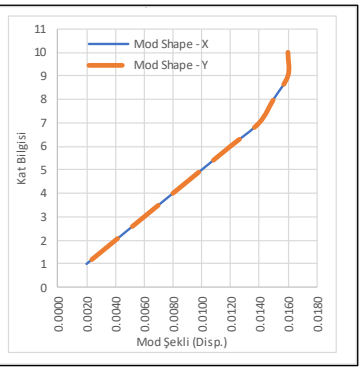
Şekil 5.14: ETABS modal analiz 3B görünümleri.

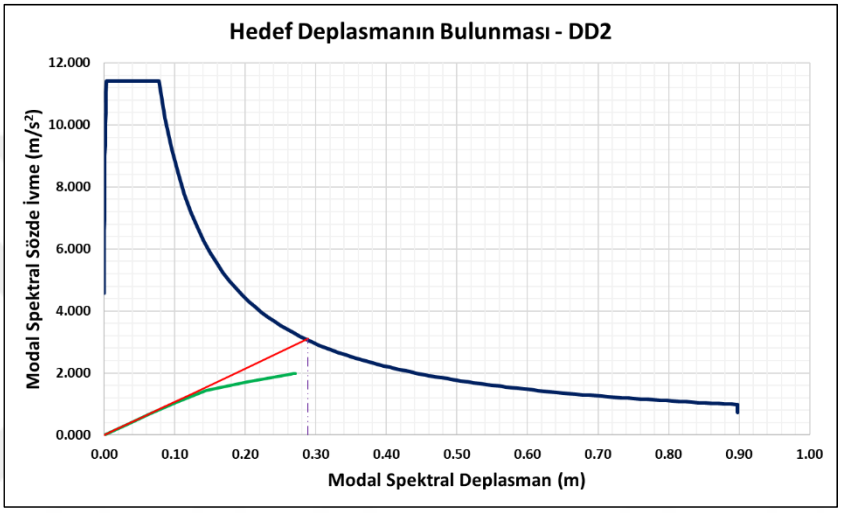
Tablo 5.14: ETABS modal analizde kütle katılım oranları ve periyotlar.

Yapının Dinamik Özellikleri							
Mod	Periyot (s)	UX	UY	RZ	Toplam UX	Toplam UY	Toplam RZ
1	**2.052**	0.000	**0.806**	0.000	0.000	0.806	0.000
2	**2.052**	**0.806**	0.000	0.000	0.806	0.806	0.000
3	**1.831**	0.000	0.000	**0.816**	0.806	0.806	0.816
4	0.685	0.106	0.000	0.000	0.911	0.806	0.816
5	0.685	0.000	0.106	0.000	0.911	0.911	0.816
6	0.606	0.000	0.000	0.102	0.911	0.911	0.918
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
50	0.0640	0	0	0.0015	1	1	1

Tablo 5.15: ETABS modelinin mod şekli ve kat kütleleri

Katların Mod Şekli ve Kütleleri							
X Direction				Y Direction			
Mod	Story	Mod Shapes (Φ)	Mass (kg)	Mod	Story	Mod Shapes (Φ)	Mass (kg)
2	10	0.01600	660894.7	1	10	0.01600	660894.7
	9	0.01600	784248.1		9	0.01600	784248.1
	8	0.01500	784248.1		8	0.01500	784248.1
	7	0.01400	784248.1		7	0.01400	784248.1
	6	0.01200	785484.5		6	0.01200	785484.5
	5	0.01000	788347.0		5	0.01000	788347.0
	4	0.00800	791519.3		4	0.00800	791519.3
	3	0.00600	795027.1		3	0.00600	795027.1
	2	0.00400	798689.7		2	0.00400	798689.7
	1	0.00200	815386.9		1	0.00200	815386.9
	Base	0.0000	41482.1		Base	0.0000	41482.1
	0	0	0.0		0	0	0.0

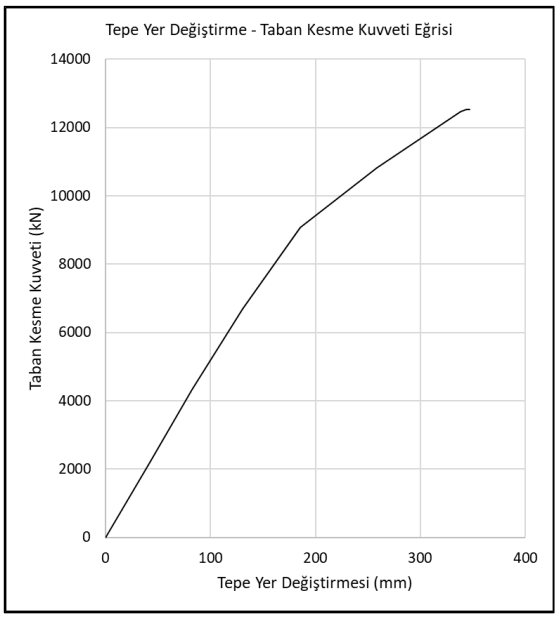




Şekil 5.15: Hedef deplasman hesabı.

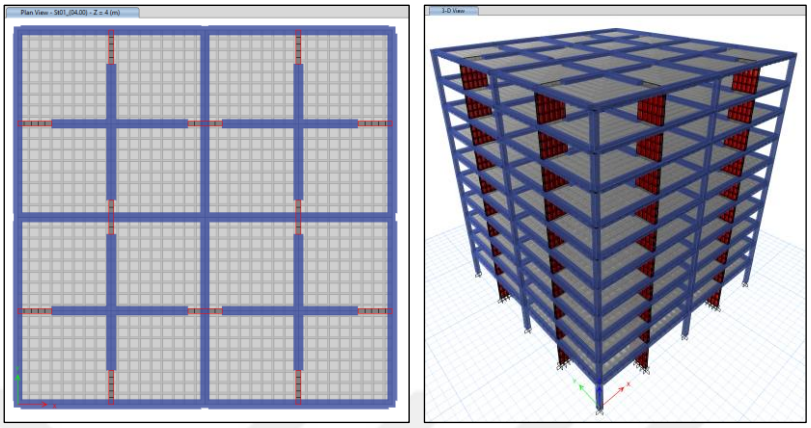
Tablo 5.16: Statik itme eğrisi ve temel performans katsayıları.

KasetSistem-SWR(0.00)-Model01					
Step	Monitored Disp.	Base Force	DEKAP	Step Slope	Behavior Region
-	mm	kN	kNm	kN/m	
0	0.00	0.0	0.2	0.0	Elastic
1	2.49	132.3	47.3	53.1	Elastic
2	42.49	2232.6	131.1	52.5	Elastic
3	82.49	4323.3	264.5	52.3	Elastic
4	130.50	6696.7	433.2	49.4	Elastic
5	185.42	9078.3	728.0	43.4	Plastic
6	258.59	10820.7	929.4	23.8	Plastic
7	338.45	12455.0	62.3	20.5	Plastic
8	343.44	12523.5	25.5	13.7	Plastic
9	345.48	12522.1	17.7	-0.7	Plastic
10	346.89	12533.5	0.4	8.1	Plastic
11	346.92	12532.9	0.2	-19.8	Plastic
12	346.94	12531.2	0.1	-106.5	Plastic
13	346.94	12529.7	-	-184.5	Plastic
Toplam DEKAP			2639.9	-	-
Elastik Rijitlik (İlk 4 Adım), K_0				51.8	-
Plastik Rijitlik (Diğer Adımlar), K_1				-9.1	-
Rijitlik Azalımı				118%	-

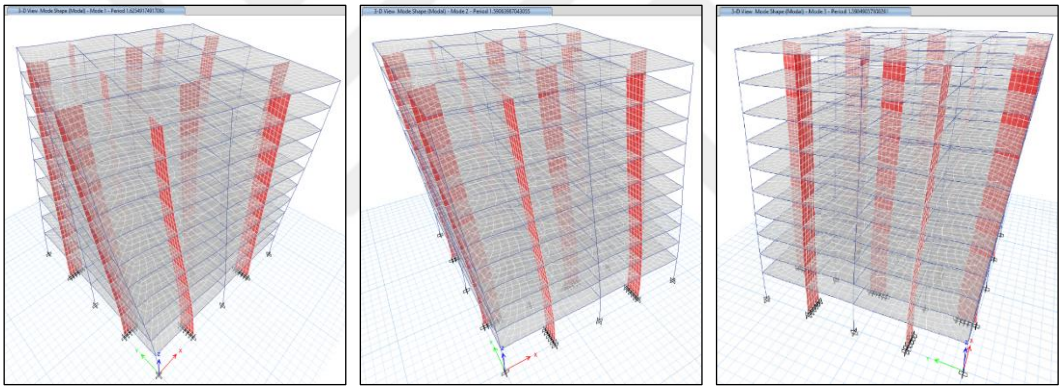


5.2.2. KasetSistem-SWR(0.70)-Model01

Bu model, her bir doğrultuda kat brüt alanının ~%0.70' i kadar deprem perdesi içeren kaset döşemeler ile tasarlanmış perdeli ve çerçeve bir betonarme yapıyı içermektedir.



Şekil 5.16: ETABS modeli 3B ve plan görünümleri.



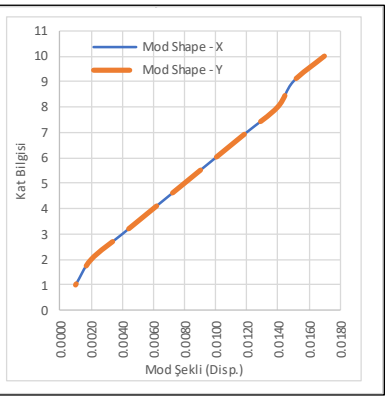
Şekil 5.17: ETABS modal analiz 3B görünümleri.

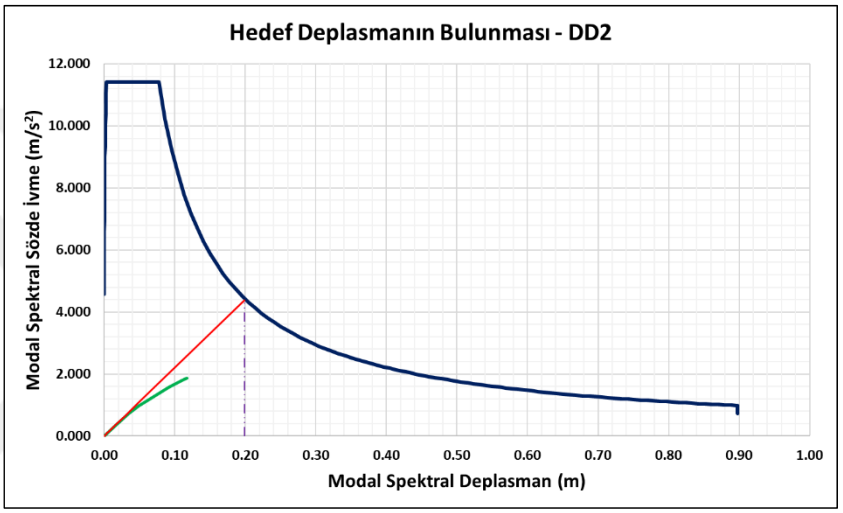
Tablo 5.17: ETABS modal analizde kütle katılım oranları ve periyotlar.

Yapının Dinamik Özellikleri							
Mod	Periyot (s)	UX	UY	RZ	Toplam UX	Toplam UY	Toplam RZ
1	**1.625**	0.000	0.000	**0.748**	0.000	0.000	0.748
2	**1.591**	**0.609**	0.123	0.000	0.609	0.123	0.748
3	**1.591**	0.123	**0.609**	0.000	0.732	0.732	0.748
4	0.459	0.000	0.000	0.136	0.732	0.732	0.883
5	0.429	0.119	0.029	0.000	0.850	0.761	0.883
6	0.429	0.029	0.119	0.000	0.880	0.880	0.883
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
50	0.0000	0	0	0	0.9961	0.9961	0.9966

Tablo 5.18: ETABS modelinin mod şekli ve kat kütleleri

Katların Mod Şekli ve Kütleleri							
X Direction				Y Direction			
Mod	Story	Mod Shapes (Φ)	Mass (kg)	Mod	Story	Mod Shapes (Φ)	Mass (kg)
2	10	0.01700	686556.0	3	10	0.01700	686556.0
	9	0.01500	840894.8		9	0.01500	840894.8
	8	0.01400	840894.8		8	0.01400	840894.8
	7	0.01200	840894.8		7	0.01200	840894.8
	6	0.01000	841581.7		6	0.01000	841581.7
	5	0.00800	843171.9		5	0.00800	843171.9
	4	0.00600	844934.3		4	0.00600	844934.3
	3	0.00400	846499.3		3	0.00400	846499.3
	2	0.00200	848098.2		2	0.00200	848098.2
	1	0.00100	869912.8		1	0.00100	869912.8
	Base	0.0000	73847.9		Base	0.0000	73847.9
	0	0	0.0		0	0	0.0

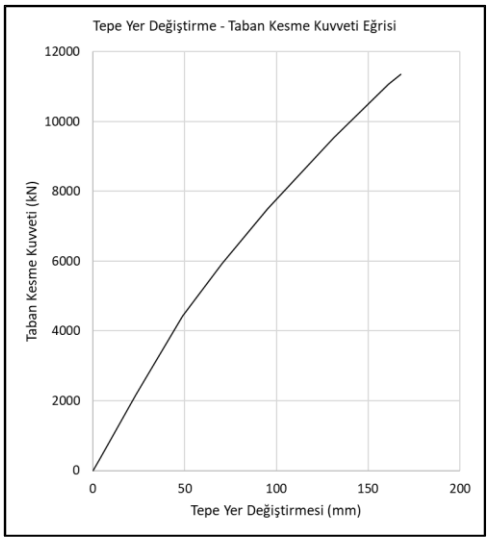




Şekil 5.18: Hedef deplasman hesabı.

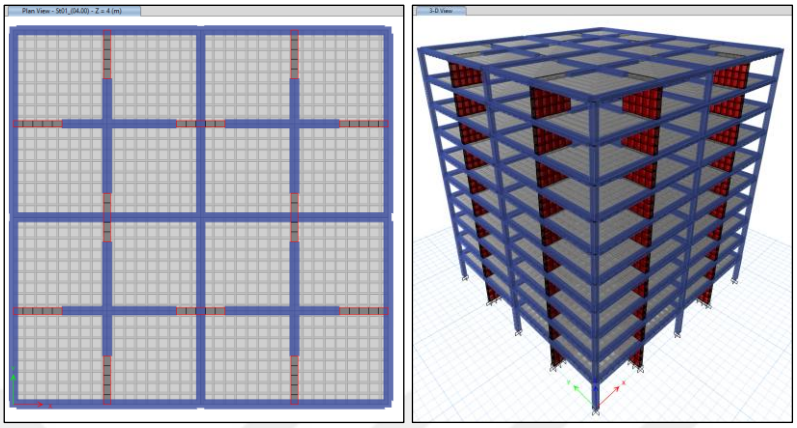
Tablo 5.19: Statik itme eğrisi ve temel performans katsayıları.

KasetSistem-SWR(0.07)_Model01					
Step	Monitored Disp.	Base Force	DEKAP	Step Slope	Behavior Region
-	mm	kN	kNm	kN/m	
0	0.00	0.0	0.6	0.0	Elastic
1	3.50	326.9	25.0	93.4	Elastic
2	23.50	2175.5	84.2	92.4	Elastic
3	48.99	4428.1	110.2	88.4	Plastic
4	70.26	5936.7	167.8	70.9	Plastic
5	95.24	7495.1	306.1	62.4	Plastic
6	131.17	9543.7	309.1	57.0	Plastic
7	161.16	11071.1	72.6	50.9	Plastic
8	167.63	11360.2	0.1	44.7	Plastic
9	167.64	11360.3	0.0	13.4	Plastic
10	167.64	11360.4	-	93.0	Plastic
Toplam DEKAP			1075.6	-	-
Elastik Rijitlik (İlk 2 Adım), K_0				92.9	-
Plastik Rijitlik (Diğer Adımlar), K_1				60.1	-
Rijitlik Azalımı				35%	-

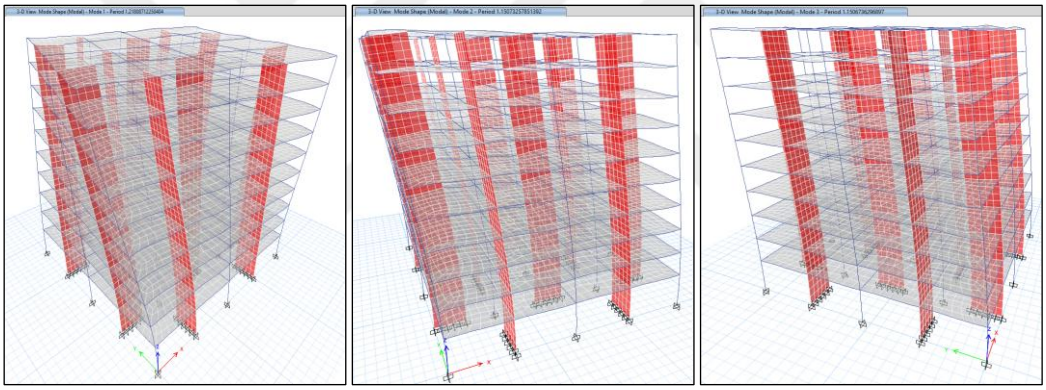


5.2.3. KasetSistem-SWR(1.44)-Model01

Bu model, her bir doğrultuda kat brüt alanının ~%1.44' ü kadar deprem perdesi içeren kaset döşemeler ile tasarlanmış perdeli ve çerçeve bir betonarme yapıyı içermektedir.



Şekil 5.19: ETABS modeli 3B ve plan görünümleri.



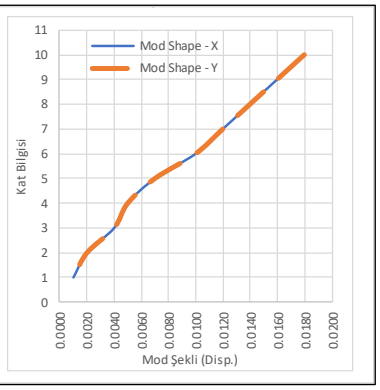
Şekil 5.20: ETABS modal analiz 3B görünümleri.

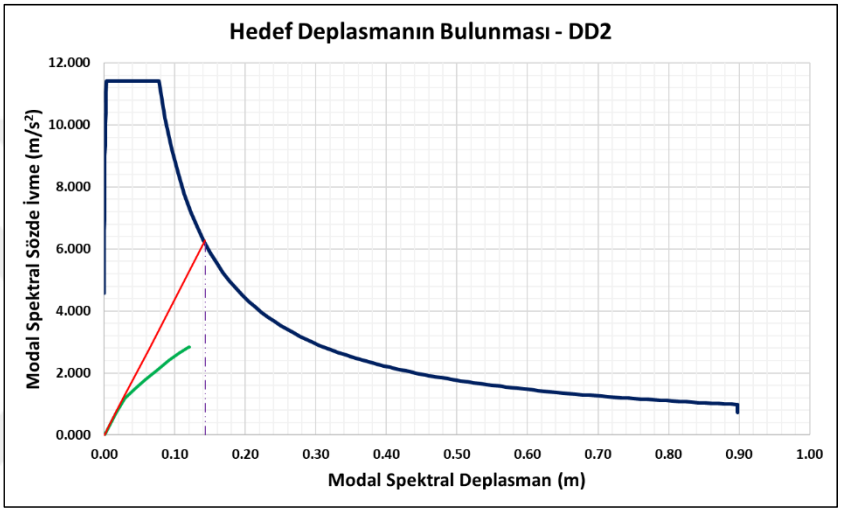
Tablo 5.20: ETABS modal analizde kütle katılım oranları ve periyotlar.

Yapının Dinamik Özellikleri							
Mod	Periyot (s)	UX	UY	RZ	Toplam UX	Toplam UY	Toplam RZ
1	**1.218**	0.000	0.000	**0.709**	0.000	0.000	0.709
2	**1.151**	**0.652**	0.045	0.000	0.652	0.045	0.709
3	**1.151**	0.045	**0.652**	0.000	0.697	0.697	0.709
4	0.304	0.000	0.000	0.166	0.697	0.697	0.875
5	0.271	0.168	0.009	0.000	0.865	0.706	0.875
6	0.271	0.009	0.168	0.000	0.874	0.874	0.875
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
50	0.0000	0	0	0	0.9928	0.9928	0.9937

Tablo 5.21: ETABS modelinin mod şekli ve kat kütleleri

Katların Mod Şekli ve Kütleleri							
X Direction				Y Direction			
Mod	Story	Mod Shapes (Φ)	Mass (kg)	Mod	Story	Mod Shapes (Φ)	Mass (kg)
2	10	0.01800	724221.9	3	10	0.01800	724221.9
	9	0.01600	919515.1		9	0.01600	919515.1
	8	0.01400	919515.1		8	0.01400	919515.1
	7	0.01200	919515.1		7	0.01200	919515.1
	6	0.01000	920202.0		6	0.01000	920202.0
	5	0.00700	921792.2		5	0.00700	921792.2
	4	0.00500	923554.6		4	0.00500	923554.6
	3	0.00400	925119.6		3	0.00400	925119.6
	2	0.00200	926718.5		2	0.00200	926718.5
	1	0.00100	962184.6		1	0.00100	962184.6
	Base	0.0000	128453.7		Base	0.0000	128453.7
	0	0	0.0		0	0	0.0

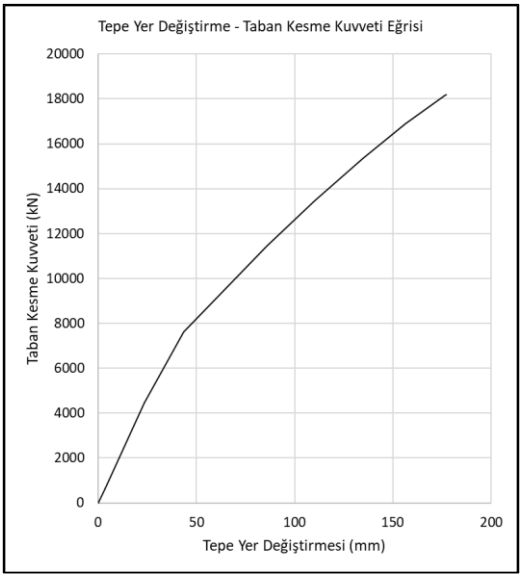




Şekil 5.21: Hedef deplasman hesabı.

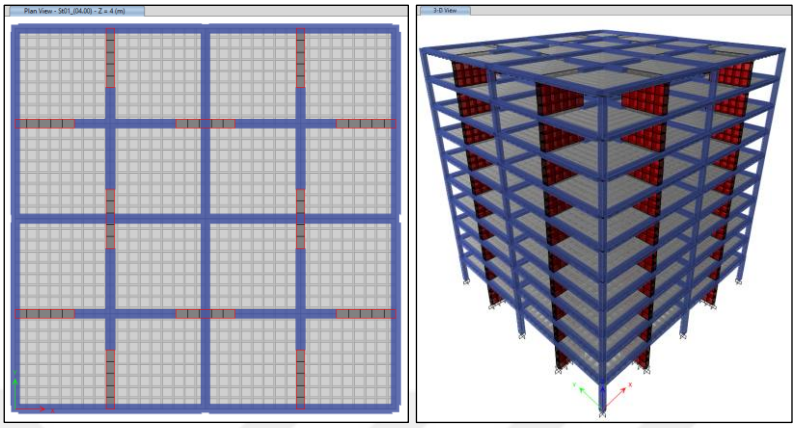
Tablo 5.22: Statik itme eğrisi ve temel performans katsayıları.

KasetSistem-SWR(1.44)-Model01					
Step	Monitored Disp.	Base Force	DEKAP	Step Slope	Behavior Region
-	mm	kN	kNm	kN/m	
0	0.00	0.0	1.2	0.0	Elastic
1	3.53	672.5	51.2	190.7	Elastic
2	23.53	4448.0	120.8	188.8	Elastic
3	43.54	7623.9	183.4	158.7	Plastic
4	64.88	9570.9	217.3	91.3	Plastic
5	85.58	11422.7	305.4	89.5	Plastic
6	110.12	13463.2	352.0	83.1	Plastic
7	134.55	15348.6	352.0	77.2	Plastic
8	156.38	16894.0	351.2	70.8	Plastic
9	176.41	18173.6	11.5	63.9	Plastic
10	177.04	18200.4	0.1	42.4	Plastic
11	177.05	18200.7	-	112.4	Plastic
Toplam DEKAP			1945.9	-	-
Elastik Rijitlik (İlk 2 Adım), K_0				189.7	-
Plastik Rijitlik (Diğer Adımlar), K_1				87.7	-
Rijitlik Azalımı				54%	-

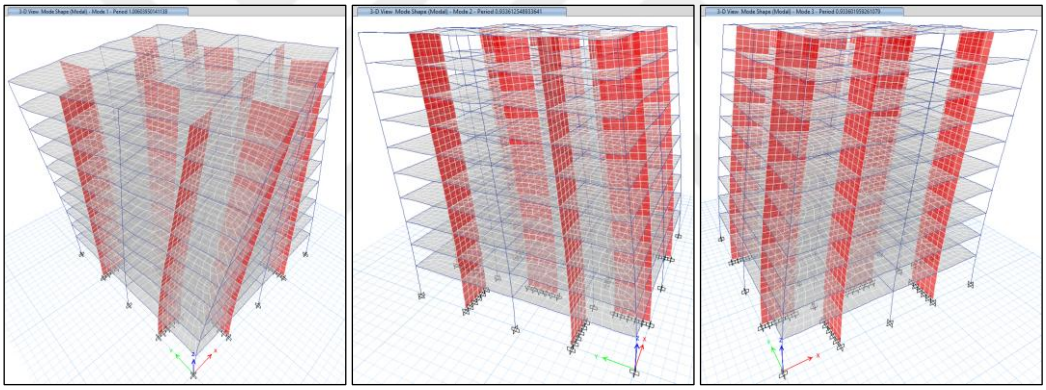


5.2.4. KasetSistem-SWR(2.10)-Model01

Bu model, her bir doğrultuda kat brüt alanının ~%2.10' u kadar deprem perdesi içeren kaset döşemeler ile tasarlanmış perdeli ve çerçeve bir betonarme yapıyı içermektedir.



Şekil 5.22: ETABS modeli 3B ve plan görünümleri.



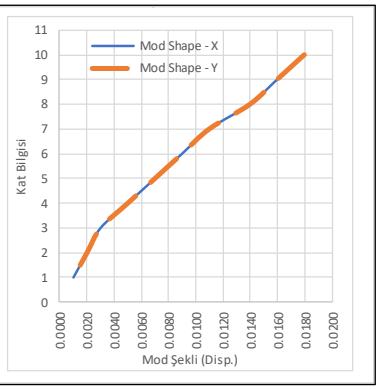
Şekil 5.23: ETABS modal analiz 3B görünümleri.

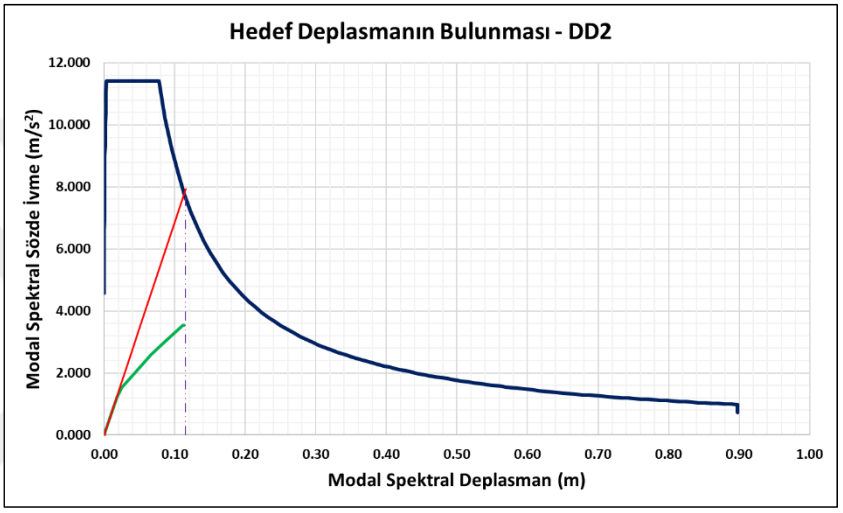
Tablo 5.23: ETABS modal analizde kütle katılım oranları ve periyotlar.

Yapının Dinamik Özellikleri							
Mod	Periyot (s)	UX	UY	RZ	Toplam UX	Toplam UY	Toplam RZ
1	**1.006**	0.000	0.000	**0.696**	0.000	0.000	0.696
2	**0.934**	0.024	**0.662**	0.000	0.024	0.662	0.696
3	**0.934**	**0.662**	0.024	0.000	0.685	0.685	0.696
4	0.239	0.000	0.000	0.179	0.685	0.685	0.874
5	0.210	0.011	0.178	0.000	0.696	0.863	0.874
6	0.210	0.178	0.011	0.000	0.874	0.874	0.874
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
50	0.0000	0	0	8.9E-06	0.9903	0.9903	0.9917

Tablo 5.24: ETABS modelinin mod şekli ve kat kütleleri

Katların Mod Şekli ve Kütleleri							
X Direction				Y Direction			
Mod	Story	Mod Shapes (Φ)	Mass (kg)	Mod	Story	Mod Shapes (Φ)	Mass (kg)
3	10	0.01800	757362.8	2	10	0.01800	757362.8
	9	0.01600	987989.2		9	0.01600	987989.2
	8	0.01400	987989.2		8	0.01400	987989.2
	7	0.01100	987989.2		7	0.01100	987989.2
	6	0.00900	988676.0		6	0.00900	988676.0
	5	0.00700	990266.3		5	0.00700	990266.3
	4	0.00500	992028.7		4	0.00500	992028.7
	3	0.00300	993593.7		3	0.00300	993593.7
	2	0.00200	995192.6		2	0.00200	995192.6
	1	0.00100	1042436.4		1	0.00100	1042436.4
	Base	0.0000	175564.5		Base	0.0000	175564.5
	0	0	0.0		0	0	0.0

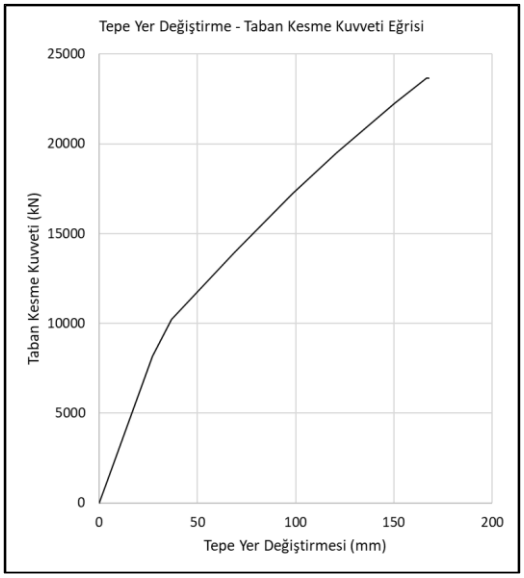




Şekil 5.24: Hedef deplasman hesabı.

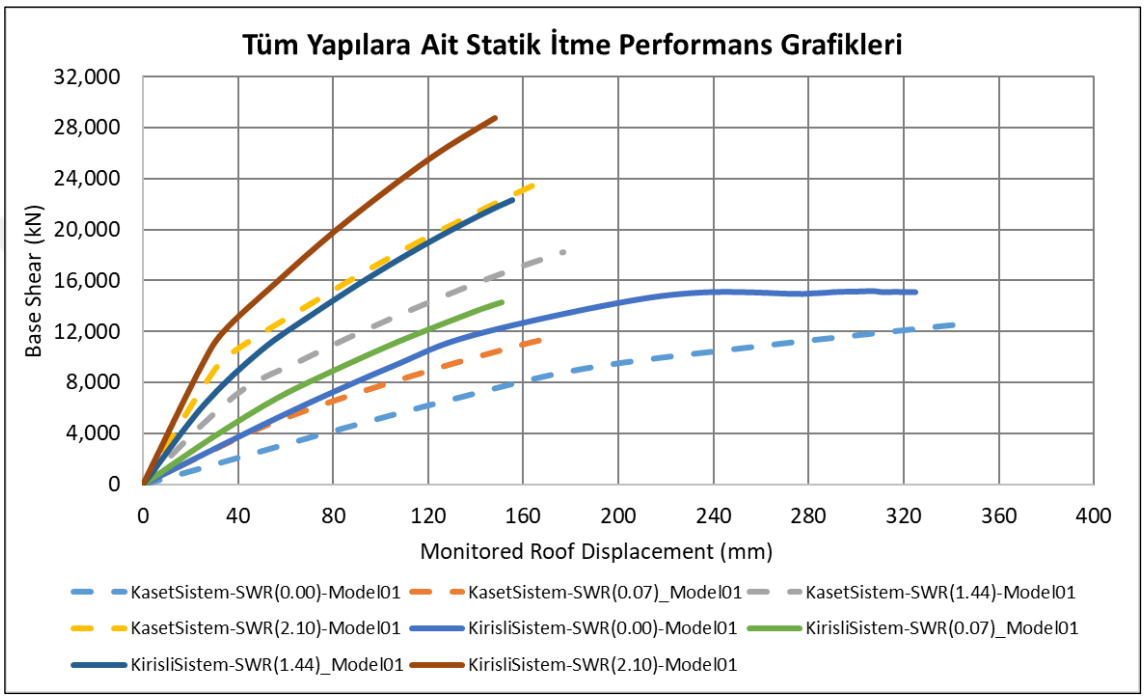
Tablo 5.25: Statik itme eğrisi ve temel performans katsayıları.

KasetSistem-SWR(2.10)-Model01					
Step	Monitored Disp.	Base Force	DEKAP	Step Slope	Behavior Region
-	mm	kN	kNm	kN/m	
0	0.00	0.0	1.9	0.0	Elastic
1	3.48	1076.0	108.7	309.2	Elastic
2	27.03	8154.0	89.2	300.5	Elastic
3	36.74	10235.7	388.3	214.5	Plastic
4	68.81	13982.5	461.7	116.8	Plastic
5	98.39	17236.1	415.7	110.0	Plastic
6	121.00	19523.9	615.2	101.1	Plastic
7	150.45	22257.0	357.6	92.8	Plastic
8	166.04	23620.8	10.3	87.5	Plastic
9	166.48	23638.1	21.9	39.4	Plastic
10	167.41	23660.0	8.4	23.6	Plastic
11	167.77	23657.2	2.2	-7.8	Plastic
12	167.86	23655.4	0.1	-19.1	Plastic
13	167.87	23655.7	0.1	42.6	Plastic
14	167.87	23656.2	0.1	193.8	Plastic
15	167.87	23655.8	-	-141.4	Plastic
Toplam DEKAP			2481.6	-	-
Elastik Rijitlik (İlk 2 Adım), K_0				304.8	-
Plastik Rijitlik (Diğer Adımlar), K_1				65.7	-
Rijitlik Azalımı				78%	-



5.3. Ön Değerlendirme Analizlerine Ait Sonuç Özetleri

Aşağıdaki statik itme grafiklerinden de görüldüğü üzere en sünek davranan iki yapı da perdesiz olan yapılardır. Bu yapılarda daha düşük bir taban kesme kuvveti talebi oluşmuş ve daha yüksek bir enerji tüketimi gerçekleşmiştir.



Şekil 5.25: Kirişli plak ve kaset döşemeli sistemlere ait statik itme eğrileri.

Yapılan ön değerlendirme analizlerinden elde edilen performans eğrilerine göre perdesiz kaset döşemeli sistemin güçlendirme yöntemlerine tabi tutulmasına karar verilmiştir.

Bu çalışmanın devamında perdesiz kaset döşemeli sistemin hangi yöntemler ve kriterler ile güçlendirileceği ve analiz edileceği izah edilecek ve sonuçları üzerinde yorumlar geliştirilecektir.

6. GÜÇLENDİRME ANALİZLERİ

Bu bölüm kapsamında ön değerlendirme analizleri sonuçlarından elde edilen veriler ışığında en düşük kapasiteli yapının, seçilen güçlendirme yöntemleri ile güçlendirilerek sonuçlarının araştırılması amaçlanmıştır.

En elverişsiz yapıyı tespit edebilmek amacıyla statik tek modlu itme yöntemi kullanılarak yapılan ön değerlendirme analizlerinin aksine, bu bölümde dikkate alınan güçlendirme yöntemlerinin seçilen depremler altındaki performansı incelenecektir.

6.1. Betonarme Perde İlavesi ile Güçlendirme

Yapıların deprem etkisi altındaki davranışı, taşıyıcı sistemin türü ve yeterliliği ile doğrudan ilişkilidir. Özellikle mevcut betonarme binalarda zamanla yetersiz hale gelen yapısal sistemlerin, çeşitli güçlendirme yöntemleriyle iyileştirilmesi gerekmektedir. Bu yöntemler arasında, betonarme perde duvarların yapıya sonradan eklenmesi hem mühendislik açısından etkili sonuçlar vermesi hem de uygulama pratiğinde kabul görmesi nedeniyle dikkat çekmektedir. Perde duvarlar, yapıların yatay yük taşıma kapasitesini artırmak ve aşırı kat ötelenmelerini sınırlandırmak açısından önemli bir rol oynamaktadır.

Betonarme perde duvar uygulamaları, yapıdaki göreli kat ötelenmelerinin azaltılması ve burulma düzensizliklerinin giderilmesi gibi yapısal faydalar sağlamaktadır. Bu da özellikle çok katlı ve düzensiz yapılarda sismik güvenliğin artırılması açısından önemli avantajlar sunar. Ancak güçlendirme yönteminin yapıya entegrasyonu sırasında, perdenin konumu, yüksekliği, temele bağlantısı ve mevcut sistemle olan etkileşimi gibi birçok faktör titizlikle ele alınmalıdır. Aksi halde, teorik olarak avantajlı görünen bu müdahale, istenmeyen gerilmelerin oluşmasına ya da yapının davranışında yeni düzensizliklerin ortaya çıkmasına neden olabilir.

Ancak her güçlendirme yönteminde olduğu gibi, betonarme perde duvar eklenmesinin de bazı dezavantajları bulunmaktadır. Mimari kullanım alanlarının daralması, yeni perde-duvarların temel ile entegrasyonunun getirdiği yapım zorlukları ve maliyet artışı gibi faktörler, yöntemin uygulanabilirliğini kısıtlayabilir. Bununla birlikte, yapım kolaylığı, malzeme temininde sorun yaşanmaması ve mühendislik hesaplamalarının görece netliği gibi avantajlar sayesinde, betonarme perde ile güçlendirme halen yaygın

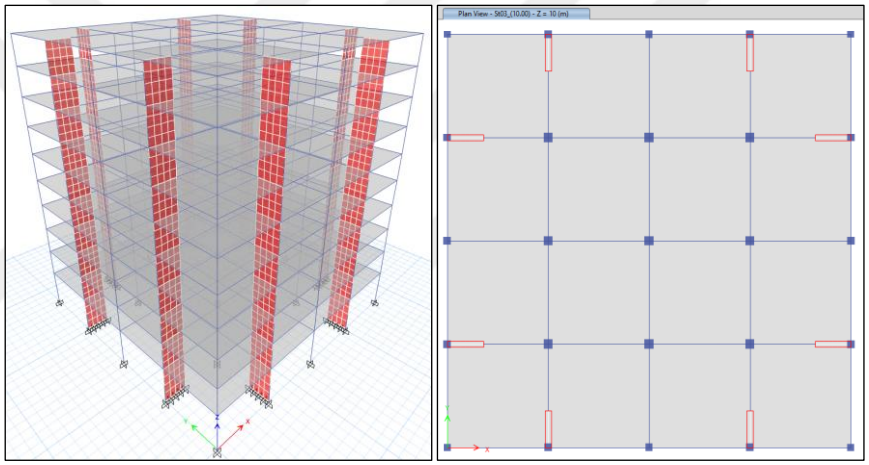
ve etkili bir yöntem olarak değerlendirilmektedir. Uygulama kararı verilirken, yapının özgün koşulları ve kullanım amacı dikkate alınarak çok yönlü bir değerlendirme yapılması gereklidir.

Bu çalışma kapsamında güçlendirilen kaset döşemeli perdesiz yapının, betonarme perde takviyesi ile güçlendirilmesi yönteminde 2 tip kullanılmıştır.

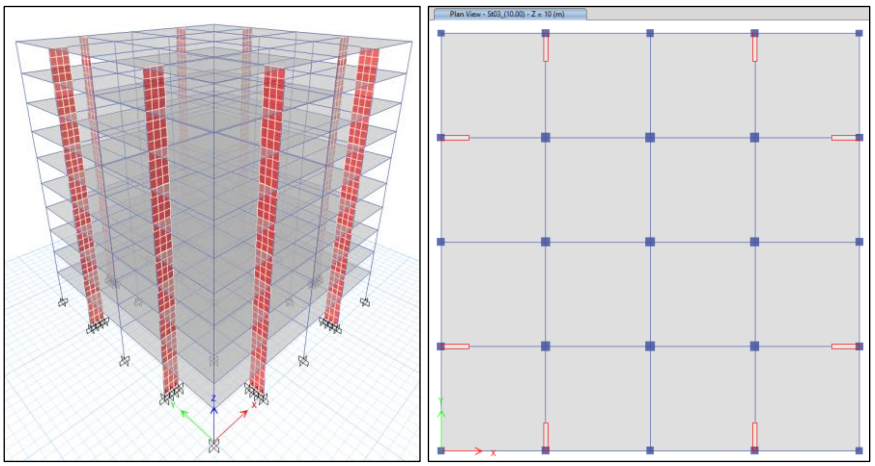
1. Her yönde 4 adet olmak üzere her katta toplam 8 adet 40x240cm boyutlarında perde ilavesi (SWR(0.00)-GY-SW_T1)

2. Her yönde 4 adet olmak üzere her katta toplam 8 adet 30x180cm boyutlarında perde ilavesi (SWR(0.00)-GY-SW_T2)

Aşağıda tarif edilen güçlendirme yöntemini ifade eden görseller sunulmuştur.



Şekil 6.1: Perde ile güçlendirme yöntemi (SWR(0.00)-GY-SW_T1).



Şekil 6.2: Perde ile güçlendirme yöntemi (SWR(0.00)-GY-SW_T2).

6.2. Burkulması Önlenmiş Çelik Çaprazlar ile Güçlendirme

Burkulması önlenmiş çaprazlar (Buckling Restrained Braces - BRB), geleneksel çelik çaprazların eksenel basınç altında burkulma eğilimlerini ortadan kaldırmak amacıyla geliştirilmiş sünek ve enerji sönümleyici elemanlardır. Bu elemanlar, çekme ve basınç yönlerinde benzer taşıma kapasitesi göstererek çift yönlü enerji tüketimi sağlar. BRB'ler genellikle bir çelik çekirdek, çevresel burkulma engelleyici dolgu malzemesi ve dış kılıftan oluşur. Bu yapı sayesinde eksenel yük altında çekirdek sadece eksenel deformasyona maruz kalır ve burkulma engellenerek plastikleşme kontrollü şekilde gerçekleşir. Bu özellikleri sayesinde BRB sistemleri, özellikle yüksek sismik taleplerin olduğu bölgelerde modern taşıyıcı sistem tasarımında önemli bir yer edinmiştir.

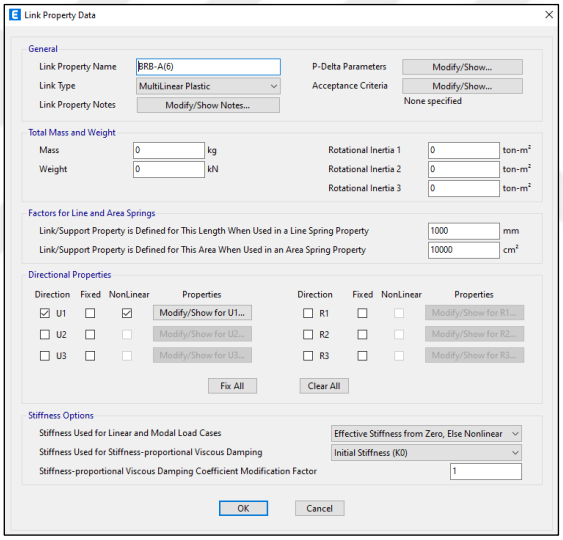
Mevcut yapıların depreme karşı performanslarının artırılmasında BRB sistemleri etkili bir güçlendirme seçeneği olarak öne çıkmaktadır. Özellikle sünek davranış kabiliyeti yetersiz olan çerçeve sistemlerin, BRB ile donatılması sayesinde yapının enerji sönümleme kapasitesi artırılarak, deprem etkileri altındaki göçme riski önemli ölçüde azaltılabilir. BRB'lerin düşük rijitlikteki çerçevelere entegre edilmesi, yapıya ilave yatay dayanım ve süneklik kazandırırken, mevcut taşıyıcı elemanların maruz kaldığı taleplerin azalmasını sağlar. Bu nedenle BRB sistemleri, hem yeni binalarda hem de güçlendirme projelerinde, yönetmeliklerin öngördüğü performans seviyelerine ulaşmak adına güvenilir ve pratik bir çözüm olarak tercih edilmektedir.

BRB sistemlerinin en önemli mühendislik avantajı, geleneksel çapraz sistemlerde karşılaşılan basınç yönündeki burkulma probleminin ortadan kaldırılmasıdır. Bu elemanlar, çekme ve basınç yükleri altında neredeyse simetrik bir yük-deformasyon eğrisi sergileyerek yapıya önemli ölçüde histeretik enerji sönümleme kapasitesi kazandırır. Tipik olarak, BRB'lerde kullanılan çelik çekirdek belirli bir plastik deformasyon kapasitesine sahip olacak şekilde boyutlandırılırken, dış kılıf ve dolgu malzemesi (örneğin harç veya düşük sürtünmeli polimerler) yalnızca burkulma engelleme görevini üstlenir. Güçlendirme uygulamalarında BRB'ler mevcut çerçevelere dıştan veya içten entegre edilerek yapının periyotları, mod şekilleri ve yatay taşıma kapasitesi üzerinde doğrudan etki yaratır. Bu sistemler, özellikle yüksek performans hedeflerinin (örneğin Göçmenin Önlenmesi veya Hemen Kullanım)

sağlanmasında, geleneksel dolgu duvarlı veya klasik çaprazlı çözümlere göre daha üstün sonuçlar verebilmektedir.

6.2.1. BÖÇÇ (BRB) Elemanlarının Tanımları

Yapının performans bazlı değerlendirilmesinde kullanılan BRB (Buckling-Restrained Brace) elemanları, bu çalışmada eksenel doğrultuda doğrusal olmayan davranış gösterebilecek şekilde ETABS yazılımı içerisinde "multilinear plastic" tipinde link elemanlar olarak modellenmiştir. Geleneksel çubuk eleman tanımları, çevrimsel enerji tüketimini ve şekil değiştirme kapasitesini yansıtmakta yetersiz kaldığından dolayı bu tercih yapılmıştır. Bu modelleme yöntemiyle sistemin histeretik davranışı daha gerçekçi bir biçimde temsil edilmiştir.



Şekil 6.3: BÖÇÇ modellerinde link eleman tanımları.

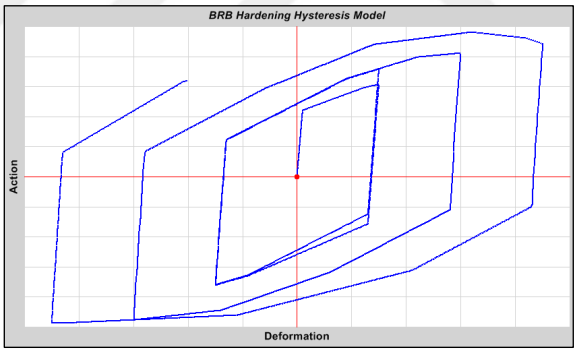
Nonlineer davranış sadece eksenel yönde (U1) tanımlanmış ve kesme, burulma veya moment talepleri ihmal edilmiştir. Bu tanım, BRB sistemlerinin özellikle çapraz elemanlardaki eksenel kuvvet sönümlemesi üzerine odaklanmasından kaynaklanmaktadır.

Tüm BRB tiplerinde (A,B,C,D,E,F,G), 6 inç² çekirdek alanına sahip, S235 malzeme kalitesinde ve aynı kesit özelliklerine sahip link elemanlar kullanılmıştır. Düşük dayanımlı çelik seçimi, daha düşük kuvvetlerde akma davranışını tetikleyerek yapıya erken evrede enerji tüketme kapasitesi kazandırmayı hedeflemiştir. Elastisite modülü 200.000 MPa, rijitlik düzeltme faktörü (KF) ise 1.45 olarak kabul edilmiştir. Rijitlik

düzeltme faktörü, deneysel veriler ve literatürdeki ortalama değerlerden yararlanılarak belirlenmiştir.

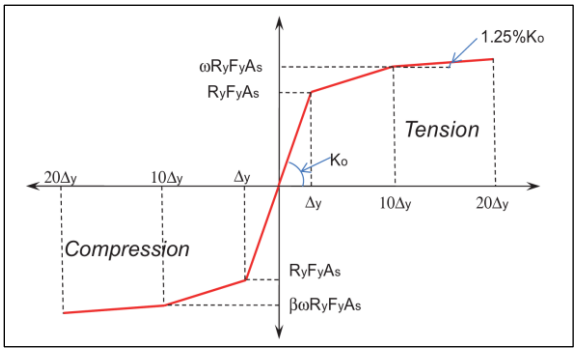
Modellemede kullanılan çoklu doğrusal (multilinear) kuvvet-yer değişimi ilişkisi, geleneksel bilinear(çift doğrusal) yaklaşım yerine üç bölgeli (trilinear) backbone eğrisi şeklinde tanımlanmıştır. Backbone eğrisi, yapının monoton yükleme altında göstereceği kuvvet-yer değişimi ilişkisini tanımlayan temel eğridir ve plastik davranışın simetrik ya da asimetrik şekilde modellenmesine olanak tanır. Bu eğri, histeretik davranışların tanımlanmasında referans kabul edilir.

Çekme ve basınç yönleri için simetrik davranış varsayılmış, akma ötesi dayanım artışı (strain hardening) parametreleri her iki yön için de aynı tanımlanmıştır. Bu parametreler, üretici firmalardan elde edilen veriler ve literatürdeki önceki çalışmalardan elde edilen ortalama değerler ile belirlenmiştir. Bir elemanın plastik şekil değiştirmeden sonra kuvvet taşıma kapasitesinde artış göstermesidir. Elastik sınır aşıldıktan sonra gerilme-şekil değişimi eğrisinin yukarı yönülü olarak devam etmesi olarak da tanımlanabilir.



Şekil 6.4: BÖÇÇ elemanlarında pekleşmeli çevrimsel davranış diyagramı.

BRB elemanların yerleşim açıları ve uzunlukları güçlendirme tipi bazında farklılık gösterdiği için, her bir link eleman ayrı ayrı tanımlanmıştır. Bu farklılıklar, kuvvet talebi ve rijitlik üzerinde doğrudan etkili olduğundan modelleme aşamasında dikkate alınmıştır. BRB elemanların çalışma uzunlukları (working length veya L_{wp}), teorik olarak hesaplanan uzunluklardır. Betonarme taşıyıcı sistemle olan rijit bağlantılar nedeniyle, modeldeki toplam eleman uzunluğu daha büyük görünse de gerçekte çalışan uzunluk bu bağlantılara göre kısaltılmıştır. Çekirdek uzunluğu ise bu çalışma uzunluğunun (L_{wp}) %60'ı olarak kabul edilmiştir.



Şekil 6.5: BÖÇÇ elemanlarında omurga (backbone) eğrisi **[34]**.

Link elemanların multilinear eğri tanımında R_y, çelik elemanın gerçek davranışını daha doğru modelleyebilmek amacıyla kullanılır ve çelik malzemesinin gerçek akma dayanımının nominal akma dayanımına oranını ifade eder. Hesaplamalarda R_y=1.10 olarak dikkate alınarak, yapının gerçek davranışını yansıtmada daha doğrusal olmayan ve enerji tüketici bir profil sunmasını sağlamaktadır.

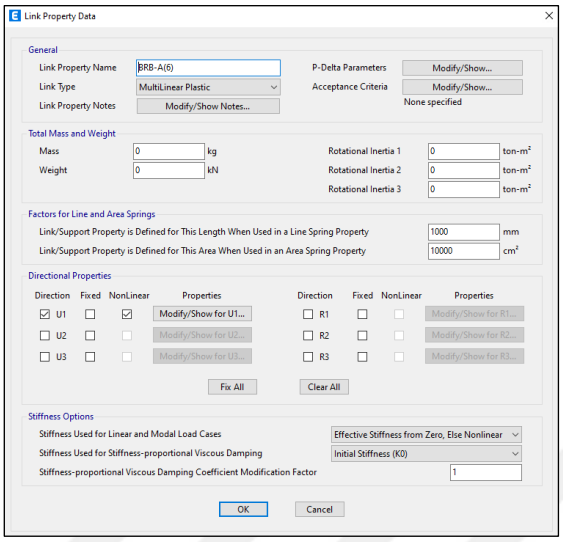
BRB elemanın multilineer omurga eğrisinin tanımında kullanılan ω ve β katsayılarının hesabı için %2.00 göreli kat ötelenmesi (story drift) dikkate alınmıştır.

Tablo 6.1: BÖÇÇ elemanlarına ait kabul edilen hesap parametreleri.

Geometrical Prop. and Overstrenght Factors of BRB Elements A_{sc}=6 in^2								
BRB Type	H	W	L_{wp}	L_{sc} (0.6*L_{wp})	H/W	$\varepsilon_{\%2}$	Overstrength Factors (Pinned Con.)	
	mm	mm	mm	mm	-	-	ω	β
BRB-A(6)	3000	3375	4,515.6	2,709.4	0.89	1.66%	1.42	1.25
BRB-B(6)	4000	3375	5,233.6	3,140.2	1.19	1.65%	1.42	1.25
BRB-C(6)	3000	6750	7,386.6	4,432.0	0.44	1.24%	1.33	1.21
BRB-D(6)	4000	6750	7,846.2	4,707.7	0.59	1.46%	1.38	1.23
BRB-E(6)	3000	4750	5,618.1	3,370.9	0.63	1.51%	1.39	1.23
BRB-F(6)	4000	4750	6,209.9	3,725.9	0.84	1.65%	1.42	1.25
BRB-G(6)	2000	2000	2,828.4	1,697.0	1.00	1.68%	1.42	1.25

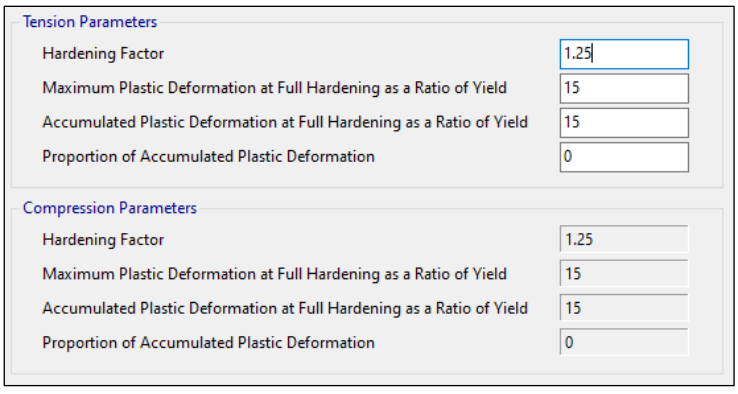
Histeretik model olarak ETABS içerisinde "BRB Hardening" tipi seçilmiştir. Bu model, plastik şekil değiştirme ile birlikte artan dayanım davranışını (hardening) yansıtmakta olup, backbone eğrisinin çevrimsel yükleme sürecinde genliğini artırmasına olanak tanır. Kinematik histeretik modele benzer bir temel üzerine kurulu olan bu model, BRB elemanların karakteristik enerji sönümleme kabiliyetini doğru bir şekilde simüle eder. Model, pozitif ve negatif yönde yükleme-eğrisinin maksimum

şekil değiştirme değerine ulaştığı noktaya kadar backbone eğrisine geri dönen bir histerezis döngüsü çizer.



Şekil 6.6: BÖÇÇ modellerinde link eleman tanımları.

Hardening (pekleşme), bir malzemenin elastik sınırını aşıp plastik deformasyona uğradıktan sonra dayanımının artmaya devam ettiği mekanik davranış biçimidir. Bu davranış, özellikle sünek malzemelerde görülür ve yapısal elemanların enerji tüketme kapasitesine doğrudan etki eder. Malzemenin akma noktasını geçtikten sonraki kısmı, gerilme–şekil değiştirme eğrisinde tanımlanarak çeşitli hardening modelleri ile temsil edilir. Bu analizlerde "BRB Hardening" kullanılmıştır. Aşağıda üretici firmaların dokümanlarının ve literatürdeki bazı çalışmaların ortalamasına göre belirlenen ve link özelliklerine tanımlanan pekleşme parametrelerine ait kabuller sunulmuştur.



Şekil 6.7: BÖÇÇ link elemanlarında pekleşme parametreleri.

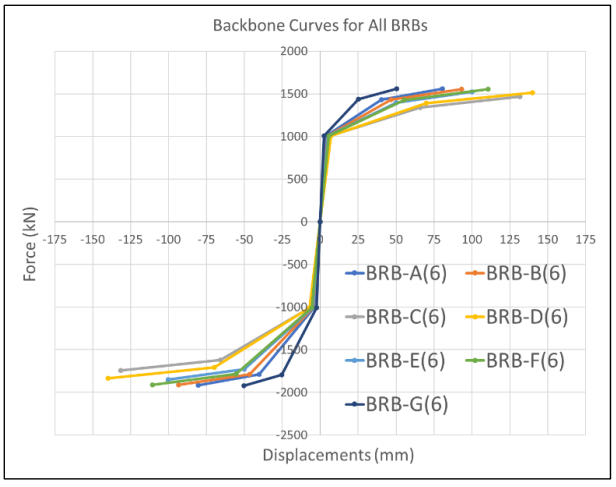
BÖÇÇ (BRB) elamanlarının analiz modellerine tanımlanabilmesi için bazı ön hesaplamalara ve bilgilere ihtiyaç vardır. Aşağıda BRB elemanların tanımında kullanılan rijitlik, akma deplasmanı, akma kuvveti vb. gibi bazı bilgilere ait hesap tabloları sunulmuştur.

Tablo 6.2: BÖÇÇ elemanlarına ait kabul edilen hesap parametreleri.

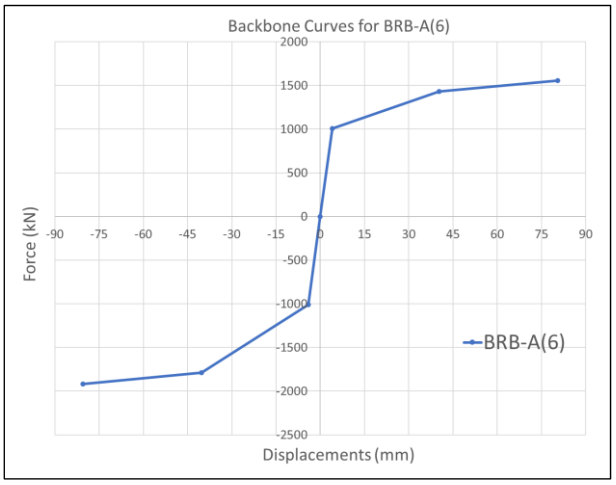
BRB Type	f_y	A_{sc}	F_y	$Ry*F_y$	$\omega*Ry*F_y$	$\beta*\omega*Ry*F_y$	K_{sc_wp}	$KF_{presumed}$	K_{eff}	Δ_y	$10*(\Delta_y)$	$20*(\Delta_y)$
	MPa	in^2	kN	kN	kN	kN	kN/mm	-	kN/mm	mm	mm	mm
BRB-A(6)	235	6	916.50	1,008.15	1,430.71	1,789.88	172.7	1.45	250.5	4.03	40.25	80.50
BRB-B(6)				1,008.15	1,429.18	1,786.90	149.0		216.1	4.67	46.65	93.30
BRB-C(6)				1,008.15	1,341.40	1,618.95	105.6		153.1	6.58	65.84	131.69
BRB-D(6)				1,008.15	1,388.89	1,708.86	99.4		144.1	6.99	69.94	139.88
BRB-E(6)				1,008.15	1,397.87	1,726.12	138.8		201.3	5.01	50.08	100.16
BRB-F(6)				1,008.15	1,427.69	1,783.98	125.6		182.1	5.54	55.35	110.71
BRB-G(6)				1,008.15	1,433.88	1,796.09	275.8		399.9	2.52	25.21	50.42

Tablo 6.3: BÖÇÇ elemanlarına ait omurga (backbone) eğrisi değerleri.

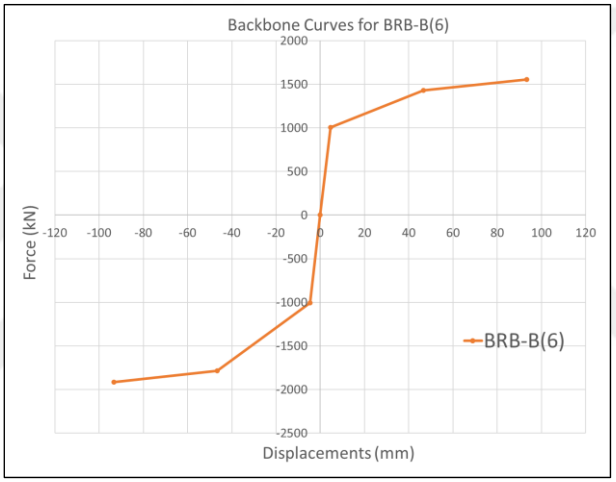
Multilinear Force-Displacement Relation Points														
Point	BRB-A(6)		BRB-B(6)		BRB-C(6)		BRB-D(6)		BRB-E(6)		BRB-F(6)		BRB-G(6)	
	Δ (mm)	F (kN)	Δ (mm)	F (kN)	Δ (mm)	F (kN)	Δ (mm)	F (kN)	Δ (mm)	F (kN)	Δ (mm)	F (kN)	Δ (mm)	F (kN)
1	80.50	1557	93.30	1555	131.69	1467	139.88	1515	100.16	1524	110.71	1554	50.42	1560
2	40.25	1431	46.65	1429	65.84	1341	69.94	1389	50.08	1398	55.35	1428	25.21	1434
3	4.03	1008	4.67	1008	6.58	1008	6.99	1008	5.01	1008	5.54	1008	2.52	1008
4	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0
5	-4.03	-1008	-4.67	-1008	-6.58	-1008	-6.99	-1008	-5.01	-1008	-5.54	-1008	-2.52	-1008
6	-40.25	-1790	-46.65	-1787	-65.84	-1619	-69.94	-1709	-50.08	-1726	-55.35	-1784	-25.21	-1796
7	-80.50	-1916	-93.30	-1913	-131.69	-1745	-139.88	-1835	-100.16	-1852	-110.71	-1910	-50.42	-1922



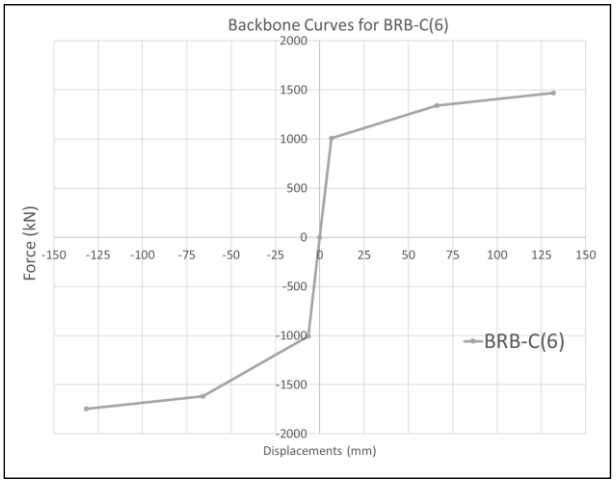
Şekil 6.8: BÖÇÇ elemanlarının çok doğrultulu kuvvet-deplasman eğrileri.



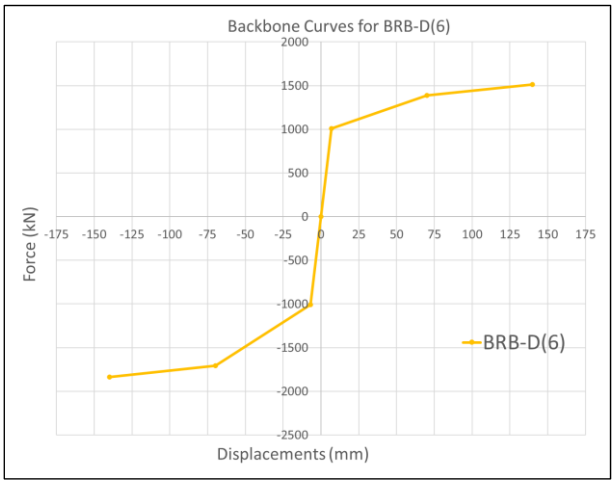
Şekil 6.9: BÖÇÇ elemanının çok doğrultulu kuvvet-deplasman eğrisi.



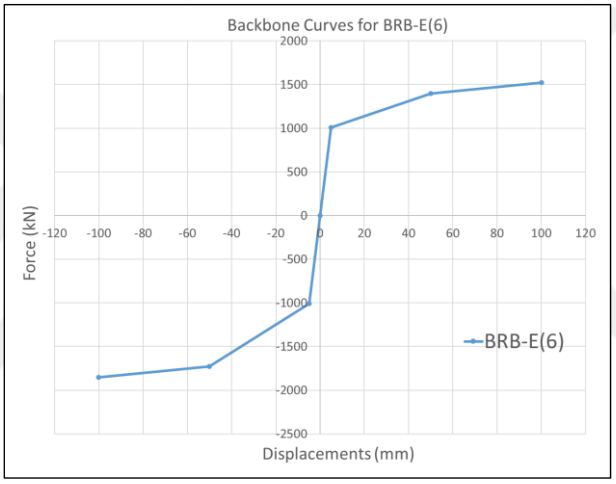
Şekil 6.10: BÖÇÇ elemanının çok doğrultulu kuvvet-deplasman eğrisi.



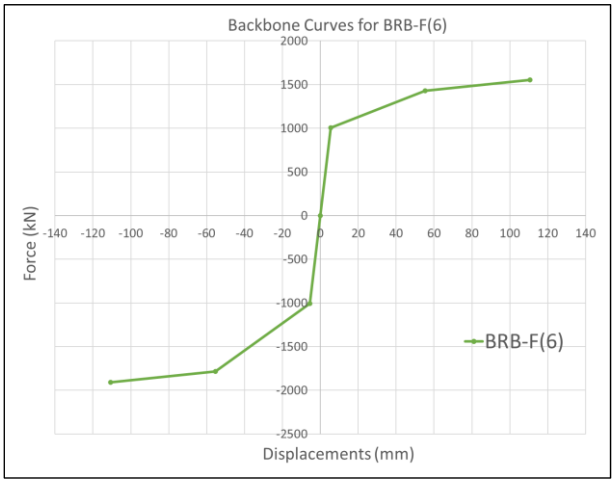
Şekil 6.11: BÖÇÇ elemanının çok doğrultulu kuvvet-deplasman eğrisi.



Şekil 6.12: BÖÇÇ elemanının çok doğrultulu kuvvet-deplasman eğrisi.



Şekil 6.13: BÖÇÇ elemanının çok doğrultulu kuvvet-deplasman eğrisi.



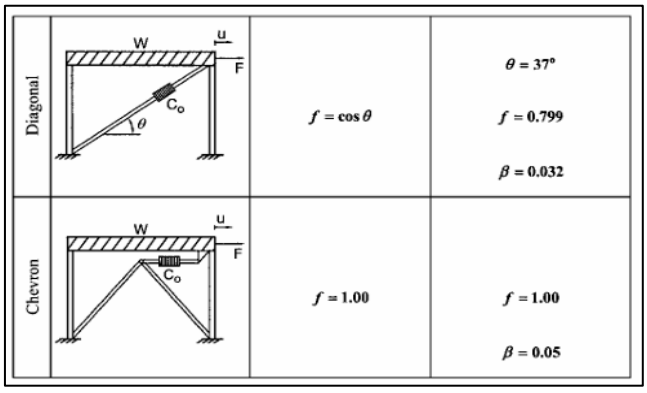
Şekil 6.14: BÖÇÇ elemanının çok doğrultulu kuvvet-deplasman eğrisi.

6.2.2. BÖÇÇ (BRB) ile Güçlendirme Tipleri

Burkulması önlenmiş çelik çaprazlar (BÖÇÇ), mevcut yapıların sismik performansını iyileştirmek amacıyla farklı geometrik konfigürasyonlarla uygulanabilen etkili bir güçlendirme elemanıdır. Bu elemanlar, yapıya hem süneklik hem de enerji sönümleme kapasitesi kazandırırken, uygulandıkları yerleşim düzenine bağlı olarak rijitlik, kuvvet dağılımı ve şekil değiştirme kapasiteleri üzerinde farklı etkiler yaratmaktadır. Literatürde ve uygulamada en yaygın kullanılan yerleşim tipleri arasında "V tipi", "ters V (inverted V) tipi" ve "Knee tipi" gibi düzenlemeler yer almakta olup, her biri yapının mimari ve taşıyıcı sistem özelliklerine göre avantaj ve sınırlamalar barındırır. Bu bölümde, söz konusu yerleşim düzenleri değerlendirilerek, hem yapısal davranış üzerindeki etkileri hem de uygulama açısından dikkate alınması gereken hususlar detaylandırılacaktır.

Michael C. Constantinou ve ekip arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda standart diyagonel veya ters "V" çaprazlı viskoz sönümleyicilerin içsel deplasmanları yapısal taşıyıcı sistemin kat deplasmanına çok yakın veya daha azdır. Bu sebeple viskoz sönümleyicilerin kapasitelerinin tamamını kullanabilmeleri için, yapısal sistemin belli bir deplasmana ulaşabilmesi gerekmektedir. **[40]**

Michael C. Constantinou' nun yaptığı çalışmalardan yola çıkarak, çapraz konfigürasyon seçiminin ne kadar önemli ve performansı belirleyen bir kriter olduğu anlaşılmaktadır. Aşağıda standart diyagonal çapraz ile ters "V" şekilli çapraz sistemlerinin çerçeveye göre deplasman ve sönümleme faktörlerini ifade eden görsel sunulmuştur.



Şekil 6.15: Farklı konfigürasyonlarda deplasman ve sönüm faktörleri. **[40]**

6.2.2.1. Ters “V” Çapraz Düzeni(GY_BRB_T1)

Çerçeve içerisindeki çapraz elemanların iki yandan eğilerek tepede birleştirilmesiyle oluşturulan ters “V” düzenindeki BÖÇÇ (BRB) elemanlar uygulamada sıklıkla kullanılmaktadır.



Şekil 6.16: Los Angeles adliyesinin çatı katında BRB imalatı **[35]**.

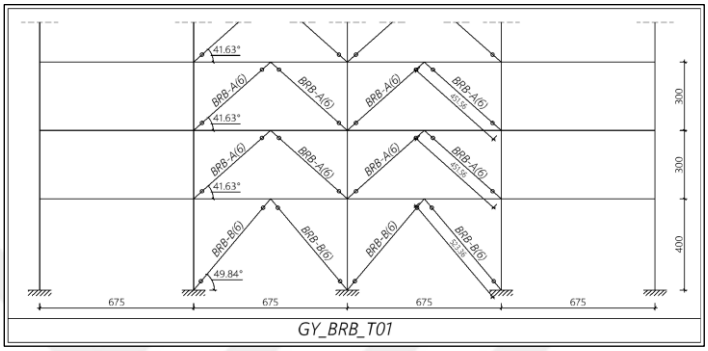
Simetrik geometride olduklarından, yatay yüklerden oluşan çekme ve basınç kuvvetlerini kendi aralarında simetrik olarak aktarabilirler. Aynı zamanda bu simetrik ve çerçeve açıklığının ortasında birleşen yerleşim tipi sayesinde çapraz elemanların boyu kısa tutulduğundan, daha etkili enerji sönümlemelerinin yanı sıra üretim, maliyet, taşıma gibi mali avantajları da mevcuttur.Merkezdeki boşluğa etki etmedikleri için, mimari mahalere de kolayca entegre edilebilir.

Ancak bağlandıkları kirişlerin orta noktalarında öngörülmemiş kesme ve eksenel kuvvetler oluşturabileceklerinden, bu kirişlerin de BÖÇÇ (BRB) tasarımı ve uygulaması sırasında gerekli kapasiteye ulaştırılması gerekmektedir. Aksi halde BÖÇÇ elemanlarının diyaframdan yük alma kapasitelerinde ciddi kayıplar oluşabilmektedir.

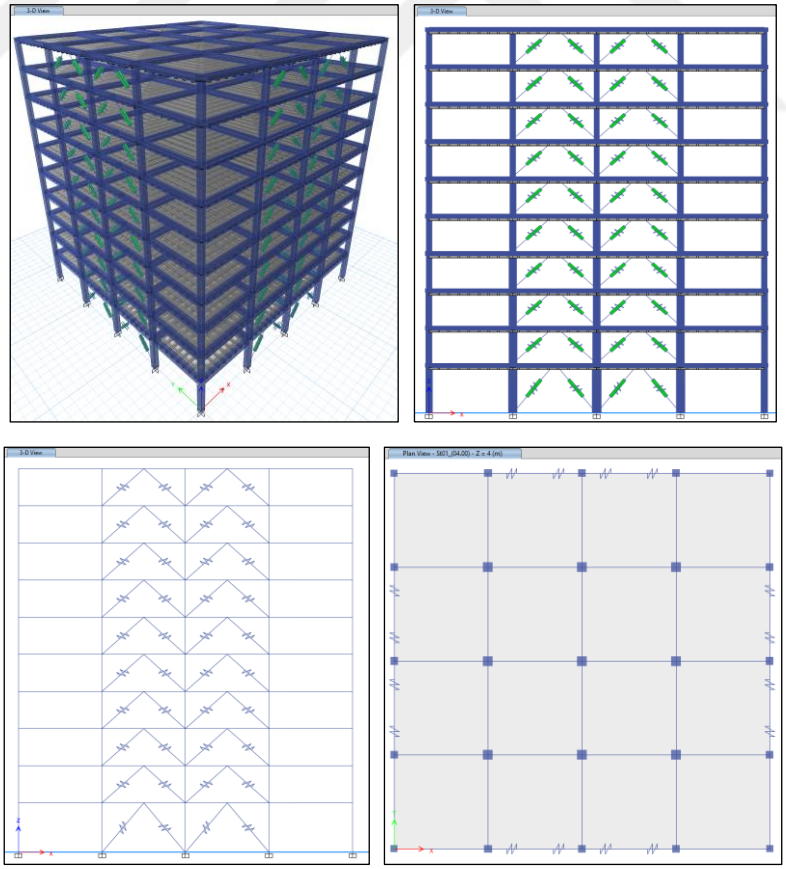
Bu yerleşim düzenine sahip çapraz elemanların çok geniş veya çok dar açıklıklarda uygulanması efektif değildir. Örneğin çok geniş açıklıklarda profil uzunluğu arttığından, çok dar açılarda da profilin yatayla yaptığı açı büyüyeceğinden dolayı çapraz elemanlar yapıya öngörülen yatay yük taşıma kapasitesi katkısını sağlamayabilirler.

Ters “V” düzenine sahip çapraz yerleşimleri yatay eksene 30° ~45° açı aralığına yakın tasarlandığında, çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesine önemli seviyelerde katkı sunabilmektedir. Daha dik açılarda yatay bileşenin etkisi azalmaktadır.

Aşağıda bu araştırma kapsamında kullanılan ters “V” düzenindeki çapraz elemanlara ait şematik bir çizim ve analizlerde bu güçlendirme yönteminin dikkate alındığı analiz modelinin görünümleri sunulmuştur.



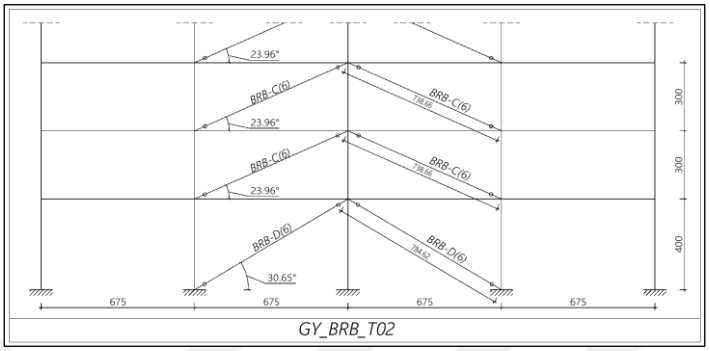
Şekil 6.17: Ters “V” düzeni şematik kesiti (GY_BRB_T1).



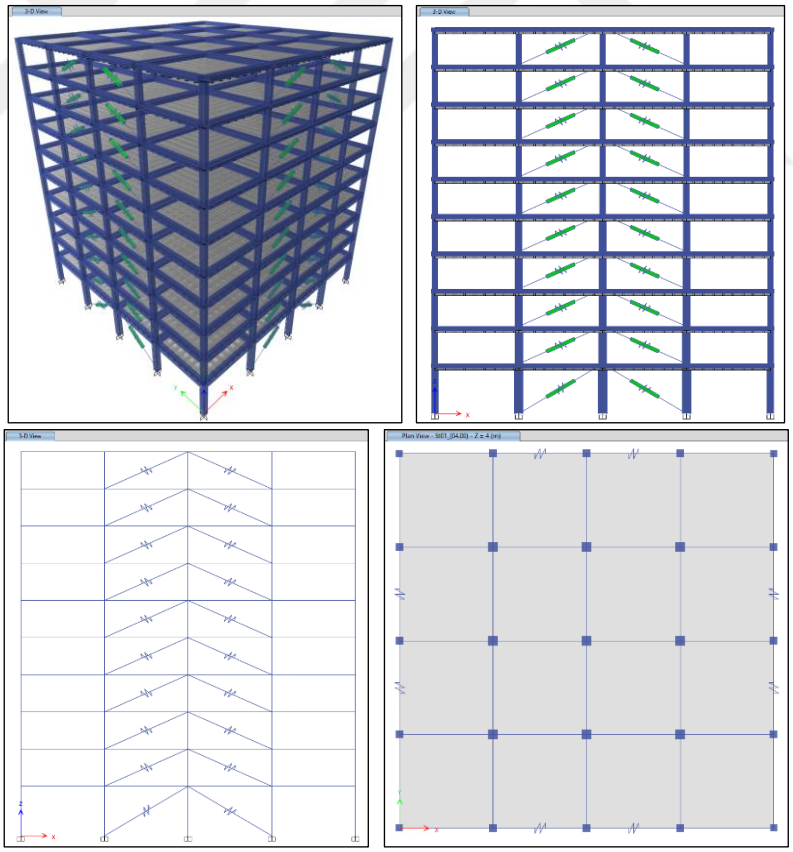
Şekil 6.18: ETABS modeline ait 3B, kesit ve plan görünümleri (GY_BRB_T1).

6.2.2.2. Basit Tekil Çapraz Düzeni (GY_BRB_T2)

Aşağıda bu araştırma kapsamında kullanılan basit çapraz düzenindeki güçlendirme elemanlarına ait şematik bir çizim ve analizlerde bu güçlendirme yönteminin dikkate alındığı analiz modelinin görünümleri sunulmuştur.



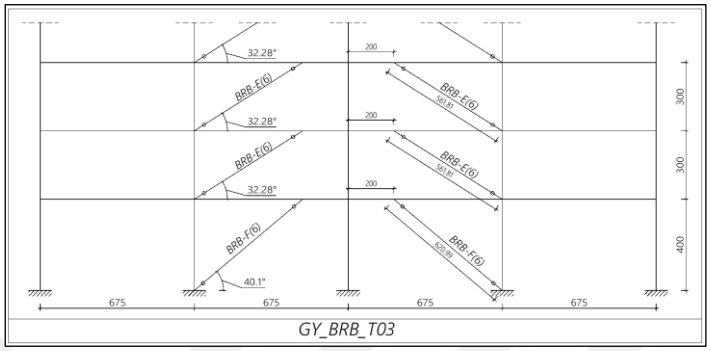
Şekil 6.19: Basit çapraz düzeni şematik kesiti (GY_BRB_T2).



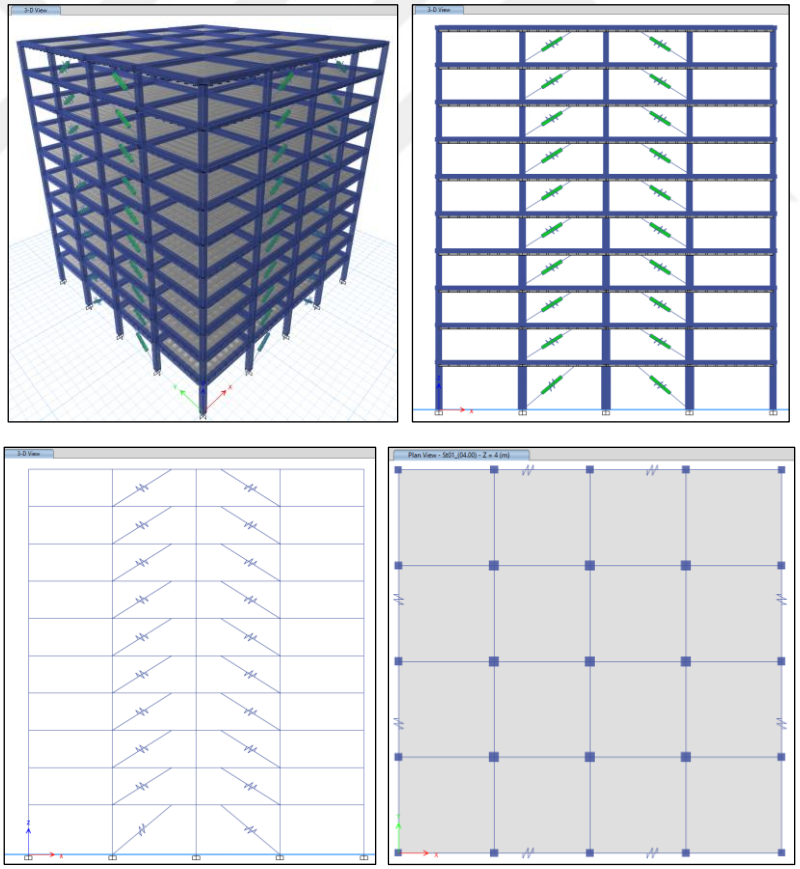
Şekil 6.20: ETABS modeline ait 3B, kesit ve plan görünümleri (GY_BRB_T2).

6.2.2.3. Eksantrik Çapraz Düzeni (GY_BRB_T3)

Aşağıda bu araştırma kapsamında kullanılan eksantrik çapraz düzenindeki güçlendirme elemanlarına ait şematik bir çizim ve analizlerde bu güçlendirme yönteminin dikkate alındığı analiz modelinin görünümleri sunulmuştur.



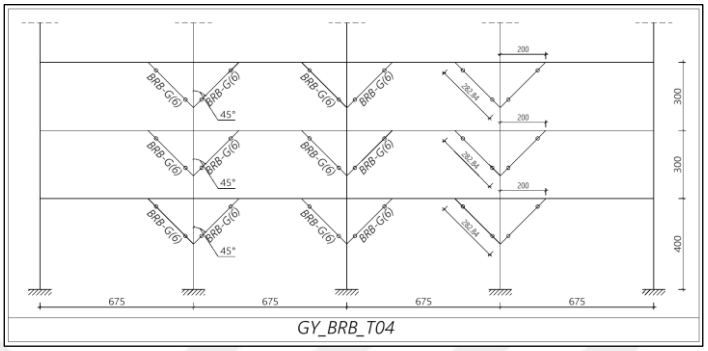
Şekil 6.21: Eksantrik çapraz düzeni şematik kesiti (GY_BRB_T3).



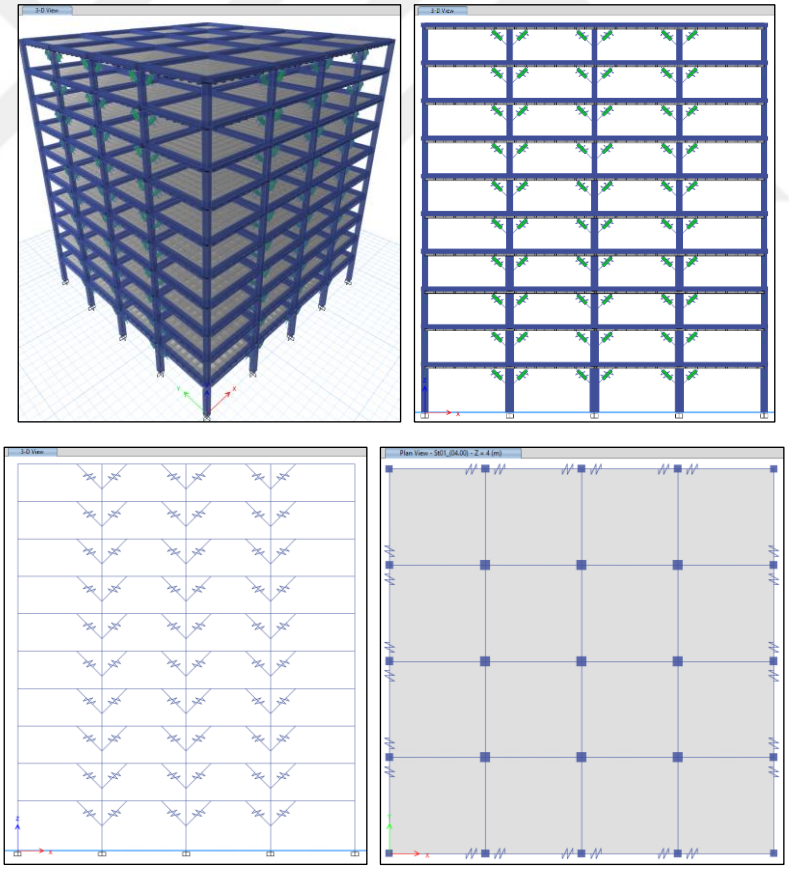
Şekil 6.22: ETABS modeline ait 3B, kesit ve plan görünümleri (GY_BRB_T3).

6.2.2.4. Çapraz Dirsek Düzeni (GY_BRB_T4)

Aşağıda bu araştırma kapsamında kullanılan çapraz dirsek (knee bracing) düzenindeki güçlendirme elemanlarına ait şematik bir çizim ve analizlerde bu güçlendirme yönteminin dikkate alındığı analiz modelinin görünümleri sunulmuştur.



Şekil 6.23: Çapraz dirsek düzeni şematik kesiti (GY_BRB_T4).



Şekil 6.24: ETABS modeline ait 3B, kesit ve plan görünümleri (GY_BRB_T4).

6.3. Sismik Taban Yalıtımı ile Güçlendirme

Günümüzde, mevcut yapıların depreme karşı dayanıklılığını artırmak amacıyla uygulanan yöntemlerden biri de sismik izolasyon sistemlerinin yapıya entegre edilmesidir. Sismik izolatörler, yapı ile zemin arasına yerleştirilerek deprem sırasında oluşan yatay yer hareketlerini yapıya doğrudan iletmeden, belirli ölçüde absorbe eden sistemlerdir. Bu sistemlerin temel prensibi, yapının doğal periyodunu uzatarak depremle aynı frekansta salınmasını engellemek ve böylece yapı üzerindeki ivme ve kuvvet taleplerini azaltmaktır. Özellikle kritik kullanım yapıları, tarihi yapılar ve mevcut rijitliği yetersiz olan binalar için bu sistemler etkili bir koruma sağlamaktadır.

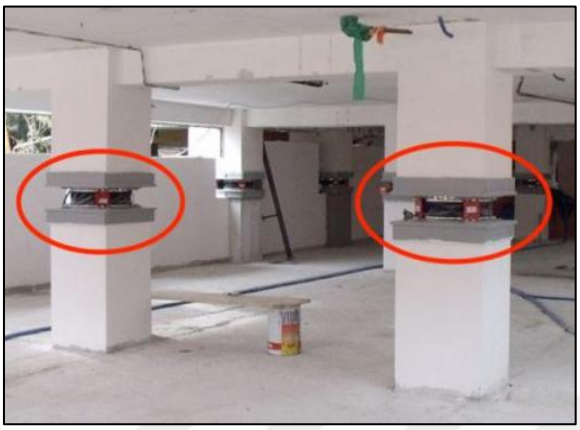
Deprem sırasında zemin, kısa periyotlu ve yüksek ivmeli hareketlerle titreşir. Eğer yapı doğrudan temele oturuyorsa, bu hareketlerin etkisiyle yapı elemanlarında büyük iç kuvvetler oluşabilir ve bu da hasar riskini artırır. Sismik izolatörler, zemin hareketi ile yapı arasına esnek bir ara katman oluşturarak bu enerjinin yapıya doğrudan aktarılmasını engeller. Aynı zamanda, sistemin sönüm kapasitesi sayesinde sismik enerjinin bir kısmı dağılır veya yönü değiştirilir. Bu durum, yapının daha düşük ivmelere maruz kalmasını sağlayarak hem taşıyıcı sistemde hem de yapının içindeki donanımda hasar oluşma olasılığını azaltır.



Şekil 6.25: Mevcut binaya sismik izolatör eklenmesi (Ülker Mühendislik).

Mevcut yapılarda sismik izolasyon uygulamaları genellikle temel seviyesinde gerçekleştirilir ve çoğu durumda yapının alt katlarının güçlendirilmesiyle birlikte yürütülür. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler (LRB), yüksek sönümlü kauçuk izolatörler (HDRB) ve sürtünmeli sarkaç tipi izolatörler (FPS) yaygın olarak tercih edilen sistemler arasındadır. Her bir izolatör tipi, sönüm kapasitesi, yer değiştirme

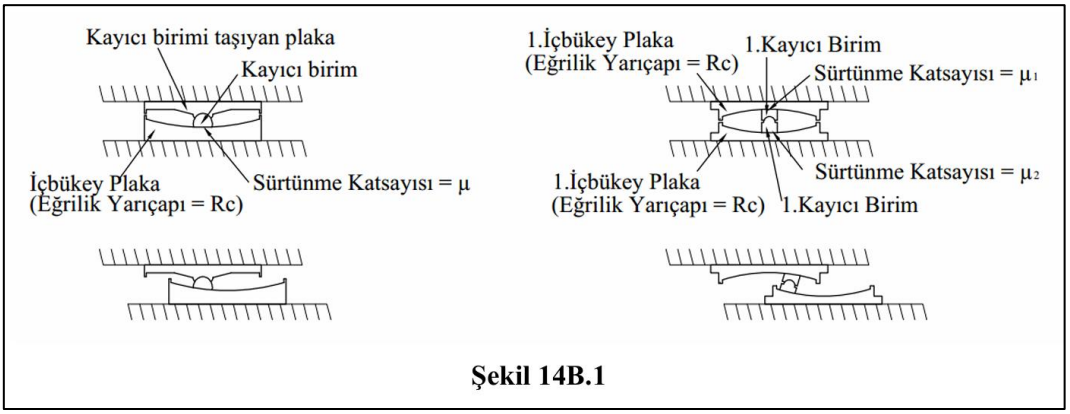
sınırı ve bakım ihtiyacı gibi açılardan farklı avantajlara ve sınırlamalara sahiptir. Uygulama öncesinde yapının mevcut durumu, kullanım amacı ve mimari düzeni dikkate alınarak uygun izolatör tipi belirlenmelidir.



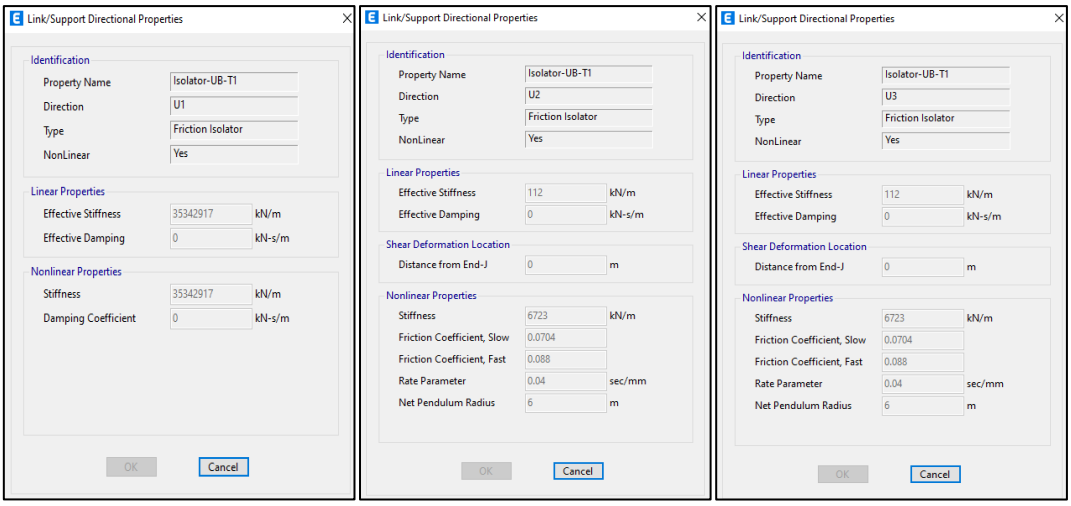
Şekil 6.26: Mevcut binada kat ortasına sismik izolatör eklenmesi.

Sonuç olarak, sismik izolasyon sistemleri, yapıların deprem performansını artırmak amacıyla uygulanan etkili yöntemlerden biridir. Bu sistemlerin mevcut yapılara entegre edilmesi, doğru mühendislik tasarımı ve uygun yapım süreci ile birleştirildiğinde, yapının hem yapısal hem de işlevsel sürekliliğini güvence altına alabilir. Ancak uygulamanın teknik, ekonomik ve mimari yönleri birlikte değerlendirilerek karar verilmesi, uzun vadeli başarı açısından büyük önem taşır.

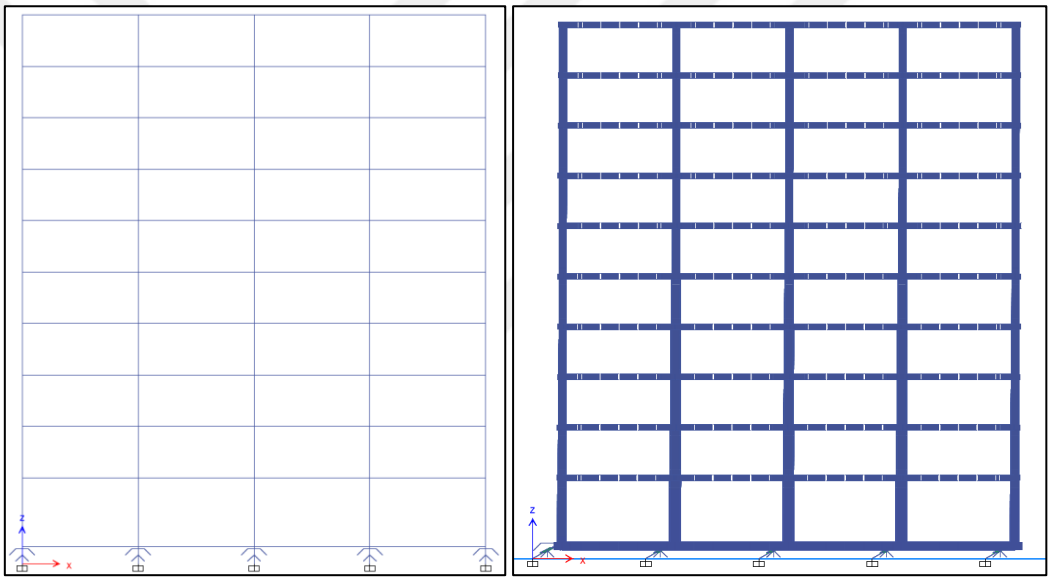
Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen izolatörlü güçlendirme yönteminde sarkaç tipi eğri yüzeyli sürtünmeli izolatör (friction pendumum isolator) kullanılmıştır.



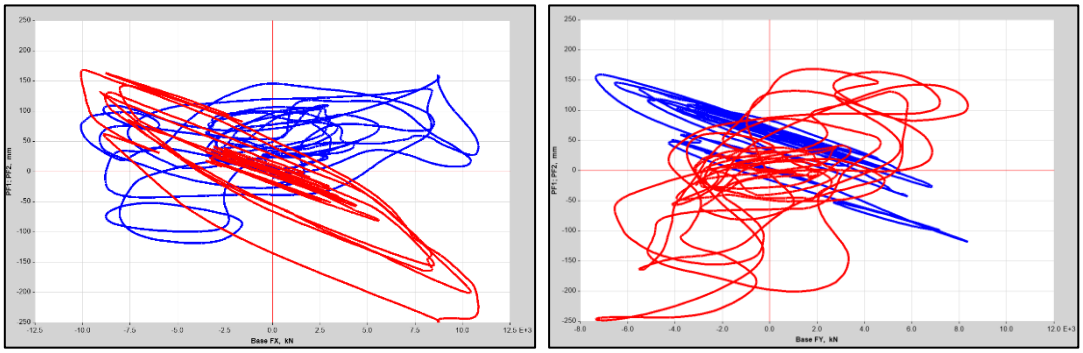
Şekil 6.27: TBDY2018 eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimi kesitleri.



Şekil 6.28: Yapı için hesaplanan ETABS izolatör link özellikleri.



Şekil 6.29: ETABS analiz modeli izolatör deplasmanı.



Şekil 6.30: ETABS "K1" linki analiz modeli izolatör deplasmanı.

7. GÜÇLENDİRME SONUÇLARI

7.1. Güçlendirmesiz Model Sonuçları

7.1.1. Referans Model, RM (Güçlendirmesiz) Sonuçları

7.1.1.1. Modal Özellikler

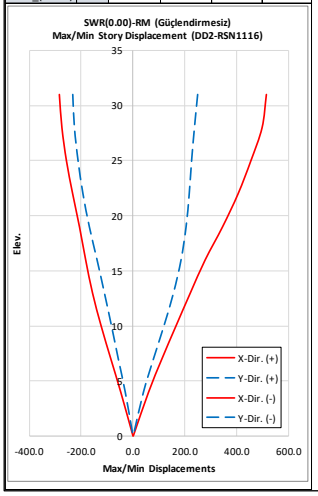
Tablo 7.1: ETABS modal analizde kütle katılım oranları ve periyotlar.

Modal Participating Mass Ratios (RM)					
Case	**Mode**	**Period**	**UX**	**UY**	**RZ**
Modal	1	2.063	0.8034	0.0000	0.0018
Modal	2	2.052	0.0000	0.8056	0.0000
Modal	3	1.841	0.0018	0.0000	0.8134
Modal	4	0.688	0.1058	0.0000	0.0002
Modal	5	0.685	0.0000	0.1058	0.0000
Modal	6	0.609	0.0002	0.0000	0.1022
Modal	7	0.39	0.0390	0.0000	0.0001
Modal	8	0.389	0.0000	0.0390	0.0000
Modal	9	0.349	0.0001	0.0000	0.0377
Modal	10	0.262	0.0201	0.0000	0.0000

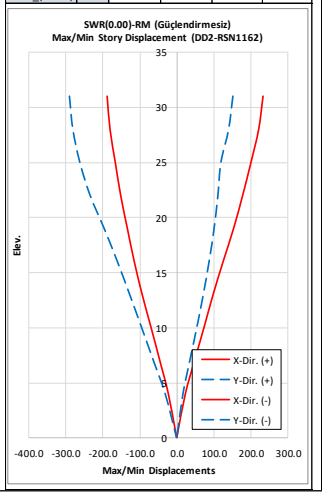
7.1.1.2. Mak. Kat Ötelenme Miktarları (Max. Story Displ.)

Tablo 7.2: ETABS analiz sonuçlarında maksimum kat ötelenme miktarları.

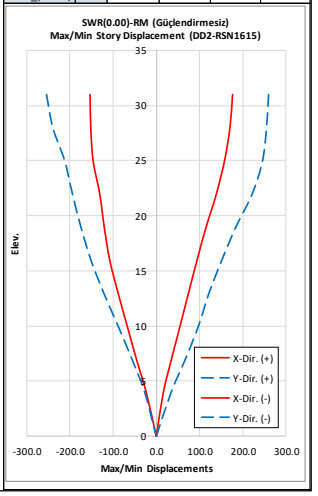
SWR(0.00)-ReferansModel, RM (Güçlendirmesiz)					
Max/Min Story Disp. (DD2-RSN1116)					
Story	Elev.	Max/Min Displacements			
		X-Dir. (+)	Y-Dir. (+)	X-Dir. (-)	Y-Dir. (-)
-	m	mm	mm	mm	mm
St10_(31.00)	31	514.1	247.8	-284.8	-232.3
St09_(28.00)	28	497.5	235.5	-274.9	-225.9
St08_(25.00)	25	454.4	224.5	-257.5	-211.9
St07_(22.00)	22	404.9	215.4	-233.4	-193.1
St06_(19.00)	19	344.9	203.3	-207.1	-168.4
St05_(16.00)	16	277.8	184.0	-183.1	-138.7
St04_(13.00)	13	220.6	154.9	-156.7	-110.4
St03_(10.00)	10	165.0	118.0	-123.2	-83.0
St02_(07.00)	7	110.5	77.7	-85.6	-56.7
St01_(04.00)	4	59.3	39.5	-47.5	-30.1
Base_(00.00)	0	0.0	0.0	0.0	0.0



SWR(0.00)-ReferansModel, RM (Güçlendirmesiz)					
Max/Min Story Disp. (DD2-RSN1162)					
Story	Elev.	Max/Min Displacements			
		X-Dir. (+)	Y-Dir. (+)	X-Dir. (-)	Y-Dir. (-)
-	m	mm	mm	mm	mm
St10_(31.00)	31	232.5	150.9	-187.5	-289.3
St09_(28.00)	28	220.8	139.5	-179.8	-280.1
St08_(25.00)	25	200.0	118.7	-165.6	-261.2
St07_(22.00)	22	177.6	110.6	-151.0	-233.5
St06_(19.00)	19	153.1	100.4	-133.0	-195.5
St05_(16.00)	16	124.9	86.9	-114.4	-159.9
St04_(13.00)	13	97.8	71.3	-92.9	-126.6
St03_(10.00)	10	73.2	53.8	-68.9	-94.3
St02_(07.00)	7	47.8	35.0	-45.3	-62.5
St01_(04.00)	4	23.1	16.7	-22.4	-30.9
Base_(00.00)	0	0.0	0.0	0.0	0.0



SWR(0.00)-ReferansModel, RM (Güçlendirmesiz)					
Max/Min Story Disp. (DD2-RSN1615)					
Story	Elev.	Max/Min Displacements			
		X-Dir. (+)	Y-Dir. (+)	X-Dir. (-)	Y-Dir. (-)
-	m	mm	mm	mm	mm
St10_(31.00)	31	177.2	260.0	-152.9	-253.4
St09_(28.00)	28	171.2	255.2	-151.2	-238.8
St08_(25.00)	25	158.6	246.0	-145.9	-211.5
St07_(22.00)	22	139.8	222.2	-130.6	-193.6
St06_(19.00)	19	115.9	184.4	-120.2	-174.1
St05_(16.00)	16	94.8	151.9	-107.5	-150.9
St04_(13.00)	13	74.9	122.0	-88.2	-121.2
St03_(10.00)	10	55.2	97.5	-67.1	-88.0
St02_(07.00)	7	35.3	67.3	-45.8	-56.1
St01_(04.00)	4	16.4	34.3	-23.2	-26.7
Base_(00.00)	0	0.0	0.0	0.0	0.0

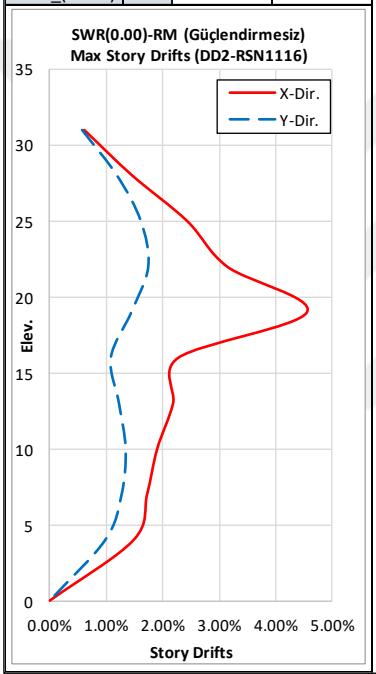


7.1.1.3. Maks. Göreli Kat Ötelenmesi Oranları (Max. Story Drifts)

Tablo 7.3: ETABS analiz sonuçlarında maksimum görelikat ötelenme oranları.

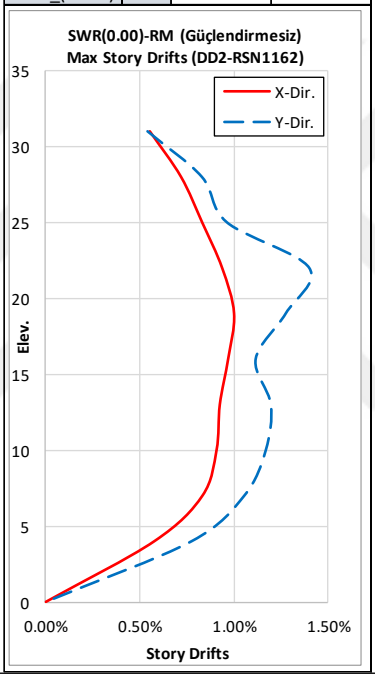
SWR(0.00)-RM (Güçlendirmesiz)
Max Story Drifts (DD2-RSN1116)

Story	Elev.	Story Drifts	
		X-Dir.	Y-Dir.
-	m	mm	mm
St10_(31.00)	31	0.61%	0.57%
St09_(28.00)	28	1.46%	1.20%
St08_(25.00)	25	2.43%	1.62%
St07_(22.00)	22	3.14%	1.75%
St06_(19.00)	19	4.55%	1.45%
St05_(16.00)	16	2.27%	1.09%
St04_(13.00)	13	2.18%	1.23%
St03_(10.00)	10	1.90%	1.35%
St02_(07.00)	7	1.72%	1.28%
St01_(04.00)	4	1.48%	0.99%
Base_(00.00)	0	0.00%	0.00%



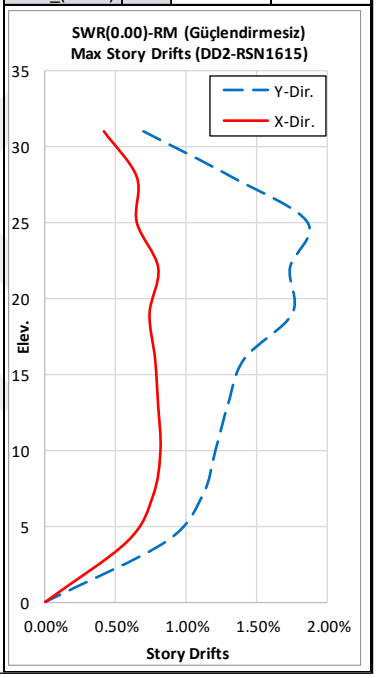
SWR(0.00)-RM (Güçlendirmesiz)
Max Story Drifts (DD2-RSN1162)

Story	Elev.	Story Drifts	
		X-Dir.	Y-Dir.
-	m	mm	mm
St10_(31.00)	31	0.55%	0.54%
St09_(28.00)	28	0.72%	0.83%
St08_(25.00)	25	0.83%	0.96%
St07_(22.00)	22	0.94%	1.40%
St06_(19.00)	19	1.00%	1.27%
St05_(16.00)	16	0.97%	1.11%
St04_(13.00)	13	0.93%	1.19%
St03_(10.00)	10	0.91%	1.17%
St02_(07.00)	7	0.83%	1.05%
St01_(04.00)	4	0.58%	0.77%
Base_(00.00)	0	0.00%	0.00%



SWR(0.00)-RM (Güçlendirmesiz)
Max Story Drifts (DD2-RSN1615)

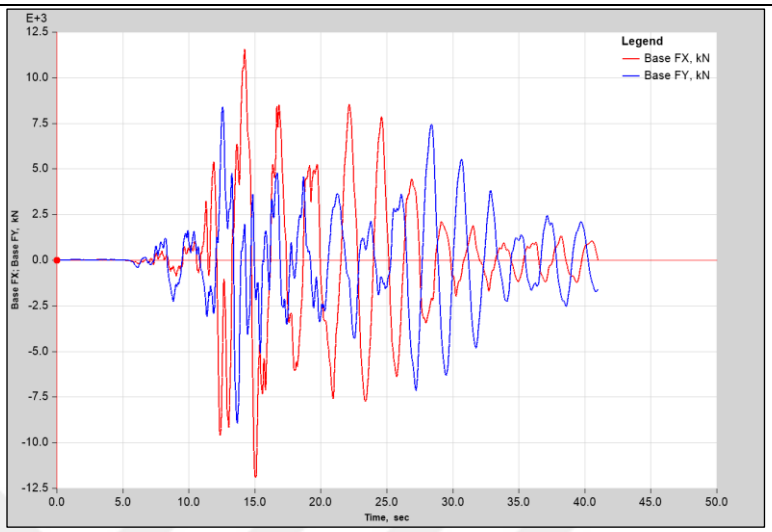
Story	Elev.	Story Drifts	
		X-Dir.	Y-Dir.
-	m	mm	mm
St10_(31.00)	31	0.41%	0.69%
St09_(28.00)	28	0.64%	1.32%
St08_(25.00)	25	0.64%	1.86%
St07_(22.00)	22	0.80%	1.73%
St06_(19.00)	19	0.73%	1.75%
St05_(16.00)	16	0.77%	1.41%
St04_(13.00)	13	0.79%	1.29%
St03_(10.00)	10	0.81%	1.21%
St02_(07.00)	7	0.76%	1.11%
St01_(04.00)	4	0.58%	0.86%
Base_(00.00)	0	0.00%	0.00%



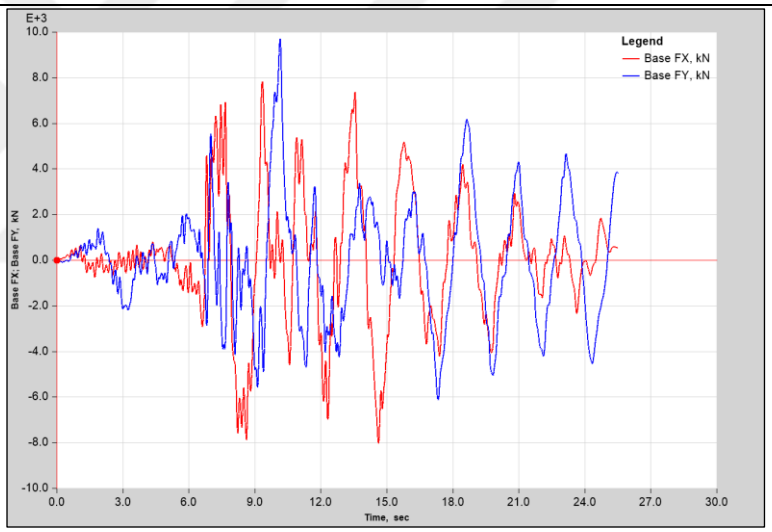
7.1.1.4. Zamana Bağlı Taban Kesme Kuv. (NLTHA Base Forces)

RM (Güçlendirmesiz) - Zamana Bağlı Taban Kesme Kuvvetleri

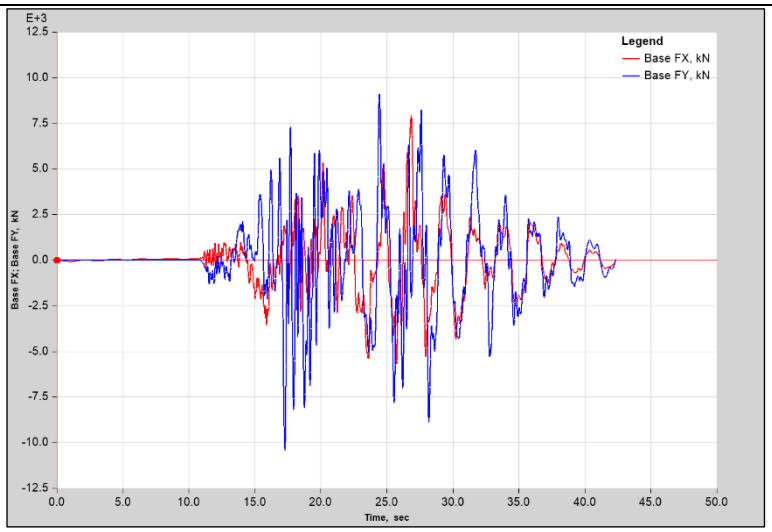
RSN1116



RSN1162

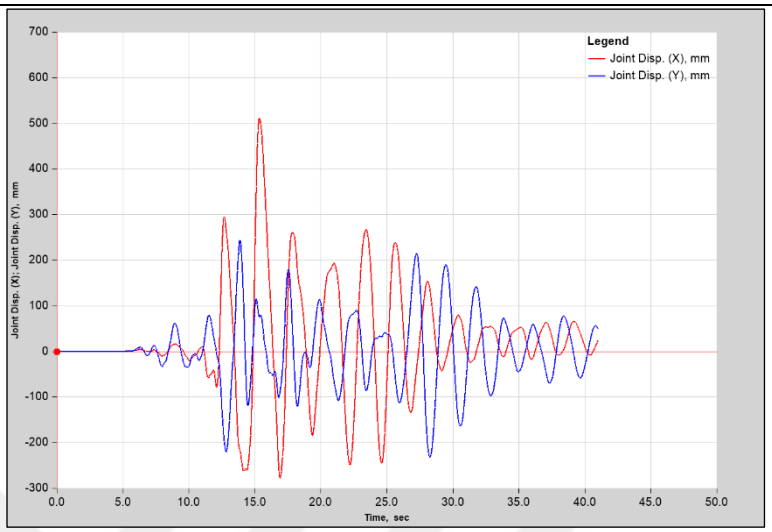
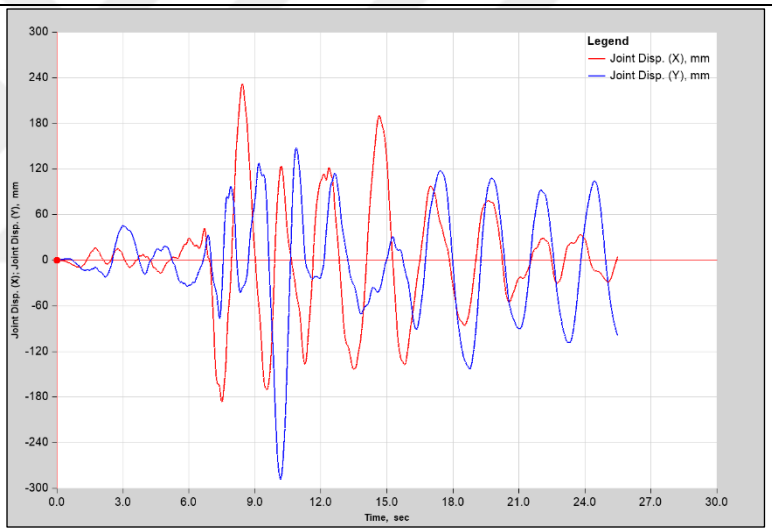
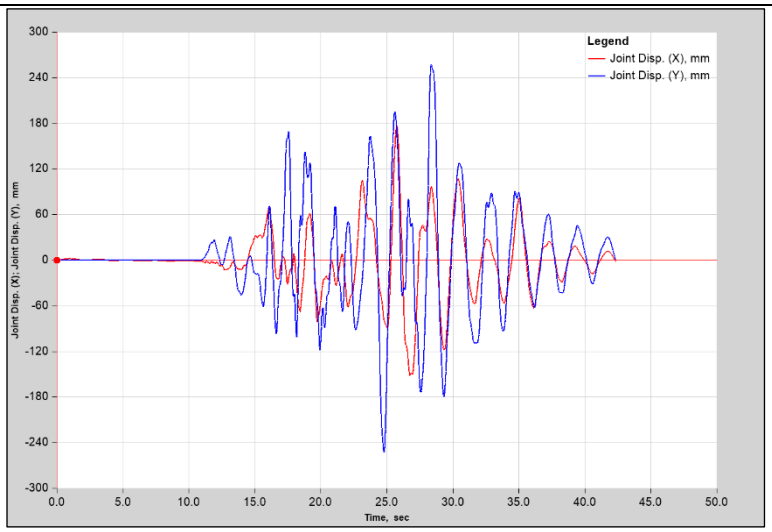


RSN1615



Şekil 7.1: Zamana bağlı taban kesme kuvvetleri.

7.1.1.5. Zamana Bağlı Tepe Yer Değiştirmeleri (NLTHA Roof Disp.)

RM (Güçlendirmesiz) - Zamana Bağlı Tepe Yerdeğiştirmeleri	
RSN1116	
RSN1162	
RSN1615	

Şekil 7.2: Zamana bağlı tepe yer değiştirmeleri.

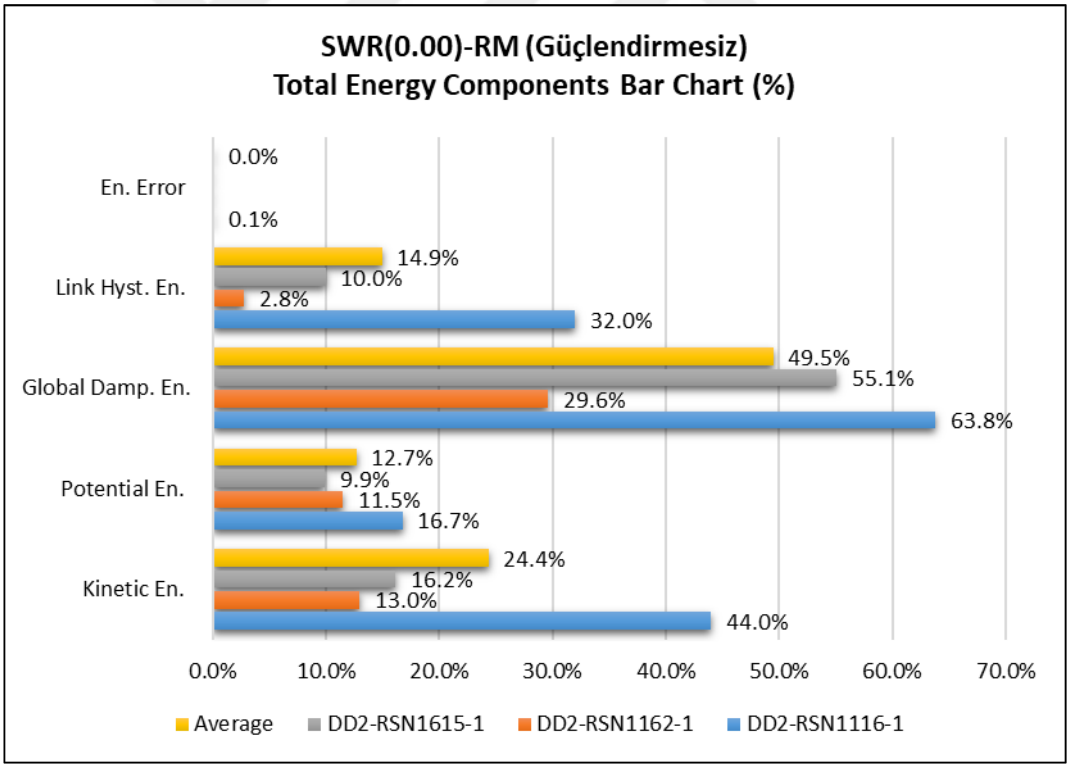
7.1.1.6. Toplam Enerji Bileşenleri (Total Energy Comp.):

Tablo 7.4: ETABS toplam enerji bileşenleri (kNm)

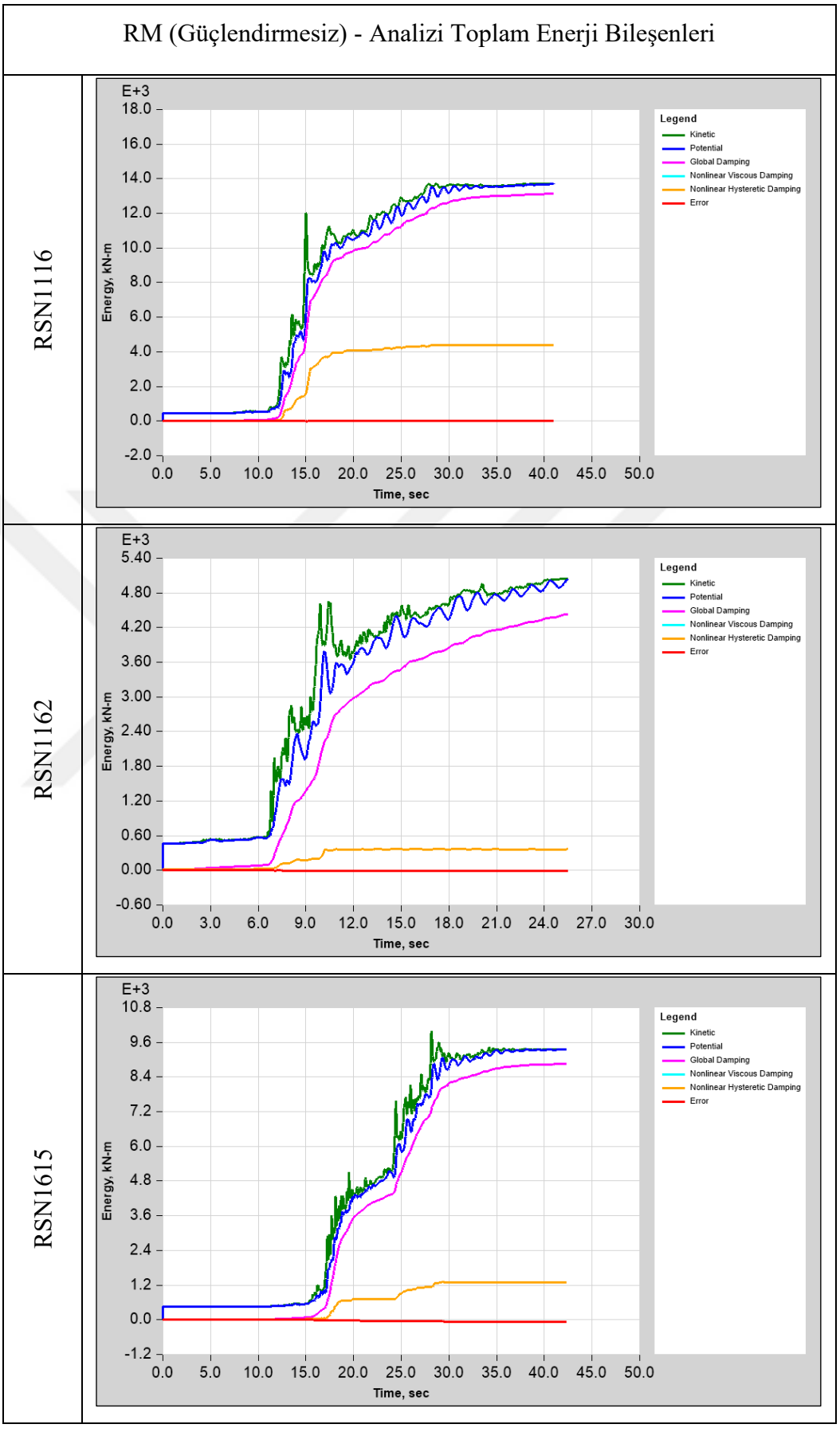
SWR(0.00)-RM (Güçlendirmesiz) - Total Energy Components (kNm)						
Output Case	Input En.	Kinetic En.	Potential En.	Global Damp. En.	Link Hyst. En.	En. Error
	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)
DD2-RSN1116-1	13723.0	6038.6	2297.9	8754.1	4391.9	14.7
DD2-RSN1162-1	5047.2	1780.7	1575.0	4065.6	384.4	0.0
DD2-RSN1615-1	9984.3	2217.5	1362.1	7558.4	1366.6	0.0

Tablo 7.5: ETABS toplam enerji bileşenleri (%)

SWR(0.00)-RM - Total Energy Components (%)					
Output Case	Kinetic En.	Potential En.	Global Damp. En.	Link Hyst. En.	En. Error
DD2-RSN1116-1	44.0%	16.7%	63.8%	32.0%	0.1%
DD2-RSN1162-1	13.0%	11.5%	29.6%	2.8%	0.0%
DD2-RSN1615-1	16.2%	9.9%	55.1%	10.0%	0.0%
Average	24.4%	12.7%	49.5%	14.9%	0.0%

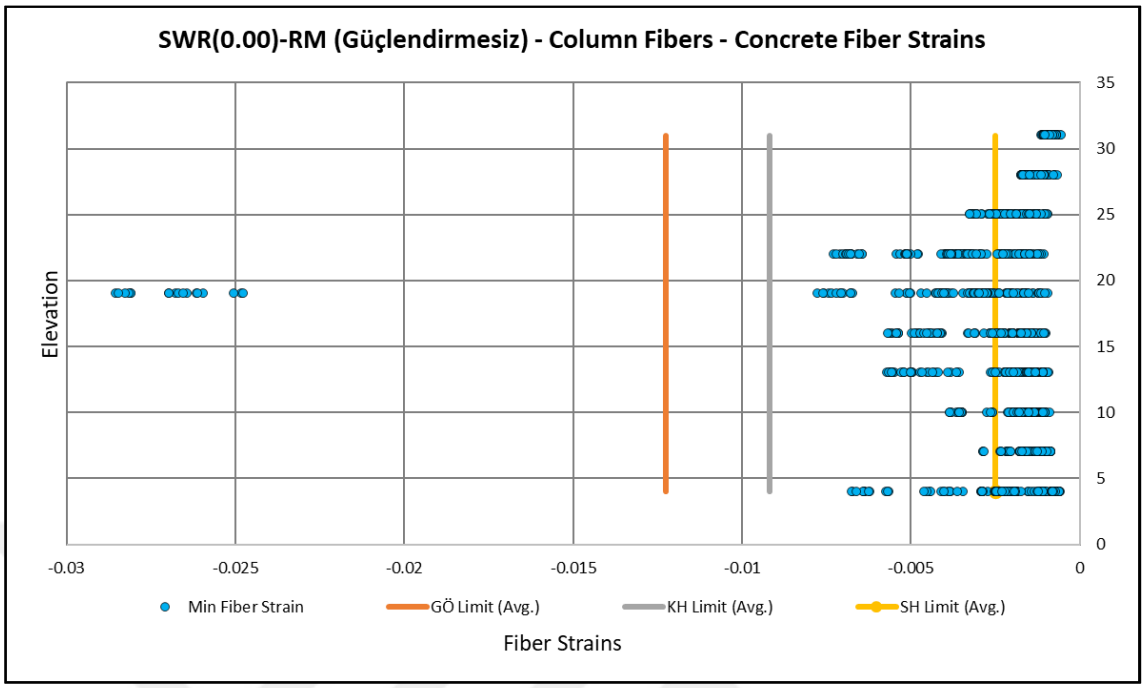


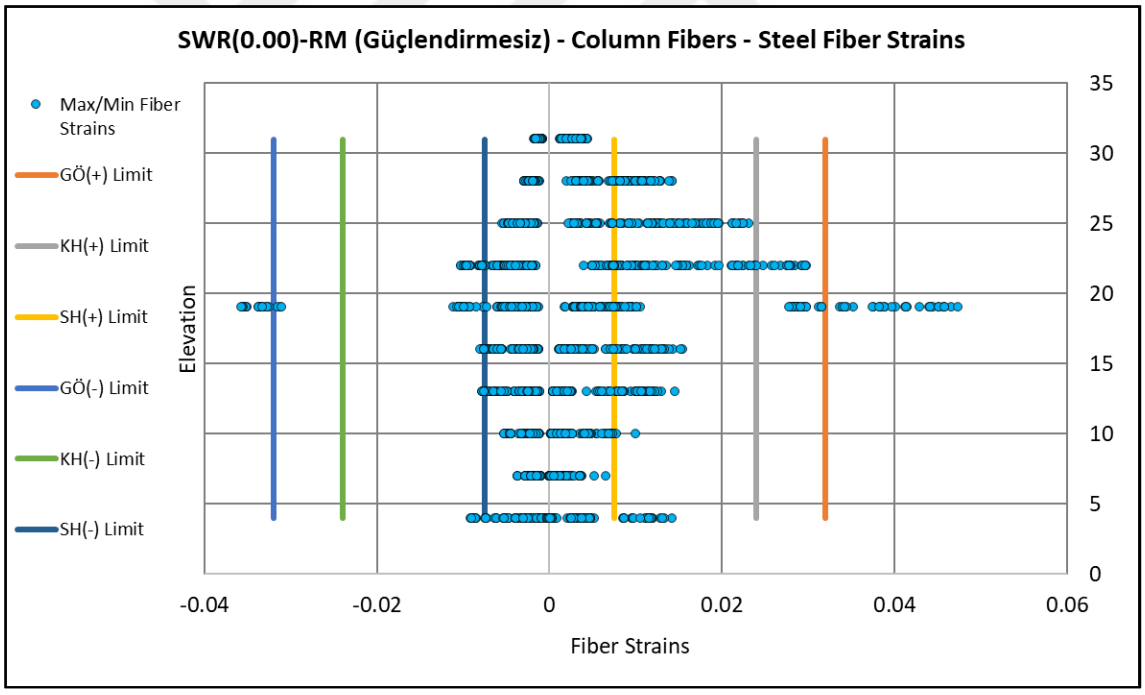
Şekil 7.3: ETABS analiz sonuçlarında enerji bileşenleri dağılımları.



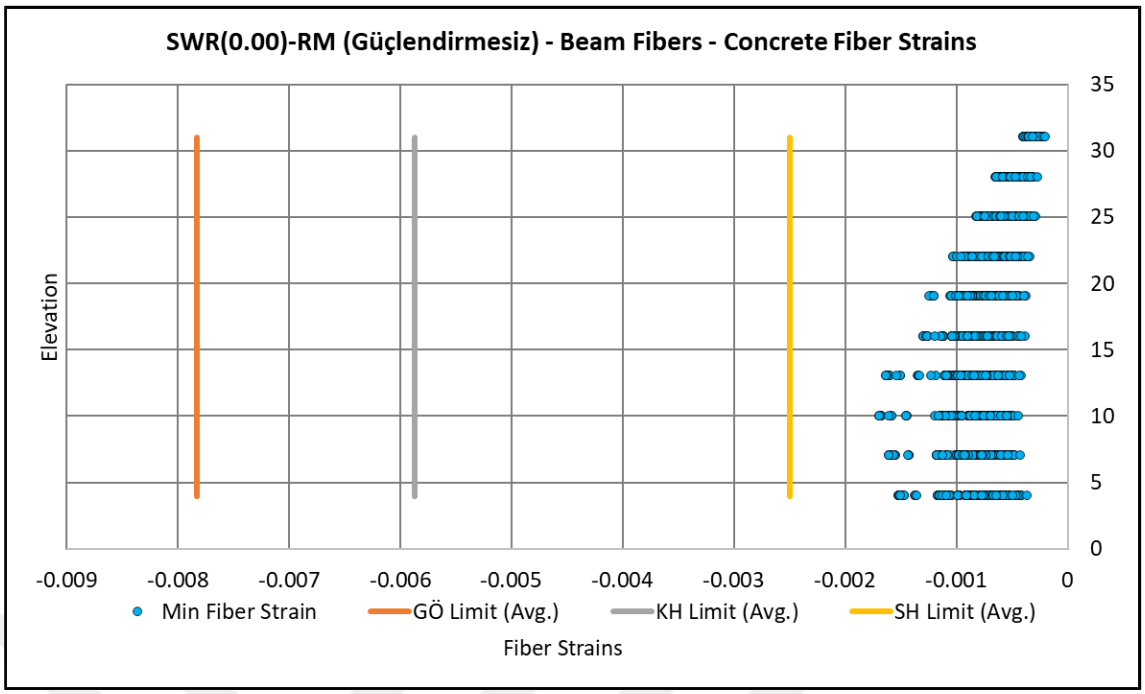
Şekil 7.4: ETABS analiz sonuçlarında enerji bileşenleri dağılımı grafiği.

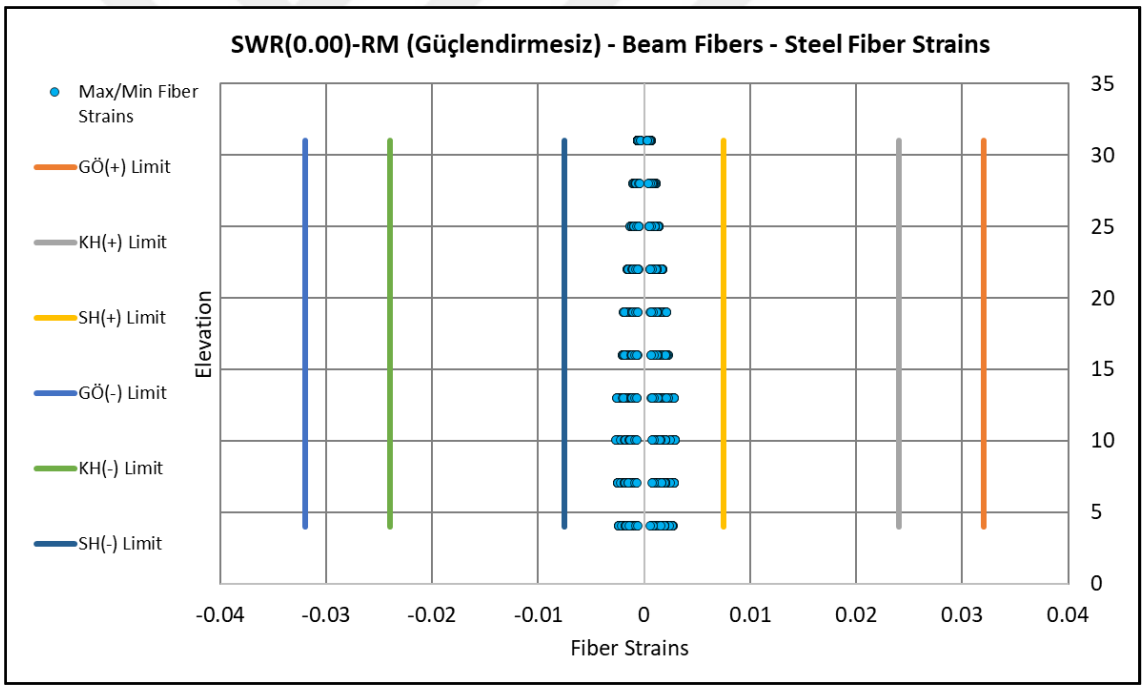
7.1.1.7. Eleman Hasar Düzeylerinin Özet Dağılım Grafikleri





Şekil 7.5: ETABS analiz sonuçlarında kolon beton ve çelik fiber sonuçları.





Şekil 7.6: ETABS analiz sonuçlarında kiriş beton ve çelik fiber sonuçları.

7.2. Betonarme Perdeli Güçlendirme Sonuçları

7.2.1. Perdeli Güçlendirme (GY_SW_T1) Sonuçları

7.2.1.1. Modal Özellikler

Tablo 7.6: ETABS modal analizde kütle katılım oranları ve periyotlar.

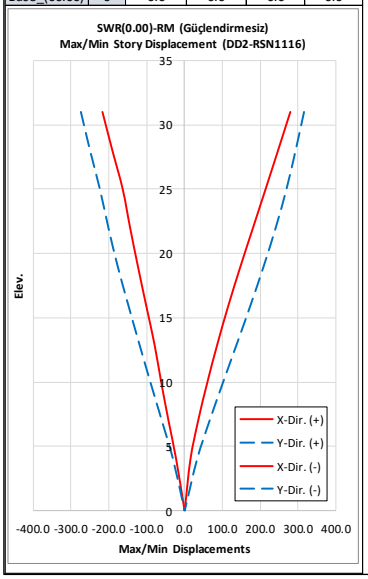
Modal Participating Mass Ratios (GY_PG)					
Case	**Mode**	**Period**	**UX**	**UY**	**RZ**
Modal	1	1.48	0.6800	0.0000	0.0464
Modal	2	1.474	0.0000	0.7258	0.0000
Modal	3	1.457	0.0454	0.0000	0.6994
Modal	4	0.422	0.0007	0.0000	0.1343
Modal	5	0.406	0.1515	0.0000	0.0005
Modal	6	0.405	0.0000	0.1518	0.0000
Modal	7	0.202	0.0000	0.0000	0.0567
Modal	8	0.184	0.0610	0.0000	0.0000
Modal	9	0.184	0.0000	0.0609	0.0000
Modal	10	0.121	0.0000	0.0000	0.0276

7.2.1.2. Mak. Kat Ötelenme Miktarları (Max. Story Displ.)

Tablo 7.7: ETABS analiz sonuçlarında maksimum kat ötelenme miktarları.

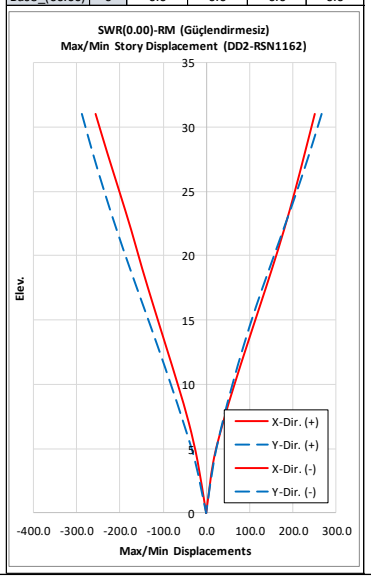
SWR(0.00)-GY-SW_T1 (PerdeliGüçlendirme)
Max/Min Story Disp. (DD2-RSN1116)

Story	Elev.	Max/Min Displacements			
		X-Dir. (+)	Y-Dir. (+)	X-Dir. (-)	Y-Dir. (-)
-	m	mm	mm	mm	mm
St10_(31.00)	31	279.8	316.3	-217.5	-273.2
St09_(28.00)	28	247.1	293.8	-191.1	-249.1
St08_(25.00)	25	214.2	269.7	-163.8	-223.2
St07_(22.00)	22	180.9	241.2	-144.2	-200.8
St06_(19.00)	19	147.8	209.2	-123.6	-176.2
St05_(16.00)	16	116.1	174.6	-102.0	-148.4
St04_(13.00)	13	87.0	138.5	-80.1	-119.6
St03_(10.00)	10	60.1	101.7	-61.9	-90.1
St02_(07.00)	7	35.6	65.8	-42.5	-59.8
St01_(04.00)	4	15.2	32.7	-22.2	-30.3
Base_(00.00)	0	0.0	0.0	0.0	0.0



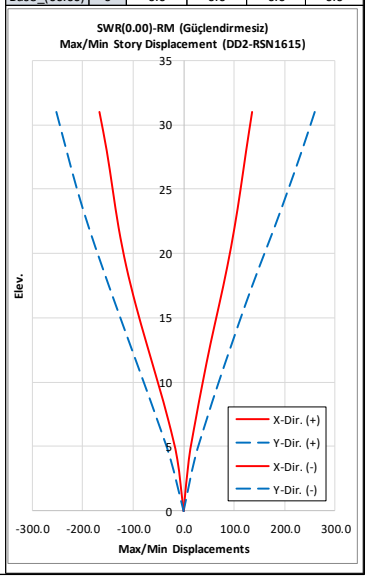
SWR(0.00)-GY-SW_T1 (PerdeliGüçlendirme)
Max/Min Story Disp. (DD2-RSN1162)

Story	Elev.	Max/Min Displacements			
		X-Dir. (+)	Y-Dir. (+)	X-Dir. (-)	Y-Dir. (-)
-	m	mm	mm	mm	mm
St10_(31.00)	31	249.7	265.9	-256.3	-288.6
St09_(28.00)	28	227.1	238.4	-229.4	-263.7
St08_(25.00)	25	204.0	209.0	-201.3	-236.7
St07_(22.00)	22	179.1	177.6	-173.8	-207.8
St06_(19.00)	19	151.6	145.7	-148.3	-177.0
St05_(16.00)	16	122.8	114.5	-121.2	-145.0
St04_(13.00)	13	93.6	86.3	-93.4	-113.0
St03_(10.00)	10	65.2	60.6	-65.9	-82.1
St02_(07.00)	7	38.7	37.3	-40.1	-52.5
St01_(04.00)	4	16.5	17.7	-19.8	-25.6
Base_(00.00)	0	0.0	0.0	0.0	0.0



SWR(0.00)-GY-SW_T1 (PerdeliGüçlendirme)
Max/Min Story Disp. (DD2-RSN1615)

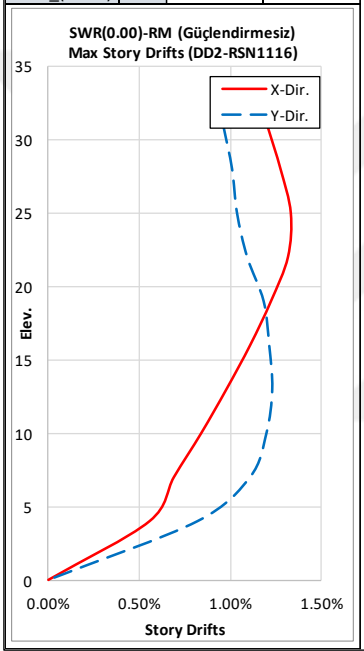
Story	Elev.	Max/Min Displacements			
		X-Dir. (+)	Y-Dir. (+)	X-Dir. (-)	Y-Dir. (-)
-	m	mm	mm	mm	mm
St10_(31.00)	31	135.8	260.0	-166.1	-252.1
St09_(28.00)	28	124.0	234.6	-151.7	-231.9
St08_(25.00)	25	112.9	207.7	-140.0	-211.2
St07_(22.00)	22	100.8	179.8	-128.2	-187.6
St06_(19.00)	19	86.6	150.4	-113.1	-161.5
St05_(16.00)	16	70.4	122.2	-94.3	-134.4
St04_(13.00)	13	53.4	95.6	-72.9	-106.7
St03_(10.00)	10	37.9	69.5	-50.8	-78.9
St02_(07.00)	7	23.4	44.8	-29.7	-51.4
St01_(04.00)	4	10.4	21.8	-12.3	-25.7
Base_(00.00)	0	0.0	0.0	0.0	0.0



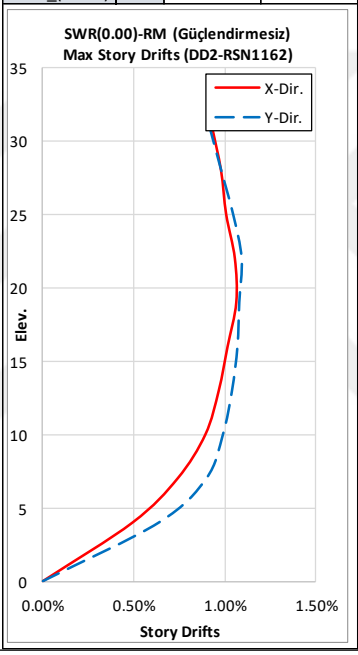
7.2.1.3. Maks. Göreli Kat Ötelenmesi Oranları (Max. Story Drifts)

Tablo 7.8: ETABS analiz sonuçlarında maksimum görelikat ötelenme oranları.

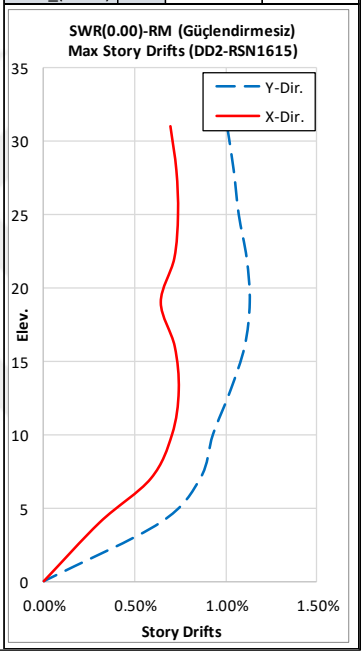
SWR(0.00)-GY-SW_T1 (PerdeliGüçl.)			
Max Story Drifts (DD2-RSN1116)			
Story	Elev.	Story Drifts	
		X-Dir.	Y-Dir.
-	m	mm	mm
St10_(31.00)	31	1.20%	0.96%
St09_(28.00)	28	1.27%	1.01%
St08_(25.00)	25	1.33%	1.03%
St07_(22.00)	22	1.32%	1.09%
St06_(19.00)	19	1.22%	1.18%
St05_(16.00)	16	1.11%	1.21%
St04_(13.00)	13	0.98%	1.23%
St03_(10.00)	10	0.84%	1.20%
St02_(07.00)	7	0.69%	1.11%
St01_(04.00)	4	0.56%	0.82%
Base_(00.00)	0	0.00%	0.00%



SWR(0.00)-GY-SW_T1 (PerdeliGüçl.)			
Max Story Drifts (DD2-RSN1162)			
Story	Elev.	Story Drifts	
		X-Dir.	Y-Dir.
-	m	mm	mm
St10_(31.00)	31	0.93%	0.92%
St09_(28.00)	28	0.98%	0.98%
St08_(25.00)	25	1.01%	1.05%
St07_(22.00)	22	1.06%	1.09%
St06_(19.00)	19	1.06%	1.08%
St05_(16.00)	16	1.02%	1.07%
St04_(13.00)	13	0.97%	1.04%
St03_(10.00)	10	0.89%	0.99%
St02_(07.00)	7	0.74%	0.90%
St01_(04.00)	4	0.49%	0.64%
Base_(00.00)	0	0.00%	0.00%



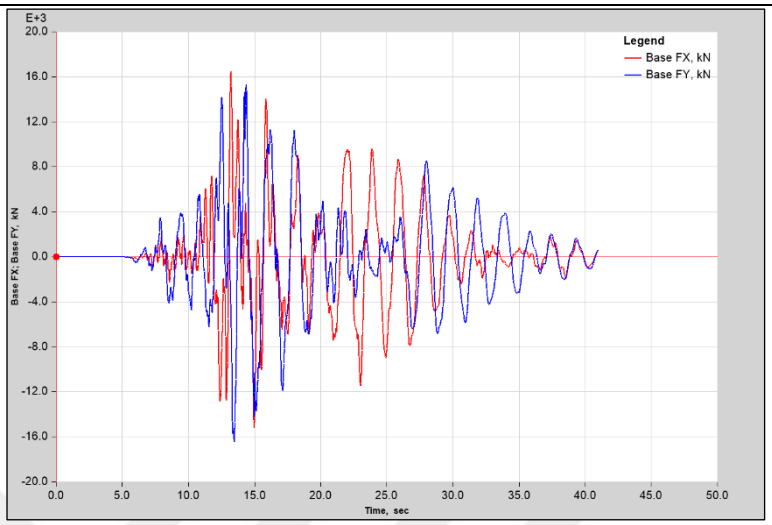
SWR(0.00)-GY-SW_T1 (PerdeliGüçl.)			
Max Story Drifts (DD2-RSN1615)			
Story	Elev.	Story Drifts	
		X-Dir.	Y-Dir.
-	m	mm	mm
St10_(31.00)	31	0.70%	1.01%
St09_(28.00)	28	0.73%	1.05%
St08_(25.00)	25	0.74%	1.07%
St07_(22.00)	22	0.72%	1.12%
St06_(19.00)	19	0.65%	1.13%
St05_(16.00)	16	0.72%	1.11%
St04_(13.00)	13	0.74%	1.03%
St03_(10.00)	10	0.71%	0.93%
St02_(07.00)	7	0.59%	0.86%
St01_(04.00)	4	0.31%	0.64%
Base_(00.00)	0	0.00%	0.00%



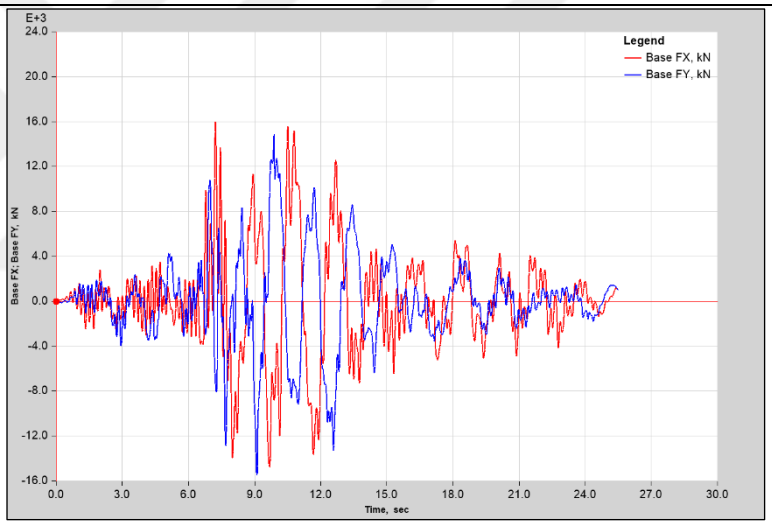
7.2.1.4. Zamana Bağlı Taban Kesme Kuv. (NLTHA Base Forces)

SWR(0.00)-GY-SW_T1 - Zamana Bağlı Taban Kesme Kuvvetleri

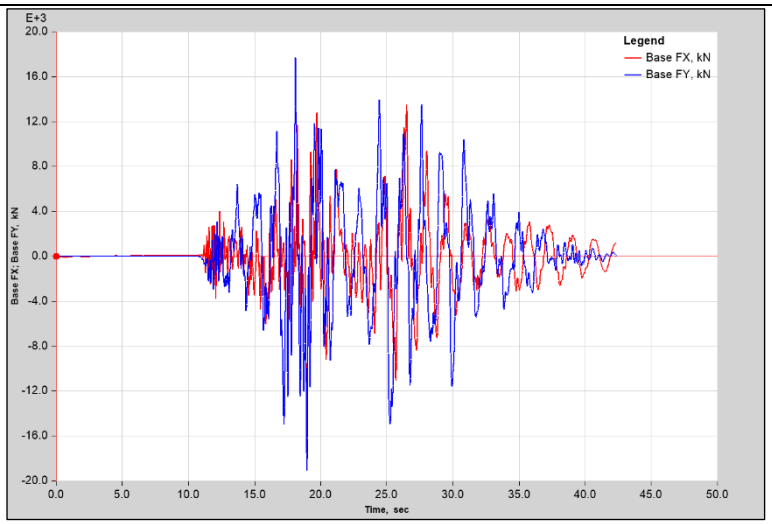
RSN1116



RSN1162



RSN1615

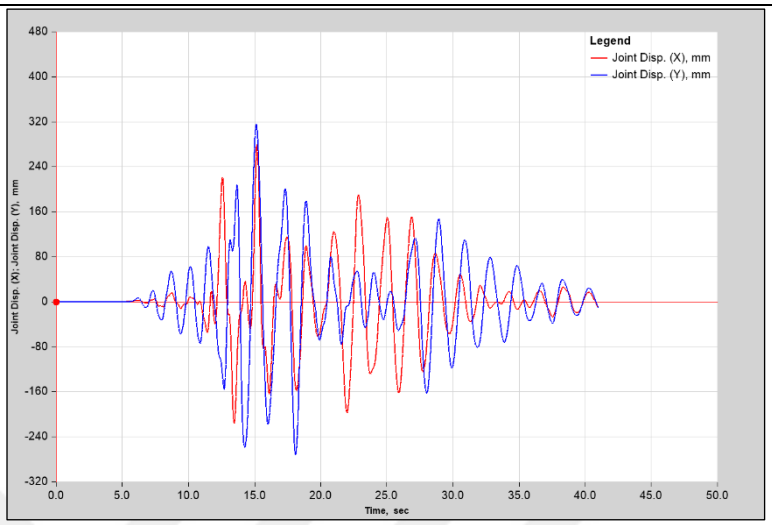


Şekil 7.7: Zamana bağlı taban kesme kuvvetleri.

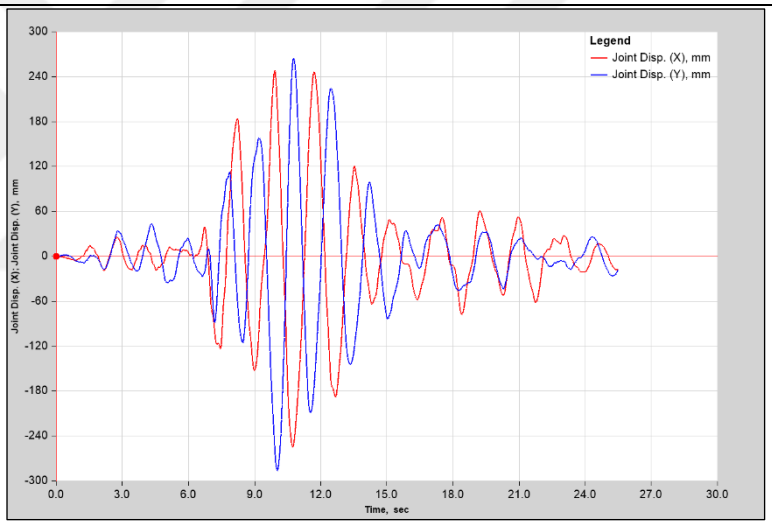
7.2.1.5. Zamana Bağlı Tepe Yer Değiştirmeleri (NLTHA Roof Disp.)

SWR(0.00)-GY-SW_T1 - Zamana Bağlı Tepe Yerdeğiştirmeleri

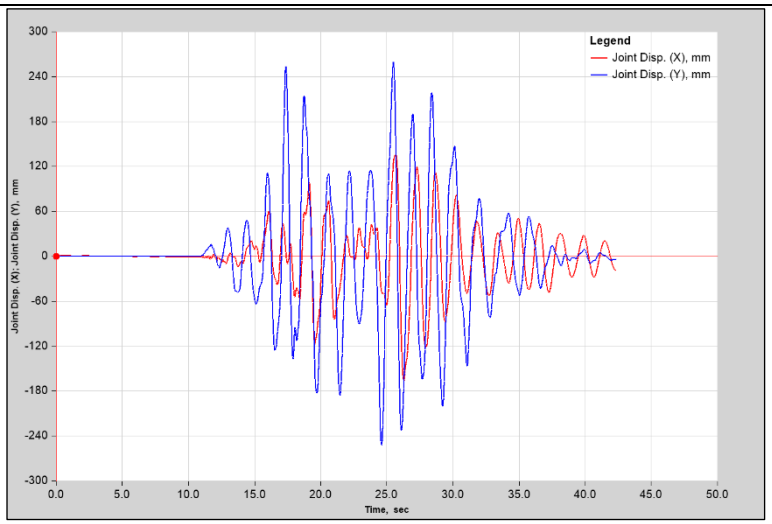
RSN1116



RSN1162



RSN1615



Şekil 7.8: Zamana bağlı tepe yer değiştirmeleri.

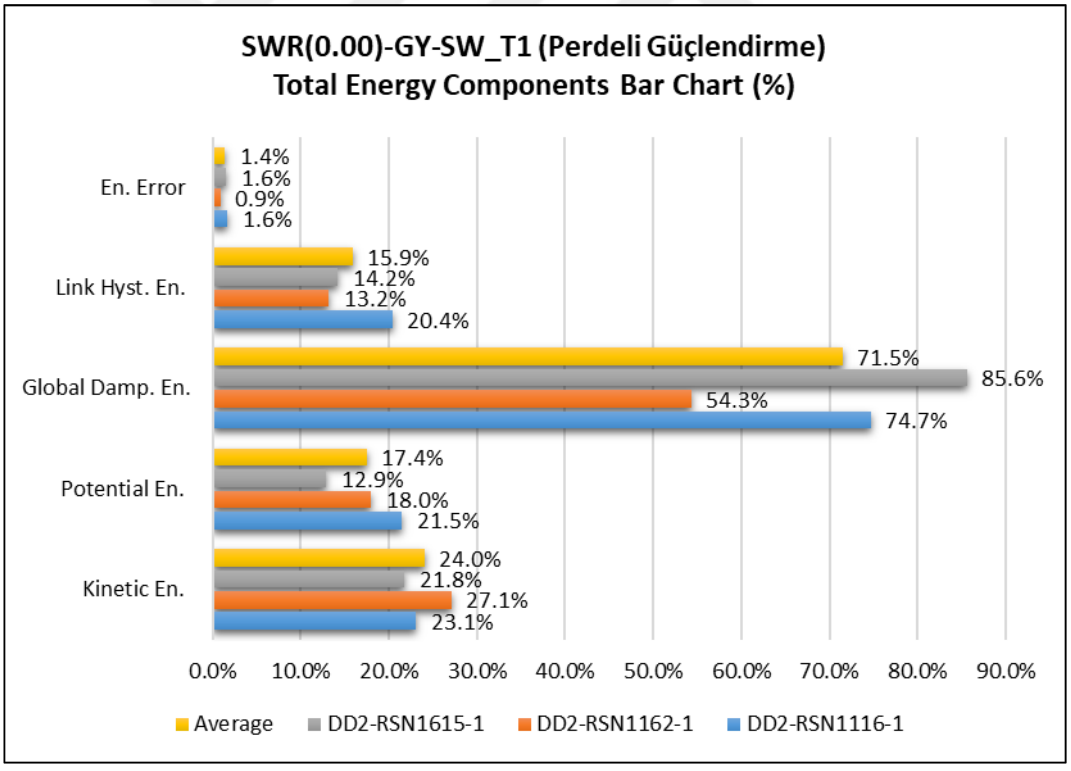
7.2.1.6. Toplam Enerji Bileşenleri (Total Energy Comp.):

Tablo 7.9: ETABS toplam enerji bileşenleri (kNm)

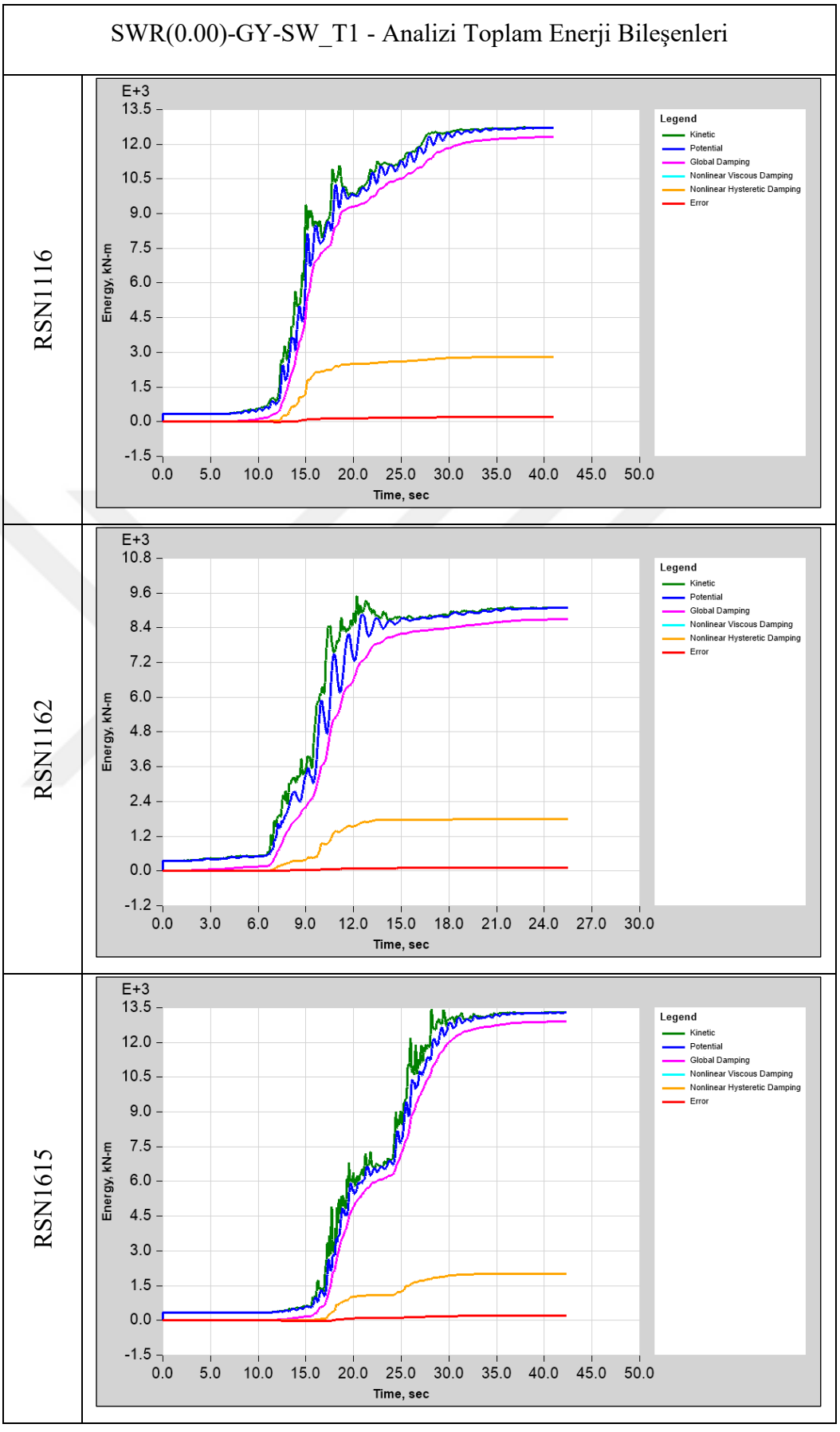
SWR(0.00)-GY-SW_T1 (PerdeliGüçlendirme) - Total Energy Components (kNm)						
Output Case	Input En.	Kinetic En.	Potential En.	Global Damp. En.	Link Hyst. En.	En. Error
	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)
DD2-RSN1116-1	12737.8	2940.0	2738.2	9513.9	2595.3	208.2
DD2-RSN1162-1	9499.5	3454.3	2287.6	6913.0	1676.4	109.5
DD2-RSN1615-1	13448.9	2774.5	1641.4	10901.3	1806.1	199.0

Tablo 7.10: ETABS toplam enerji bileşenleri (%)

SWR(0.00)-GY-SW_T1 - Total Energy Components (%)					
Output Case	Kinetic En.	Potential En.	Global Damp. En.	Link Hyst. En.	En. Error
DD2-RSN1116-1	23.1%	21.5%	74.7%	20.4%	1.6%
DD2-RSN1162-1	27.1%	18.0%	54.3%	13.2%	0.9%
DD2-RSN1615-1	21.8%	12.9%	85.6%	14.2%	1.6%
Average	24.0%	17.4%	71.5%	15.9%	1.4%

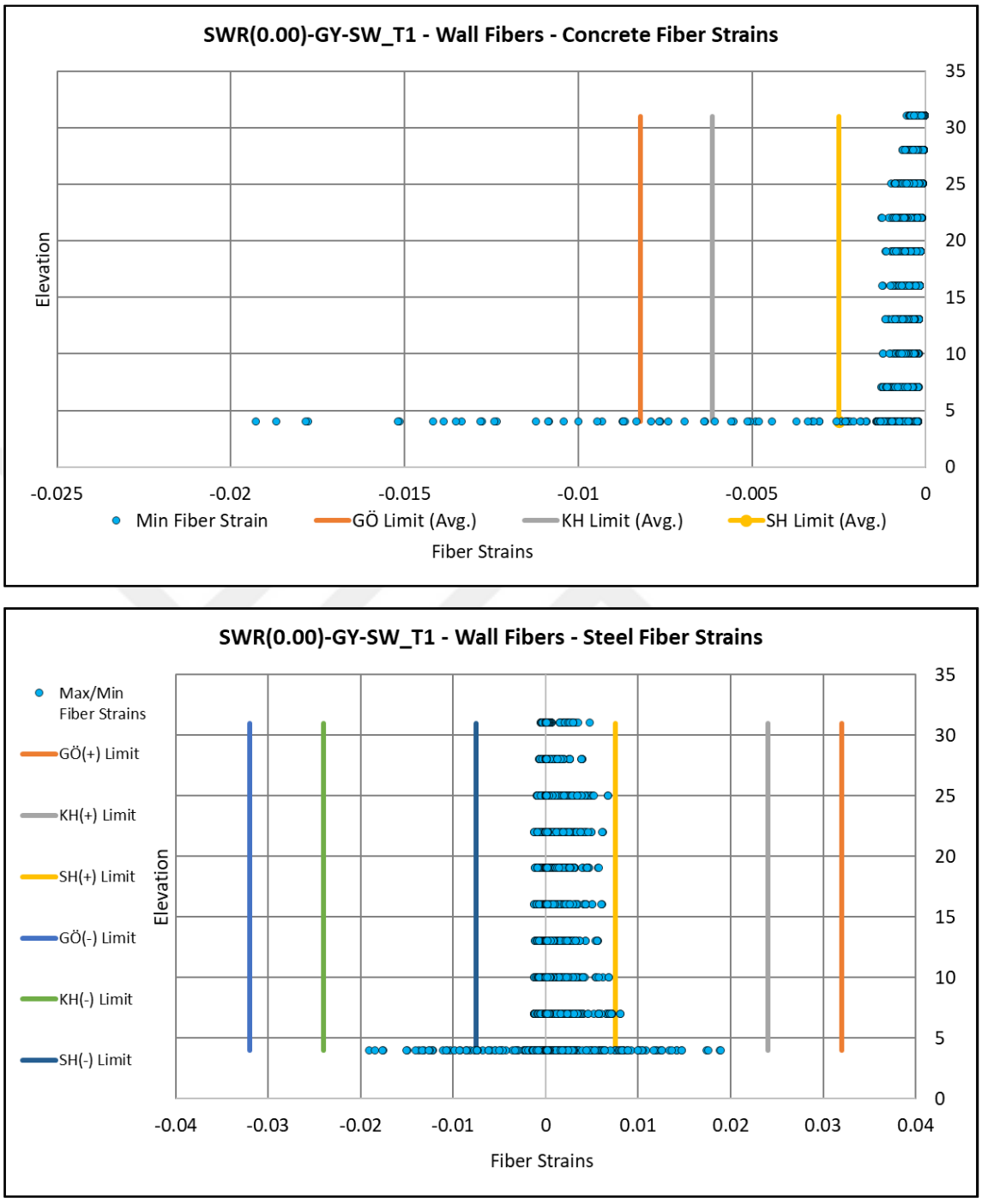


Şekil 7.9: ETABS analiz sonuçlarında enerji bileşenleri dağılımları.

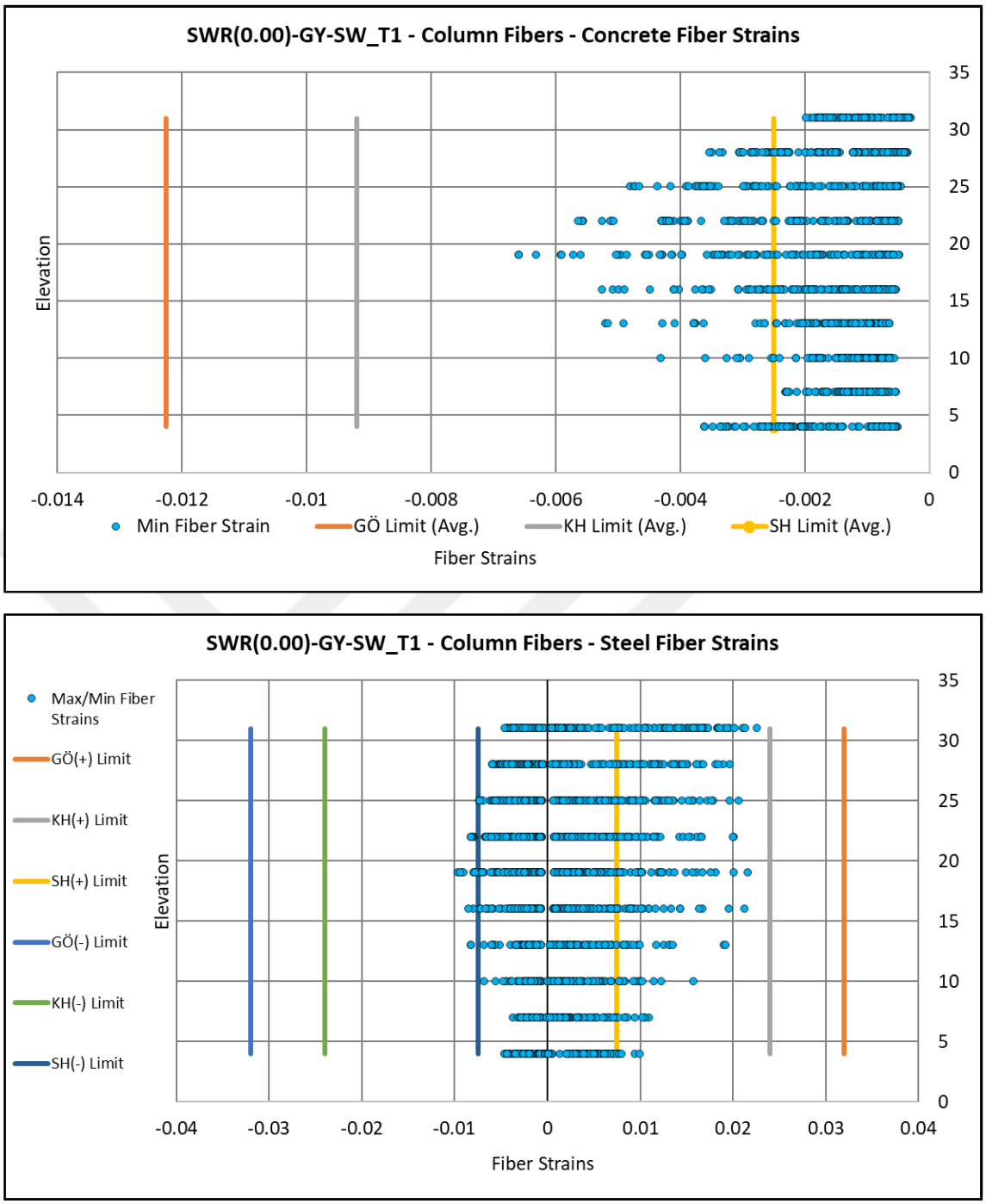


Şekil 7.10: ETABS analiz sonuçlarında enerji bileşenleri dağılımı grafiği.

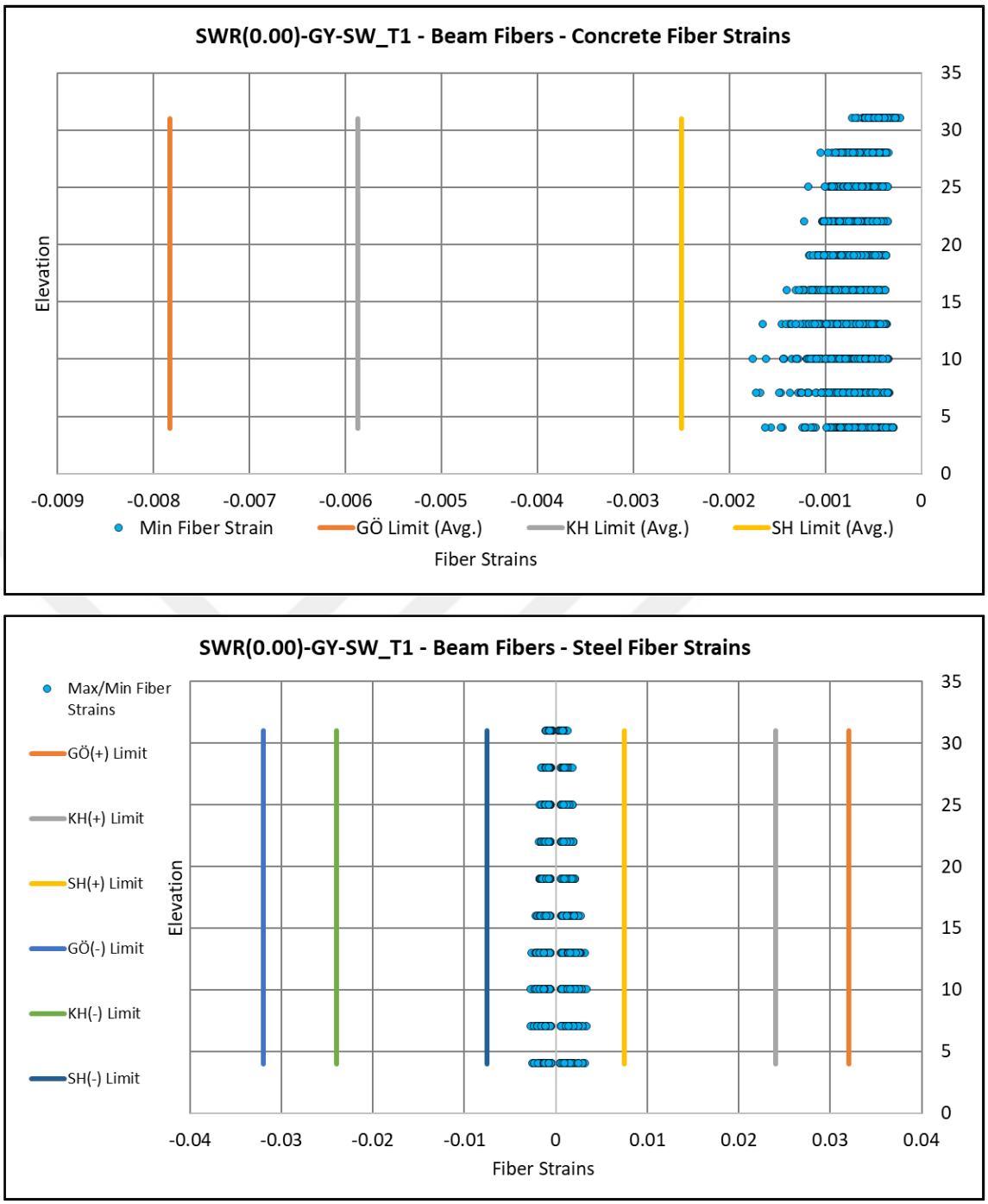
7.2.1.7. Eleman Hasar Düzeylerinin Özet Dağılım Grafikleri



Şekil 7.11: ETABS analiz sonuçlarında perde beton ve çelik fiber sonuçları.



Şekil 7.12: ETABS analiz sonuçlarında kolon beton ve çelik fiber sonuçları.



Şekil 7.13: ETABS analiz sonuçlarında kiriş beton ve çelik fiber sonuçları.

7.2.2. Perdeli Güçlendirme (GY_SW_T2) Sonuçları

7.2.2.1. Modal Özellikler

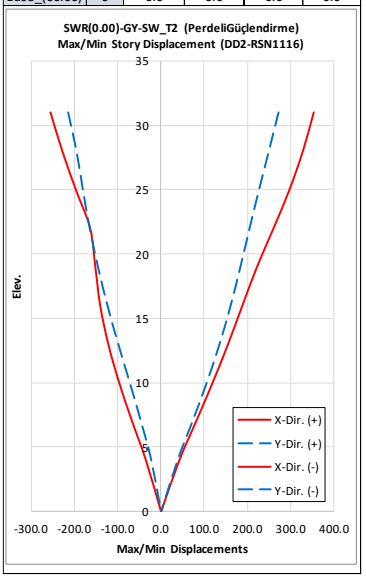
Tablo 7.11: ETABS modal analizde kütle katılım oranları ve periyotlar.

Modal Participating Mass Ratios (GY-SW_T2)					
Case	**Mode**	**Period**	**UX**	**UY**	**RZ**
Modal	1	1.694	0.7455	0.0000	0.0078
Modal	2	1.687	0.0000	0.7536	0.0000
Modal	3	1.624	0.0077	0.0000	0.7639
Modal	4	0.506	0.1234	0.0000	0.0069
Modal	5	0.504	0.0000	0.1306	0.0000
Modal	6	0.498	0.0075	0.0000	0.1113
Modal	7	0.255	0.0002	0.0000	0.0500
Modal	8	0.245	0.0548	0.0000	0.0001
Modal	9	0.245	0.0000	0.0548	0.0000
Modal	10	0.157	0.0000	0.0000	0.0259

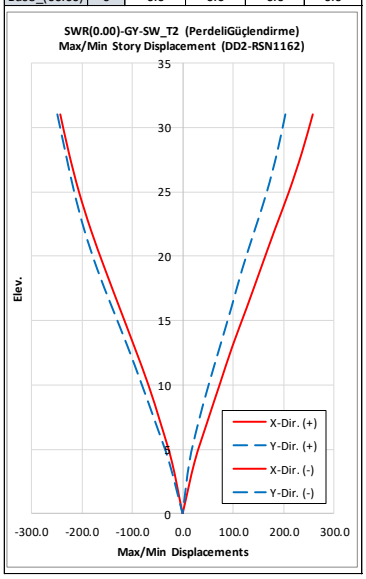
7.2.2.2. Mak. Kat Ötelenme Miktarları (Max. Story Displ.)

Tablo 7.12: ETABS analiz sonuçlarında maksimum kat ötelenme miktarları.

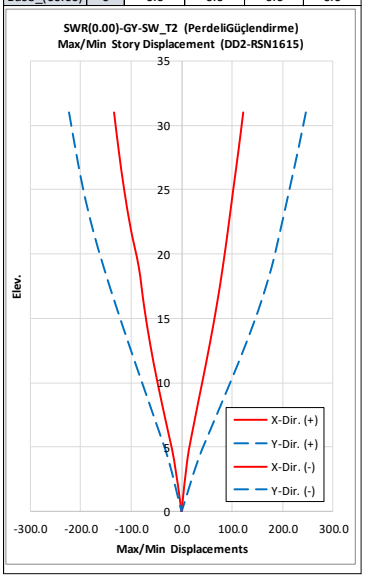
SWR(0.00)-GY-SW_T2 (PerdeliGüçlendirme) Max/Min Story Disp. (DD2-RSN1116)					
Story	Elev.	Max/Min Displacements			
		X-Dir. (+)	Y-Dir. (+)	X-Dir. (-)	Y-Dir. (-)
-	m	mm	mm	mm	mm
St10_(31.00)	31	354.2	271.4	-254.1	-214.0
St09_(28.00)	28	329.0	249.0	-227.0	-194.7
St08_(25.00)	25	297.8	226.3	-195.8	-180.0
St07_(22.00)	22	260.7	204.4	-162.9	-164.2
St06_(19.00)	19	222.4	183.2	-151.1	-145.2
St05_(16.00)	16	188.5	160.6	-139.8	-123.3
St04_(13.00)	13	155.2	134.9	-121.2	-98.4
St03_(10.00)	10	119.4	105.2	-96.1	-71.9
St02_(07.00)	7	81.0	72.3	-66.3	-46.2
St01_(04.00)	4	42.4	38.0	-34.8	-22.5
Base_(00.00)	0	0.0	0.0	0.0	0.0



SWR(0.00)-GY-SW_T2 (PerdeliGüçlendirme) Max/Min Story Disp. (DD2-RSN1162)					
Story	Elev.	Max/Min Displacements			
		X-Dir. (+)	Y-Dir. (+)	X-Dir. (-)	Y-Dir. (-)
-	m	mm	mm	mm	mm
St10_(31.00)	31	257.0	203.2	-242.6	-249.3
St09_(28.00)	28	235.3	186.6	-225.5	-232.9
St08_(25.00)	25	210.1	166.7	-205.6	-215.8
St07_(22.00)	22	181.6	142.4	-181.6	-195.4
St06_(19.00)	19	154.1	118.0	-154.0	-170.0
St05_(16.00)	16	126.6	96.4	-125.1	-140.2
St04_(13.00)	13	98.3	73.9	-96.0	-109.6
St03_(10.00)	10	72.9	51.4	-67.8	-81.0
St02_(07.00)	7	47.7	30.6	-43.4	-53.3
St01_(04.00)	4	23.5	13.3	-21.0	-26.8
Base_(00.00)	0	0.0	0.0	0.0	0.0



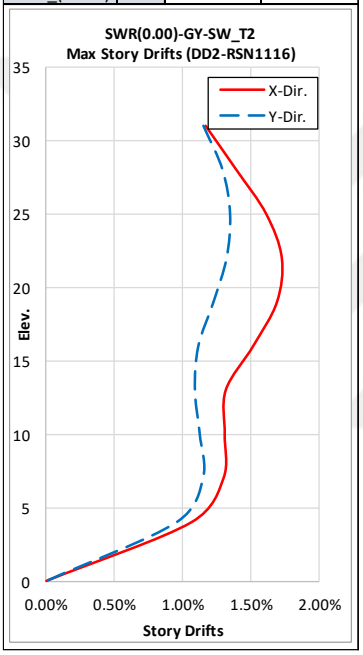
SWR(0.00)-GY-SW_T2 (PerdeliGüçlendirme) Max/Min Story Disp. (DD2-RSN1615)					
Story	Elev.	Max/Min Displacements			
		X-Dir. (+)	Y-Dir. (+)	X-Dir. (-)	Y-Dir. (-)
-	m	mm	mm	mm	mm
St10_(31.00)	31	121.8	246.8	-133.7	-223.3
St09_(28.00)	28	112.3	231.0	-124.3	-209.7
St08_(25.00)	25	102.0	214.1	-113.6	-195.0
St07_(22.00)	22	92.1	197.0	-100.8	-176.6
St06_(19.00)	19	81.4	178.9	-84.7	-154.6
St05_(16.00)	16	69.4	155.5	-74.4	-130.2
St04_(13.00)	13	55.6	127.4	-62.1	-104.5
St03_(10.00)	10	40.6	96.4	-47.4	-78.1
St02_(07.00)	7	25.3	64.1	-31.1	-51.5
St01_(04.00)	4	11.3	32.6	-14.8	-25.8
Base_(00.00)	0	0.0	0.0	0.0	0.0



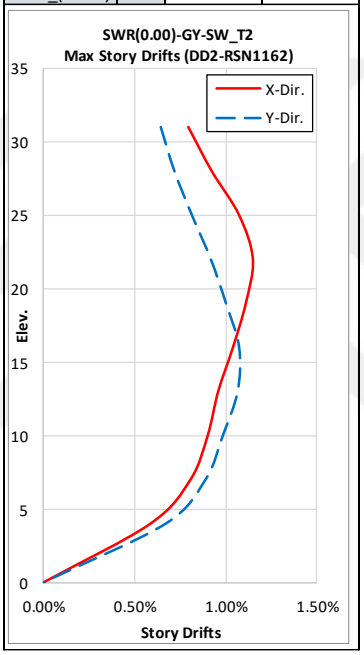
7.2.2.3. Maks. Göreli Kat Ötelenmesi Oranları (Max. Story Drifts)

Tablo 7.13: ETABS analiz sonuçlarında maksimum görelikat ötelenme oranları.

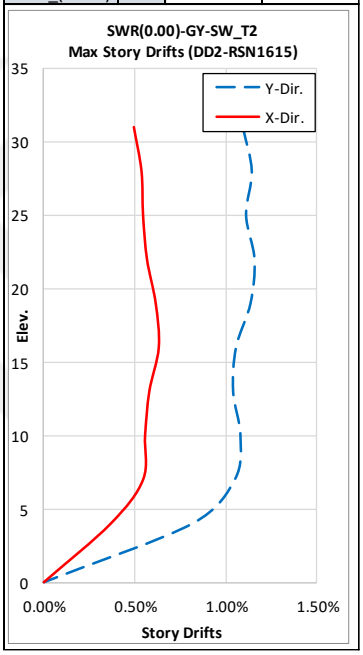
SWR(0.00)-GY-SW_T2 (PerdeliGüçl.)			
Max Story Drifts (DD2-RSN1116)			
Story	Elev.	Story Drifts	
		X-Dir.	Y-Dir.
-	m	mm	mm
St10_(31.00)	31	1.16%	1.15%
St09_(28.00)	28	1.39%	1.29%
St08_(25.00)	25	1.61%	1.34%
St07_(22.00)	22	1.72%	1.32%
St06_(19.00)	19	1.68%	1.22%
St05_(16.00)	16	1.51%	1.11%
St04_(13.00)	13	1.31%	1.09%
St03_(10.00)	10	1.30%	1.12%
St02_(07.00)	7	1.29%	1.14%
St01_(04.00)	4	1.06%	0.95%
Base_(00.00)	0	0.00%	0.00%



SWR(0.00)-GY-SW_T2 (PerdeliGüçl.)			
Max Story Drifts (DD2-RSN1162)			
Story	Elev.	Story Drifts	
		X-Dir.	Y-Dir.
-	m	mm	mm
St10_(31.00)	31	0.79%	0.64%
St09_(28.00)	28	0.92%	0.72%
St08_(25.00)	25	1.07%	0.81%
St07_(22.00)	22	1.15%	0.91%
St06_(19.00)	19	1.11%	1.00%
St05_(16.00)	16	1.04%	1.07%
St04_(13.00)	13	0.96%	1.06%
St03_(10.00)	10	0.90%	0.98%
St02_(07.00)	7	0.81%	0.89%
St01_(04.00)	4	0.59%	0.67%
Base_(00.00)	0	0.00%	0.00%



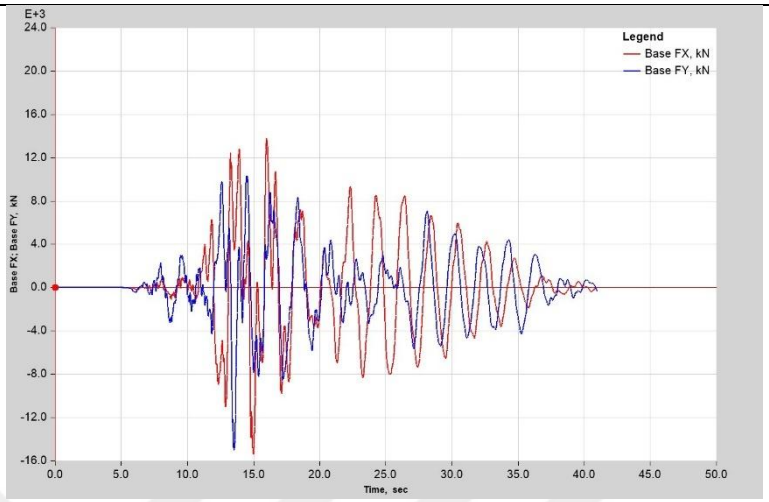
SWR(0.00)-GY-SW_T2 (PerdeliGüçl.)			
Max Story Drifts (DD2-RSN1615)			
Story	Elev.	Story Drifts	
		X-Dir.	Y-Dir.
-	m	mm	mm
St10_(31.00)	31	0.50%	1.09%
St09_(28.00)	28	0.54%	1.14%
St08_(25.00)	25	0.55%	1.11%
St07_(22.00)	22	0.57%	1.16%
St06_(19.00)	19	0.62%	1.13%
St05_(16.00)	16	0.63%	1.05%
St04_(13.00)	13	0.58%	1.04%
St03_(10.00)	10	0.56%	1.08%
St02_(07.00)	7	0.55%	1.05%
St01_(04.00)	4	0.37%	0.82%
Base_(00.00)	0	0.00%	0.00%



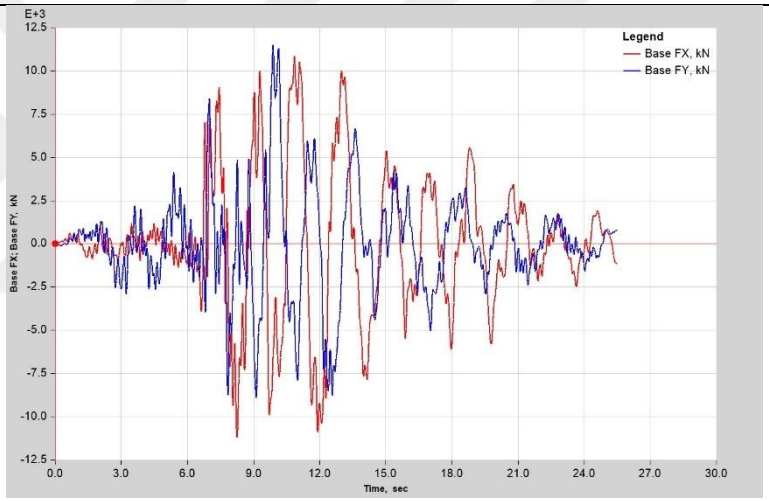
7.2.2.4. Zamana Bağlı Taban Kesme Kuv. (NLTHA Base Forces)

SWR(0.00)-GY-SW_T2 - Zamana Bağlı Taban Kesme Kuvvetleri

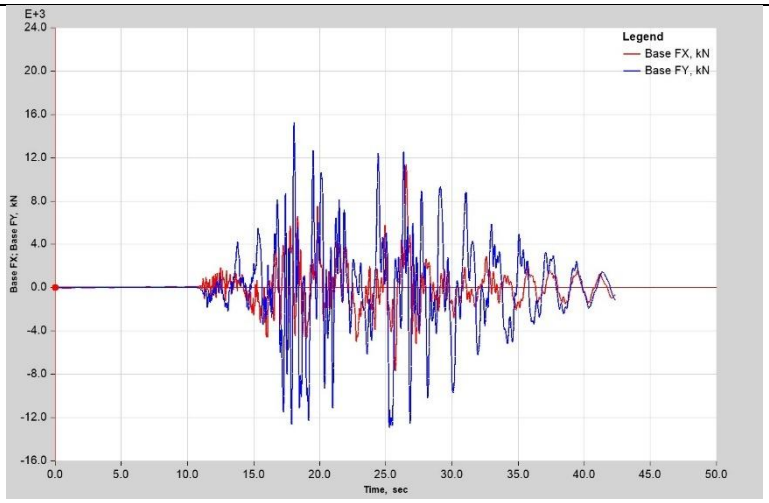
RSN1116



RSN1162

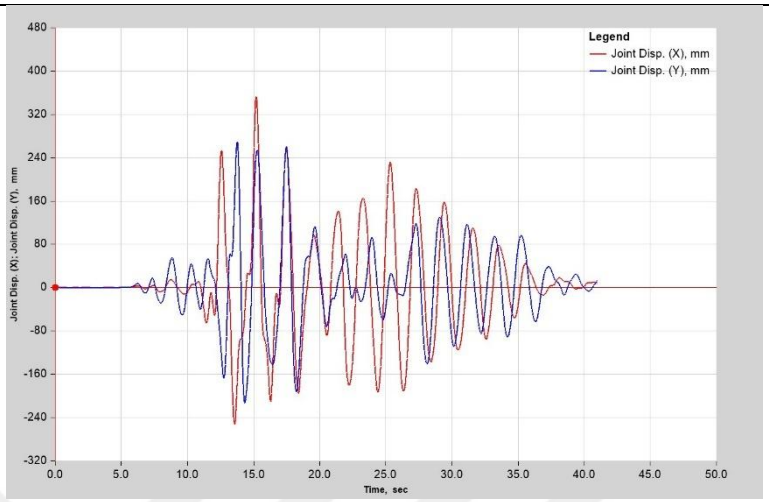
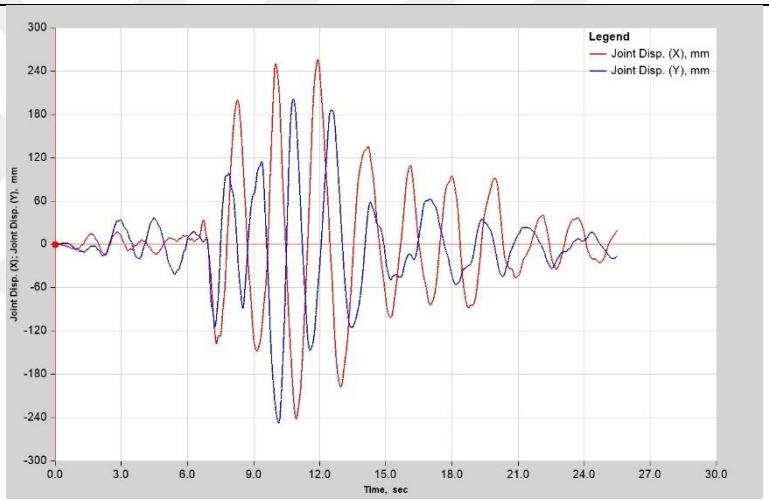
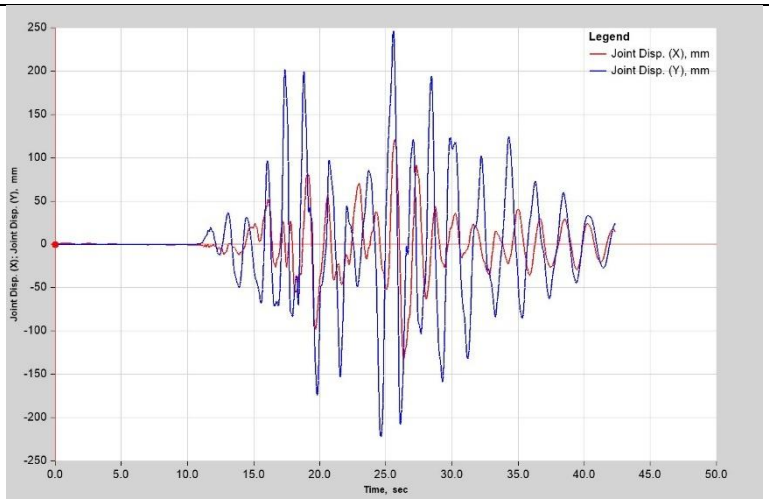


RSN1615



Şekil 7.14: Zamana bağlı taban kesme kuvvetleri.

7.2.2.5. Zamana Bağlı Tepe Yer Değiştirmeleri (NLTHA Roof Disp.)

SWR(0.00)-GY-SW_T1 - Zamana Bağlı Tepe Yerdeğiştirmeleri	
RSN1116	
RSN1162	
RSN1615	

Şekil 7.15: Zamana bağlı tepe yer değiştirmeleri.

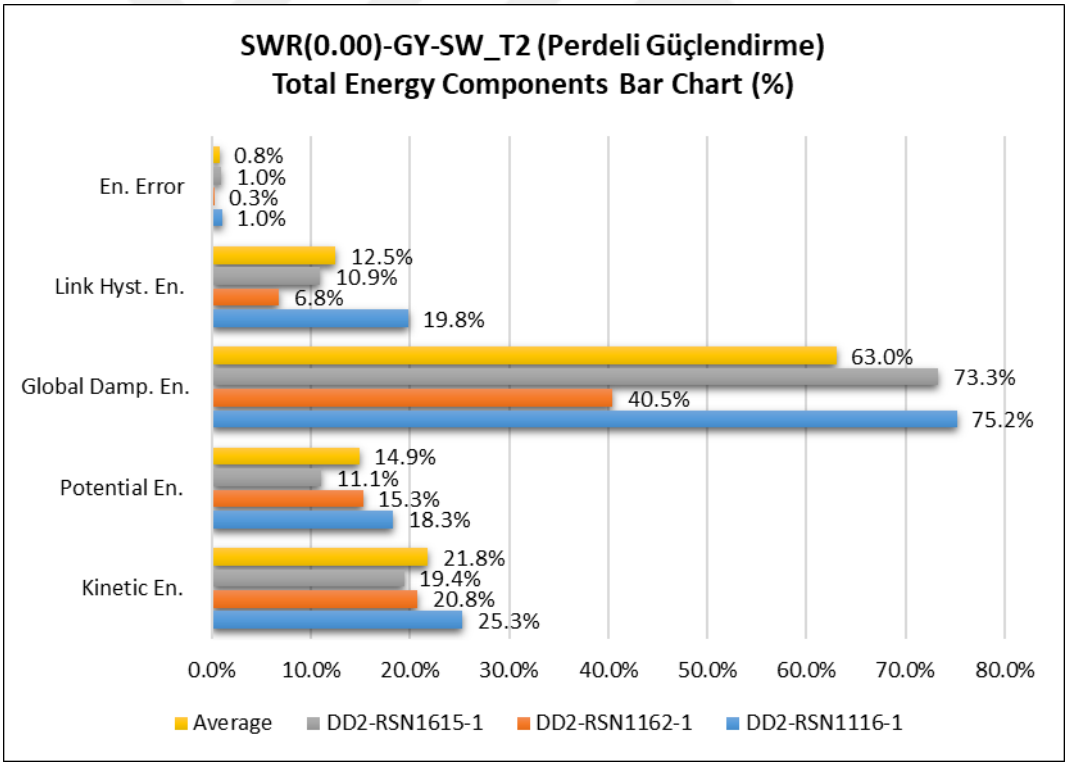
7.2.2.6. Toplam Enerji Bileşenleri (Total Energy Comp.):

Tablo 7.14: ETABS toplam enerji bileşenleri (kNm)

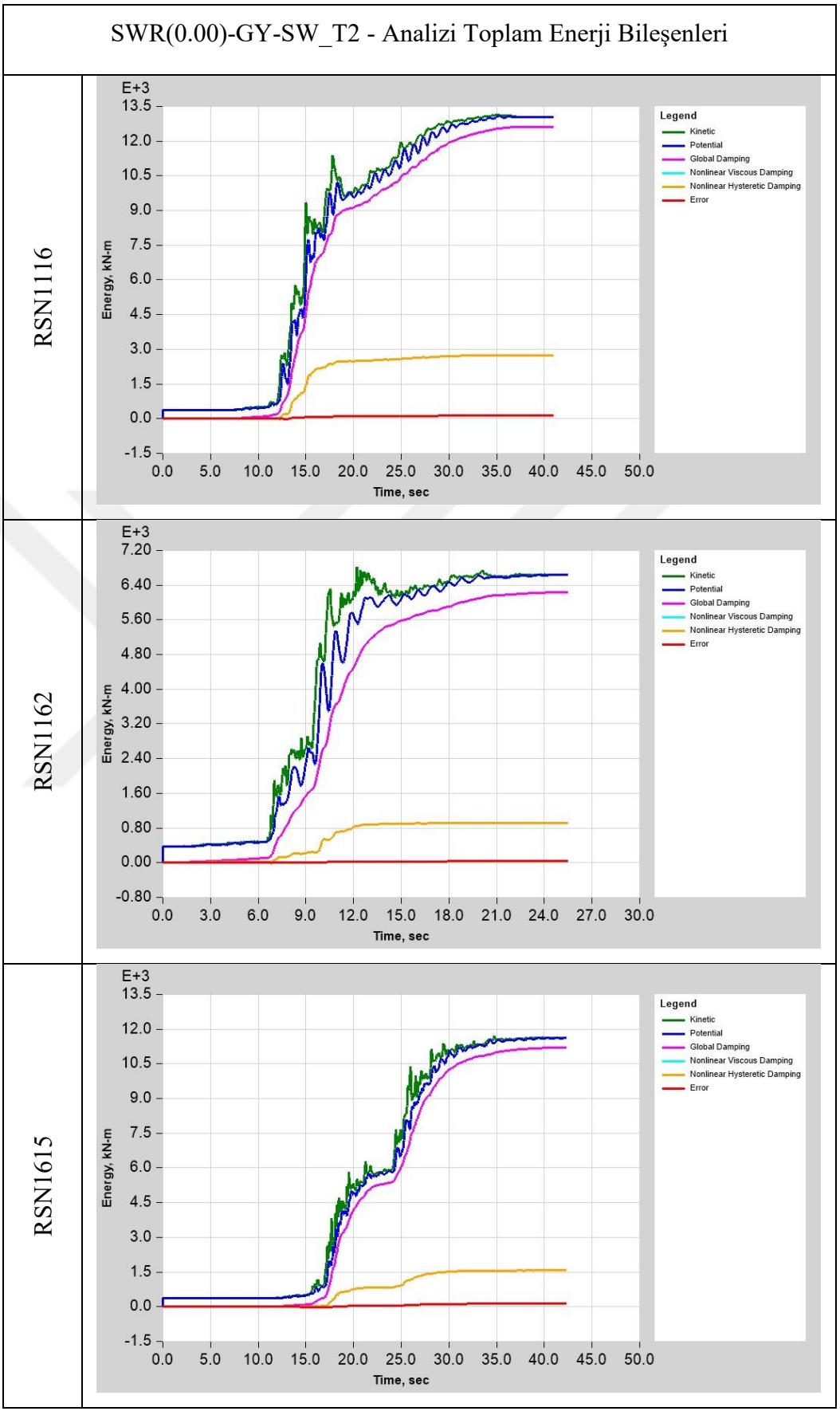
SWR(0.00)-GY-SW_T2 (PerdeliGüçlendirme) - Total Energy Components (kNm)						
Output Case	Input En.	Kinetic En.	Potential En.	Global Damp. En.	Link Hyst. En.	En. Error
	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)
DD2-RSN1116-1	13150.7	3326.7	2410.0	9889.6	2604.9	135.5
DD2-RSN1162-1	6813.0	2730.6	2011.3	5320.2	888.0	34.0
DD2-RSN1615-1	11690.0	2552.4	1454.3	9643.3	1439.6	130.7

Tablo 7.15: ETABS toplam enerji bileşenleri (%)

SWR(0.00)-GY-SW_T2 - Total Energy Components (%)					
Output Case	Kinetic En.	Potential En.	Global Damp. En.	Link Hyst. En.	En. Error
DD2-RSN1116-1	25.3%	18.3%	75.2%	19.8%	1.0%
DD2-RSN1162-1	20.8%	15.3%	40.5%	6.8%	0.3%
DD2-RSN1615-1	19.4%	11.1%	73.3%	10.9%	1.0%
Average	21.8%	14.9%	63.0%	12.5%	0.8%

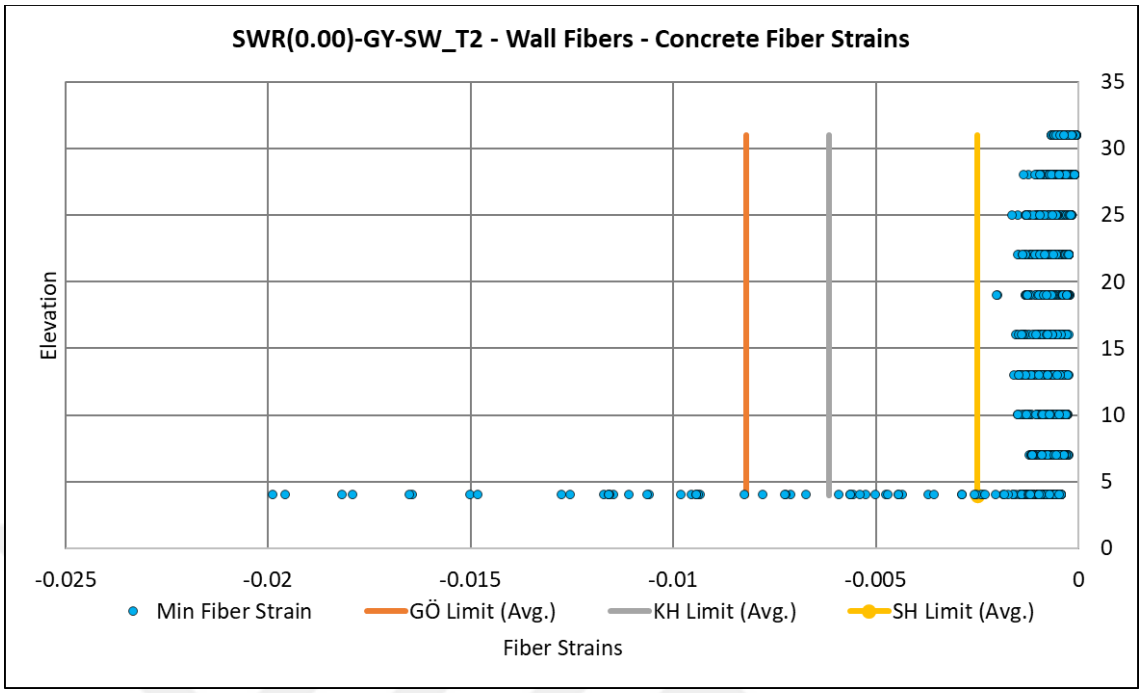


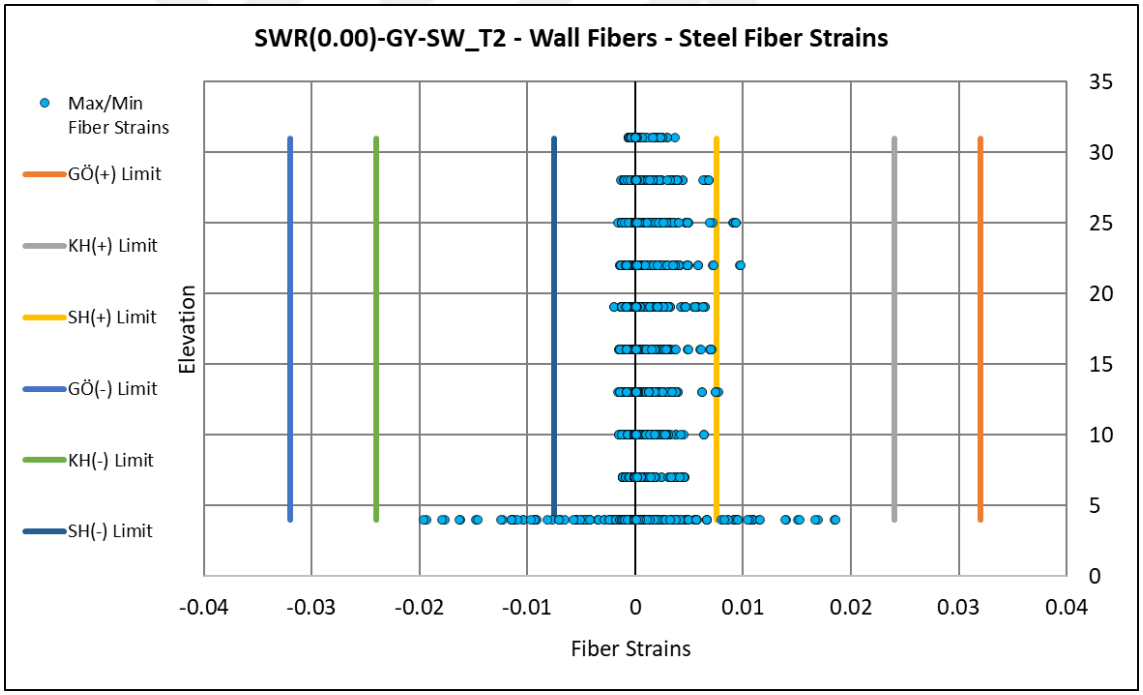
Şekil 7.16: ETABS analiz sonuçlarında enerji bileşenleri dağılımları.



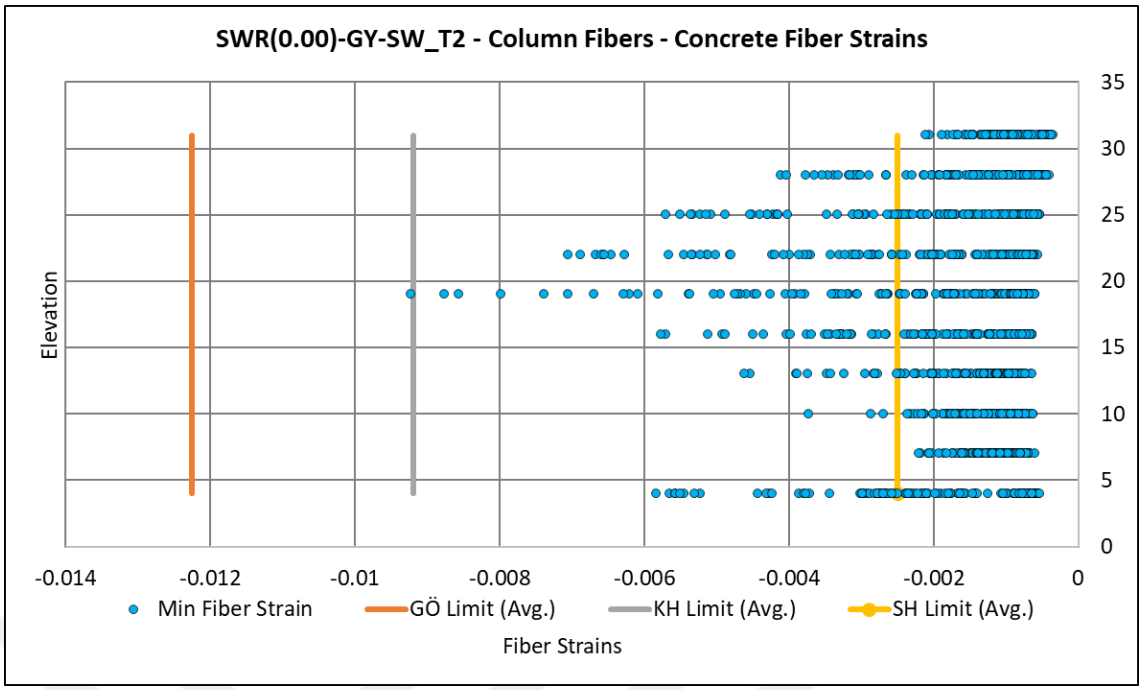
Şekil 7.17: ETABS analiz sonuçlarında enerji bileşenleri dağılımı grafiği.

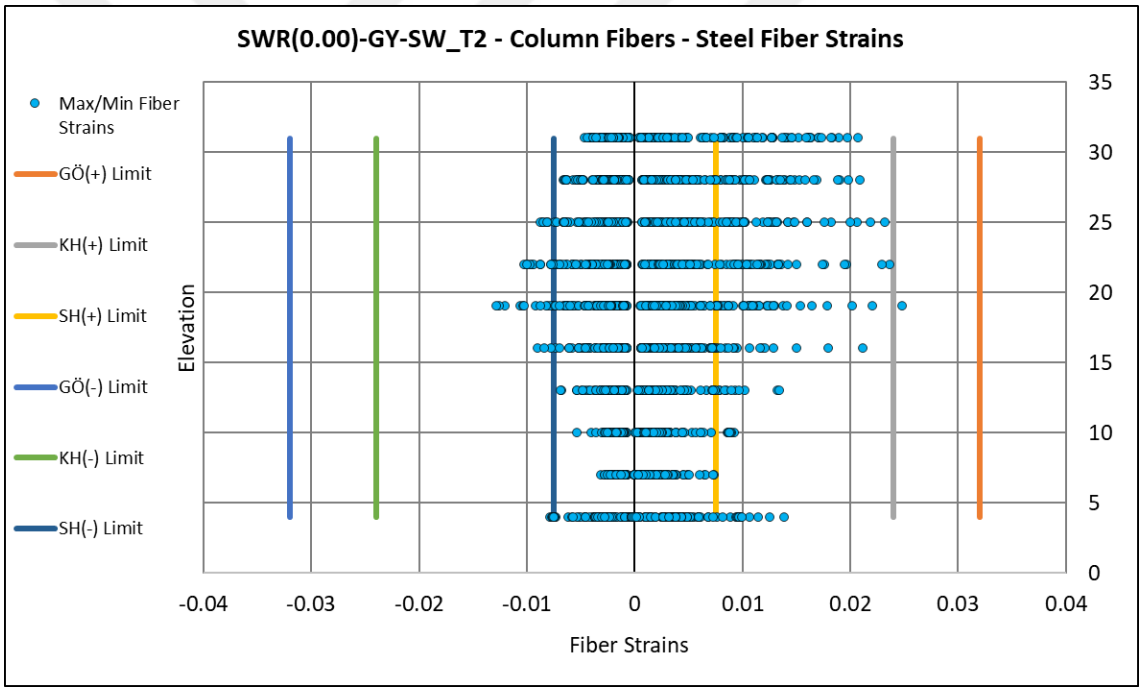
7.2.2.7. Eleman Hasar Düzeylerinin Özet Dağılım Grafikleri



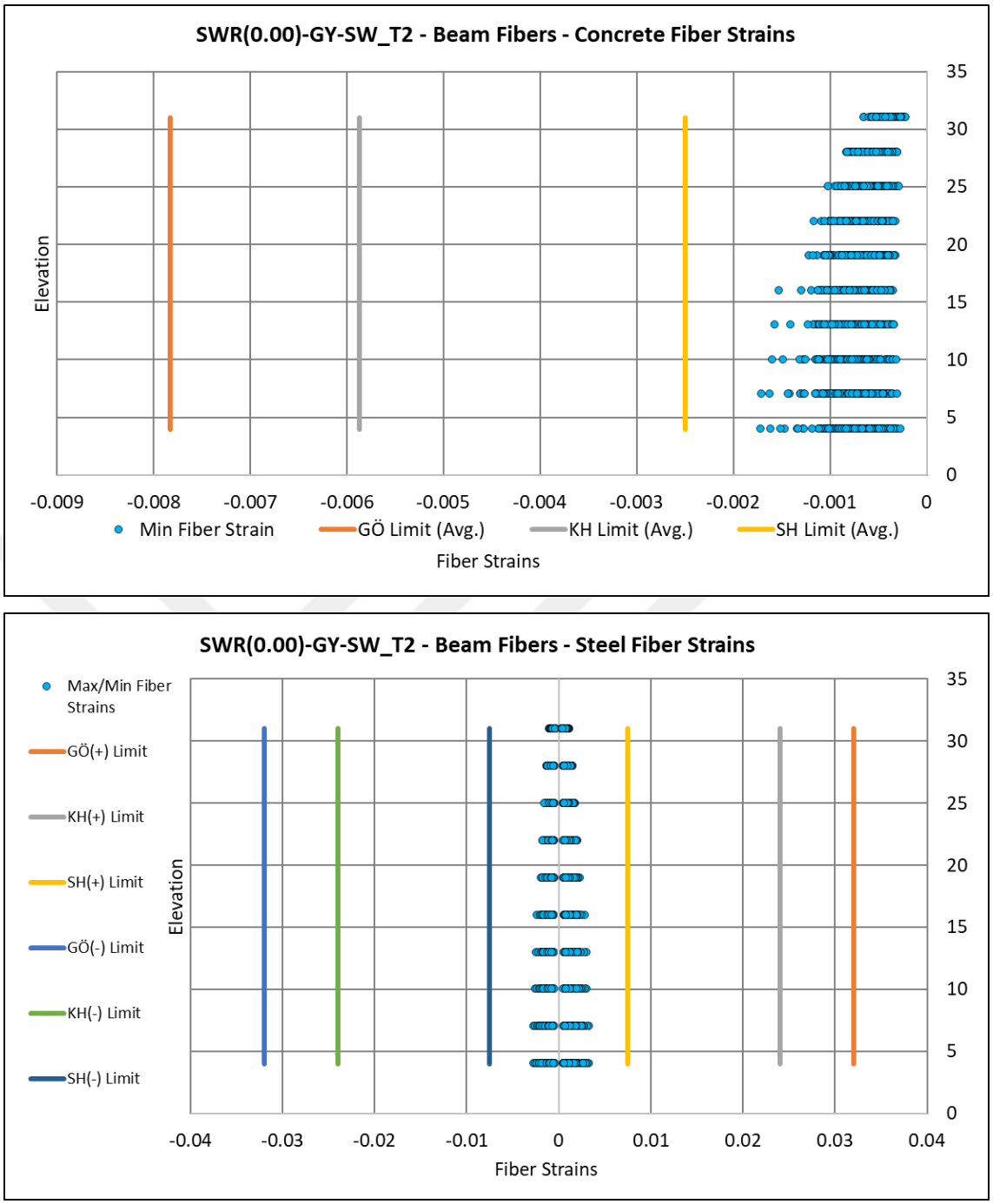


Şekil 7.18: ETABS analiz sonuçlarında perde beton ve çelik fiber sonuçları.





Şekil 7.19: ETABS analiz sonuçlarında kolon beton ve çelik fiber sonuçları.



Şekil 7.20: ETABS analiz sonuçlarında kiriş beton ve çelik fiber sonuçları.

7.3. BÖÇÇ (BRB) Çaprazlı Güçlendirme Sonuçları

7.3.1. Ters "V" BÖÇÇ (GY_BRB_T1) Sonuçları

7.3.1.1. Modal Özellikler

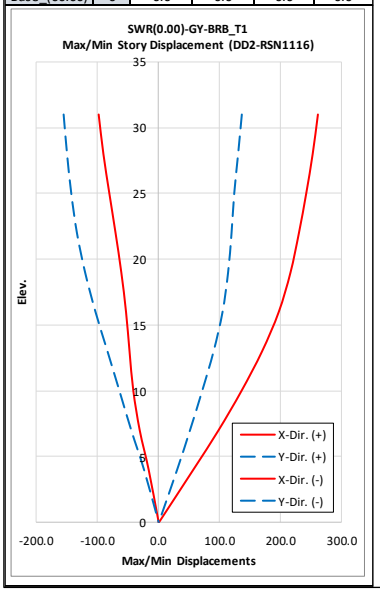
Tablo 7.16: ETABS modal analizde kütle katılım oranları ve periyotlar.

Modal Participating Mass Ratios (GY_BRB_T1)					
Case	**Mode**	**Period**	**UX**	**UY**	**RZ**
Modal	1	1.10	0.81	0.00	0.00
Modal	2	1.10	0.00	0.81	0.00
Modal	3	0.71	0.00	0.00	0.82
Modal	4	0.37	0.13	0.00	0.00
Modal	5	0.37	0.00	0.13	0.00
Modal	6	0.24	0.00	0.00	0.12
Modal	7	0.21	0.03	0.00	0.00
Modal	8	0.21	0.00	0.03	0.00
Modal	9	0.14	0.01	0.00	0.00
Modal	10	0.14	0.00	0.01	0.00

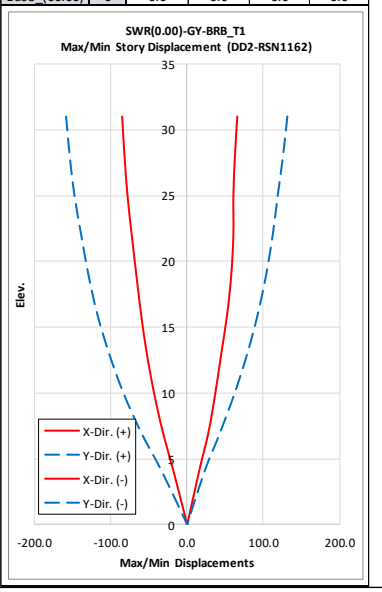
7.3.1.2. Mak. Kat Ötelenme Miktarları (Max. Story Displ.)

Tablo 7.17: ETABS analiz sonuçlarında maksimum kat ötelenme miktarları.

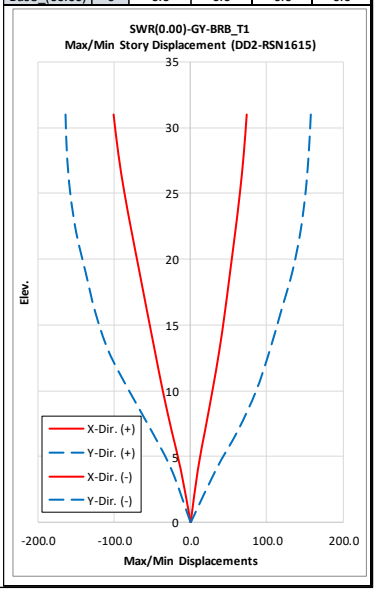
SWR(0.00)-GY-BRB_T1 Max/Min Story Disp. (DD2-RSN1116)					
Story	Elev.	Max/Min Displacements			
		X-Dir. (+)	Y-Dir. (+)	X-Dir. (-)	Y-Dir. (-)
-	m	mm	mm	mm	mm
St10_(31.00)	31	260.4	137.0	-98.4	-154.8
St09_(28.00)	28	251.8	130.8	-90.6	-149.3
St08_(25.00)	25	241.3	124.4	-80.9	-142.4
St07_(22.00)	22	229.3	120.0	-70.7	-133.2
St06_(19.00)	19	215.5	114.3	-61.3	-119.8
St05_(16.00)	16	196.3	105.2	-53.6	-102.9
St04_(13.00)	13	168.9	90.3	-47.8	-83.3
St03_(10.00)	10	135.3	71.5	-41.6	-63.9
St02_(07.00)	7	97.5	51.4	-31.1	-44.6
St01_(04.00)	4	56.2	30.1	-16.4	-23.8
Base_(00.00)	0	0.0	0.0	0.0	0.0



SWR(0.00)-GY-BRB_T1 Max/Min Story Disp. (DD2-RSN1162)					
Story	Elev.	Max/Min Displacements			
		X-Dir. (+)	Y-Dir. (+)	X-Dir. (-)	Y-Dir. (-)
-	m	mm	mm	mm	mm
St10_(31.00)	31	65.8	131.3	-84.5	-158.5
St09_(28.00)	28	62.8	125.6	-81.4	-153.8
St08_(25.00)	25	60.7	118.7	-77.5	-147.6
St07_(22.00)	22	60.7	112.1	-72.0	-138.7
St06_(19.00)	19	58.0	103.5	-66.1	-129.3
St05_(16.00)	16	52.6	92.6	-59.9	-117.8
St04_(13.00)	13	44.8	78.8	-52.5	-102.2
St03_(10.00)	10	37.0	62.3	-43.1	-83.5
St02_(07.00)	7	27.9	43.1	-31.5	-60.3
St01_(04.00)	4	15.4	22.4	-17.5	-32.8
Base_(00.00)	0	0.0	0.0	0.0	0.0



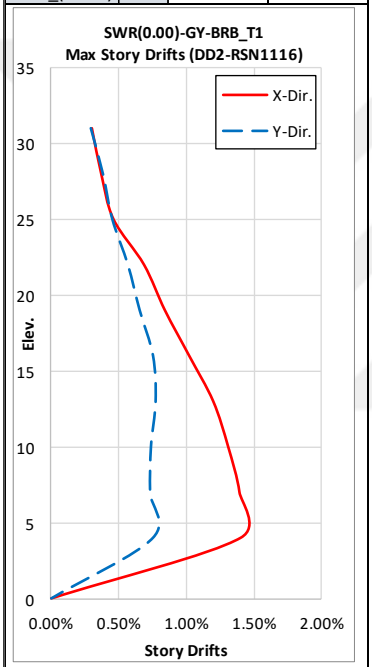
SWR(0.00)-GY-BRB_T1 Max/Min Story Disp. (DD2-RSN1615)					
Story	Elev.	Max/Min Displacements			
		X-Dir. (+)	Y-Dir. (+)	X-Dir. (-)	Y-Dir. (-)
-	m	mm	mm	mm	mm
St10_(31.00)	31	74.0	157.3	-101.2	-163.2
St09_(28.00)	28	70.1	154.6	-94.9	-161.4
St08_(25.00)	25	64.9	150.3	-86.8	-157.0
St07_(22.00)	22	58.7	143.5	-77.2	-149.1
St06_(19.00)	19	52.0	132.9	-67.1	-136.9
St05_(16.00)	16	45.2	118.1	-57.0	-124.5
St04_(13.00)	13	37.6	103.1	-46.8	-106.9
St03_(10.00)	10	28.7	85.7	-36.5	-80.2
St02_(07.00)	7	19.0	61.9	-25.0	-51.3
St01_(04.00)	4	9.4	32.9	-12.9	-24.8
Base_(00.00)	0	0.0	0.0	0.0	0.0



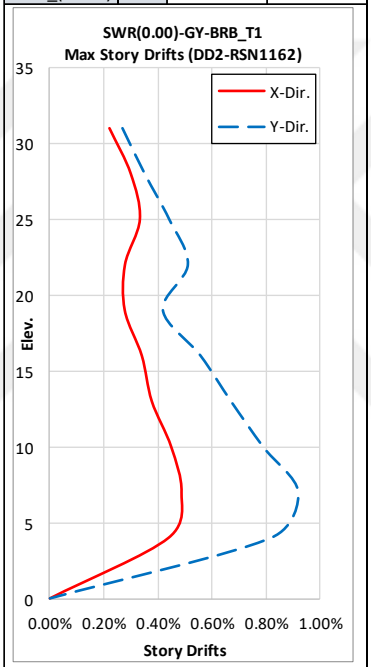
7.3.1.3. Maks. Göreli Kat Ötelenmesi Oranları (Max. Story Drifts)

Tablo 7.18: ETABS analiz sonuçlarında maksimum görelikat ötelenme oranları.

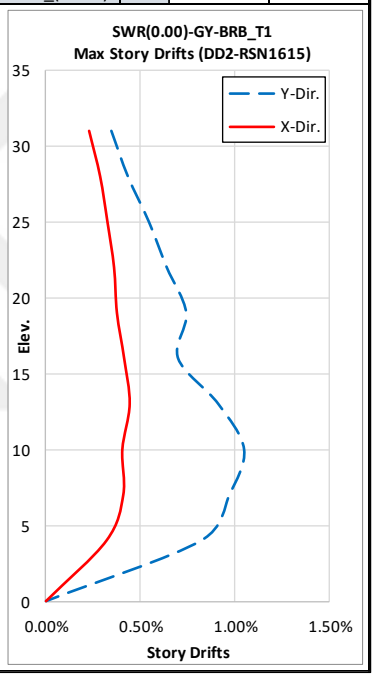
SWR(0.00)-GY-BRB_T1 Max Story Drifts (DD2-RSN1116)			
Story	Elev.	Story Drifts	
		X-Dir.	Y-Dir.
-	m	mm	mm
St10_(31.00)	31	0.30%	0.29%
St09_(28.00)	28	0.37%	0.38%
St08_(25.00)	25	0.46%	0.45%
St07_(22.00)	22	0.69%	0.57%
St06_(19.00)	19	0.84%	0.66%
St05_(16.00)	16	1.02%	0.75%
St04_(13.00)	13	1.20%	0.77%
St03_(10.00)	10	1.31%	0.74%
St02_(07.00)	7	1.40%	0.73%
St01_(04.00)	4	1.41%	0.75%
Base_(00.00)	0	0.00%	0.00%



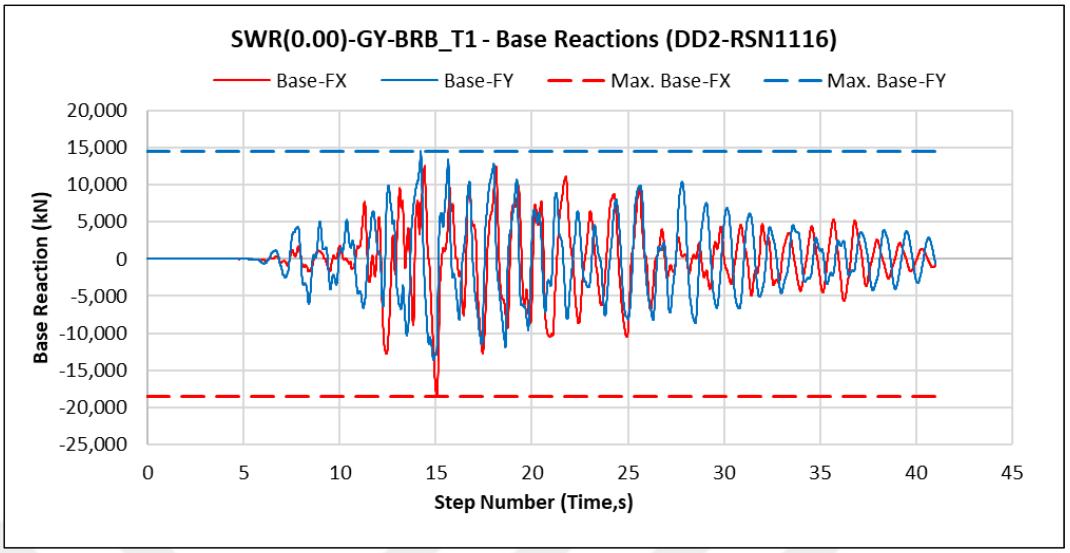
SWR(0.00)-GY-BRB_T1 Max Story Drifts (DD2-RSN1162)			
Story	Elev.	Story Drifts	
		X-Dir.	Y-Dir.
-	m	mm	mm
St10_(31.00)	31	0.22%	0.27%
St09_(28.00)	28	0.30%	0.35%
St08_(25.00)	25	0.33%	0.44%
St07_(22.00)	22	0.28%	0.51%
St06_(19.00)	19	0.28%	0.42%
St05_(16.00)	16	0.34%	0.56%
St04_(13.00)	13	0.38%	0.67%
St03_(10.00)	10	0.45%	0.79%
St02_(07.00)	7	0.49%	0.92%
St01_(04.00)	4	0.44%	0.82%
Base_(00.00)	0	0.00%	0.00%

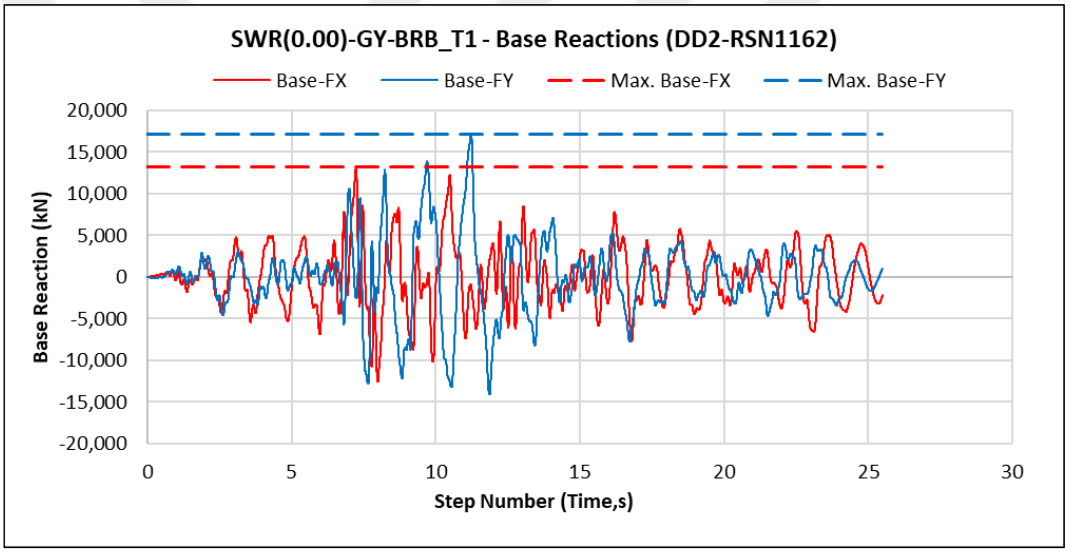


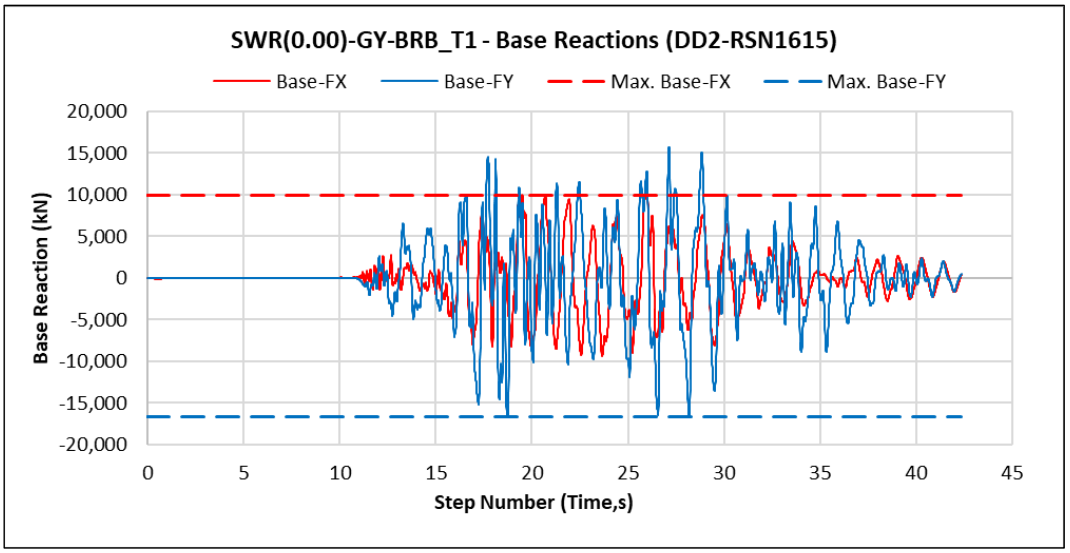
SWR(0.00)-GY-BRB_T1 Max Story Drifts (DD2-RSN1615)			
Story	Elev.	Story Drifts	
		X-Dir.	Y-Dir.
-	m	mm	mm
St10_(31.00)	31	0.23%	0.35%
St09_(28.00)	28	0.29%	0.43%
St08_(25.00)	25	0.33%	0.55%
St07_(22.00)	22	0.36%	0.64%
St06_(19.00)	19	0.38%	0.74%
St05_(16.00)	16	0.42%	0.70%
St04_(13.00)	13	0.44%	0.91%
St03_(10.00)	10	0.41%	1.05%
St02_(07.00)	7	0.41%	0.97%
St01_(04.00)	4	0.32%	0.82%
Base_(00.00)	0	0.00%	0.00%



7.3.1.4. Zamana Bağlı Taban Kesme Kuv. (NLTHA Base Forces)





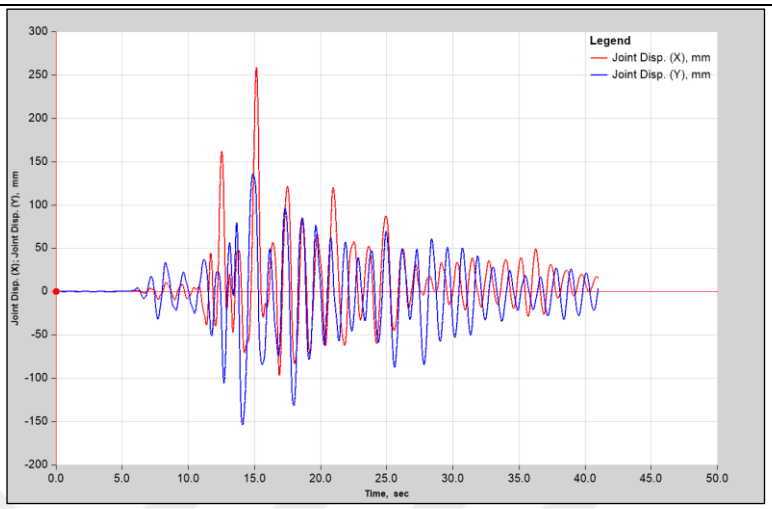


Şekil 7.21: Zamana bağlı taban kesme kuvvetleri.

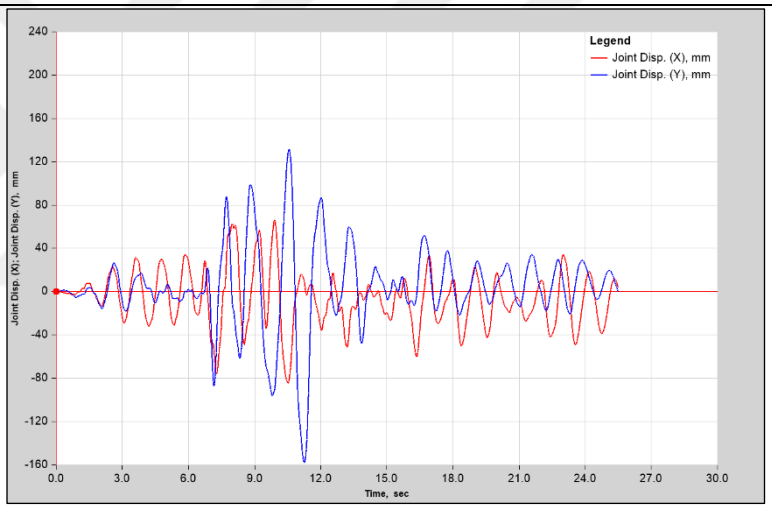
7.3.1.5. Zamana Bağlı Tepe Yer Değiştirmeleri (NLTHA Roof Disp.)

GY-BRB-T1 - Zamana Bağlı Tepe Yerdeğiştirmeleri

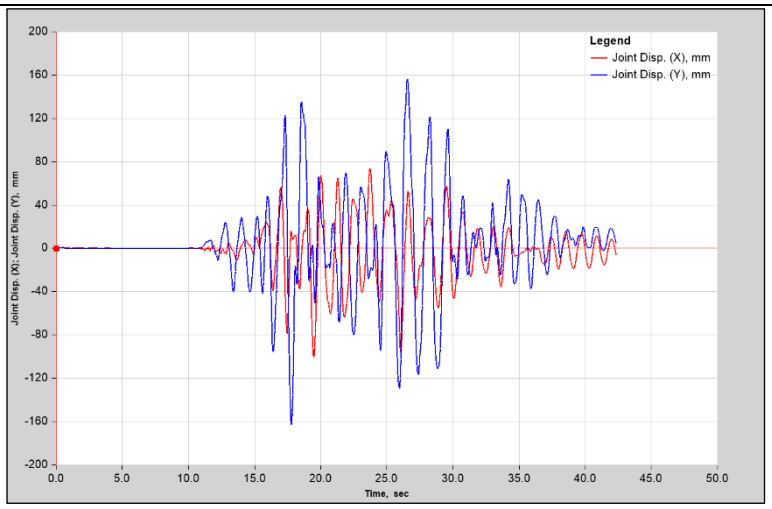
RSN1116



RSN1162



RSN1615



Şekil 7.22: Zamana bağlı tepe yer değiştirmeleri.

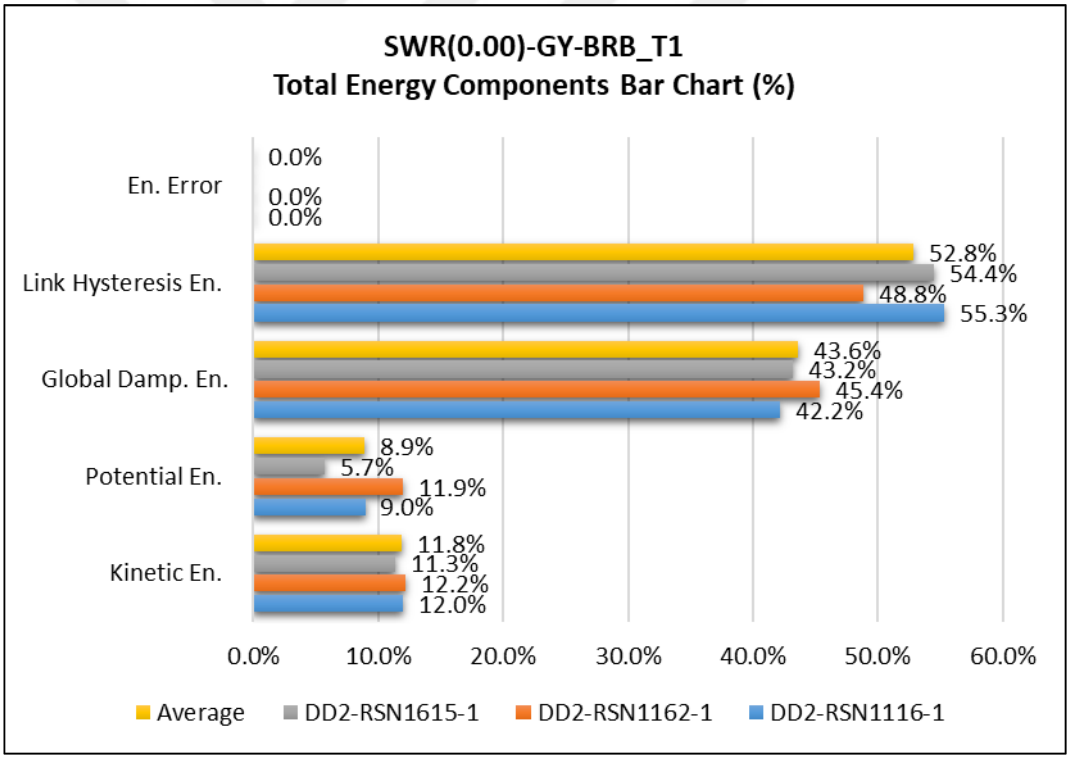
7.3.1.6. Toplam Enerji Bileşenleri (Total Energy Comp.):

Tablo 7.19: ETABS toplam enerji bileşenleri (kNm)

SWR(0.00)-GY-BRB_T1 - Total Energy Components (kNm)						
Output Case	Input En. (kNm)	Kinetic En. (kNm)	Potential En. (kNm)	Global (kNm)	Link (kNm)	En. Error (kNm)
DD2-RSN1116-1	19330.7	2324.0	1734.4	8148.7	10683.1	2.2
DD2-RSN1162-1	9241.9	1123.6	1104.1	4191.3	4511.4	0.4
DD2-RSN1615-1	19546.6	2212.9	1118.9	8439.6	10640.2	-0.1

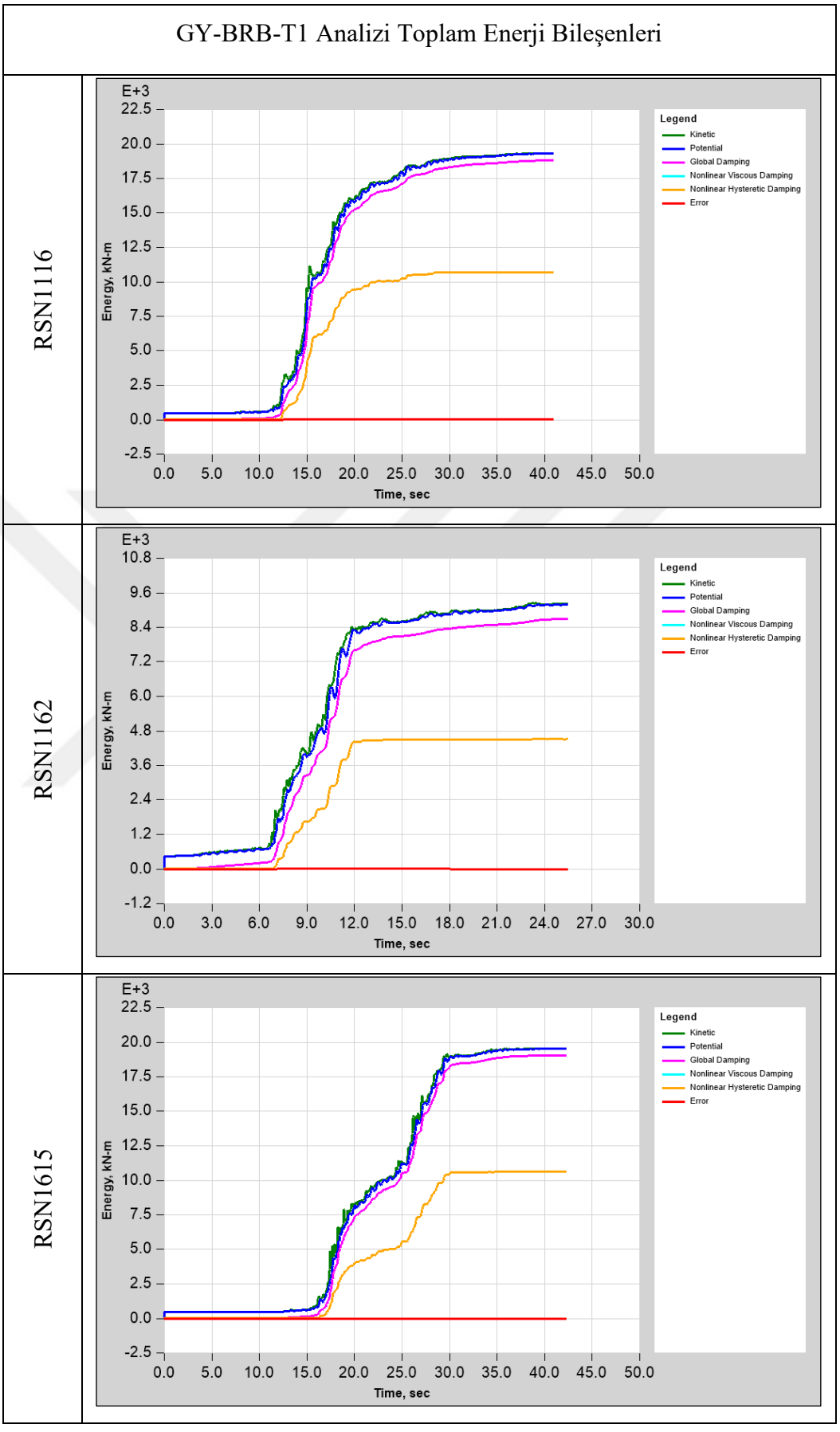
Tablo 7.20: ETABS toplam enerji bileşenleri (%)

SWR(0.00)-GY-BRB_T1 - Total Energy Components (%)					
Output Case	Kinetic	Potential	Global	Link	En. Error
DD2-RSN1116-1	12.0%	9.0%	42.2%	55.3%	0.0%
DD2-RSN1162-1	12.2%	11.9%	45.4%	48.8%	0.0%
DD2-RSN1615-1	11.3%	5.7%	43.2%	54.4%	0.0%
Average	11.8%	8.9%	43.6%	52.8%	0.0%



Şekil 7.23: ETABS analiz sonuçlarında enerji bileşenleri dağılımları.

Zaman tanım alanı analizleri sonucunda elde edilen, yapının toplam sismik enerji cevabını oluşturan enerji bileşenleri, yapının sismik yükler altındaki enerji taleplerini ayrıntılı olarak ortaya koymakta ve davranışın dinamik karakteristiklerini değerlendirmek açısından kritik öneme sahiptir.

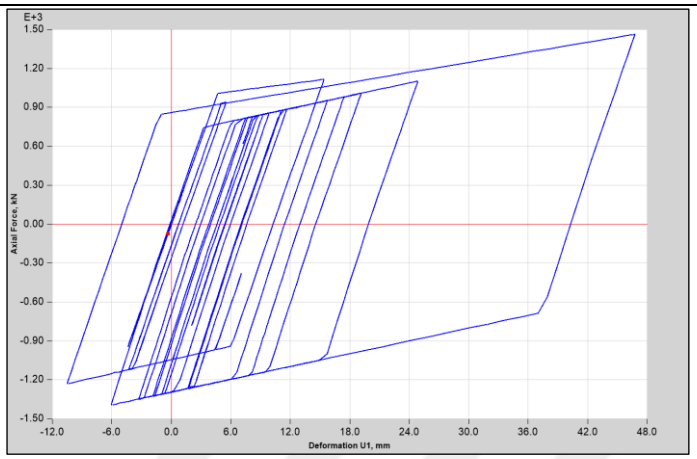


Şekil 7.24: ETABS analiz sonuçlarında enerji bileşenleri dağılımı grafiği.

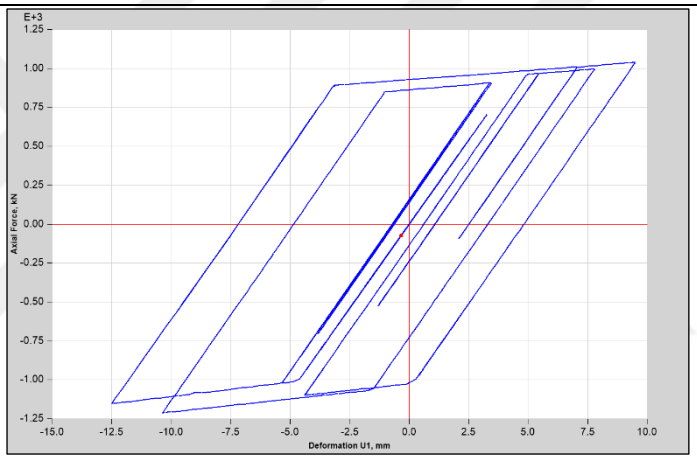
7.3.1.7. Link Kuvvet-Deplasman Eğrileri (Link Hysteresis)

GY-BRB-T1 Analizi BRB Link Kuvvet-Deplasman Eğrisi

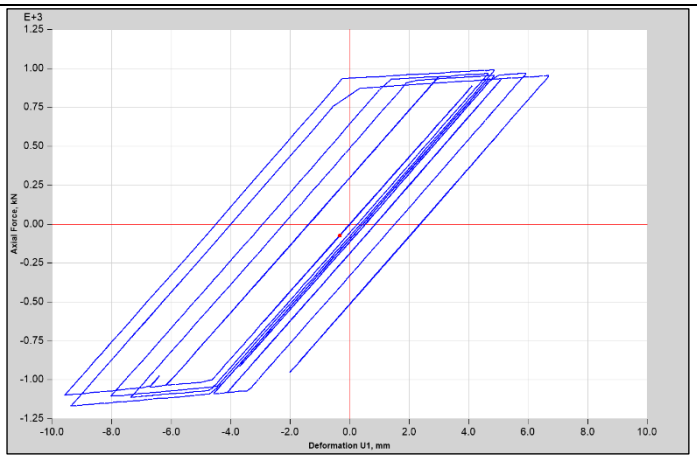
RSN1116



RSN1162



RSN1615

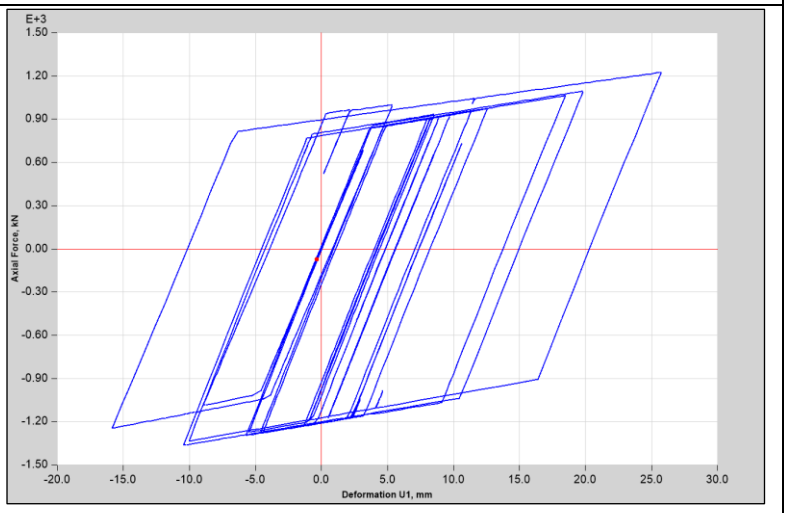


K4 Linki (X Yönü) Sonuçları

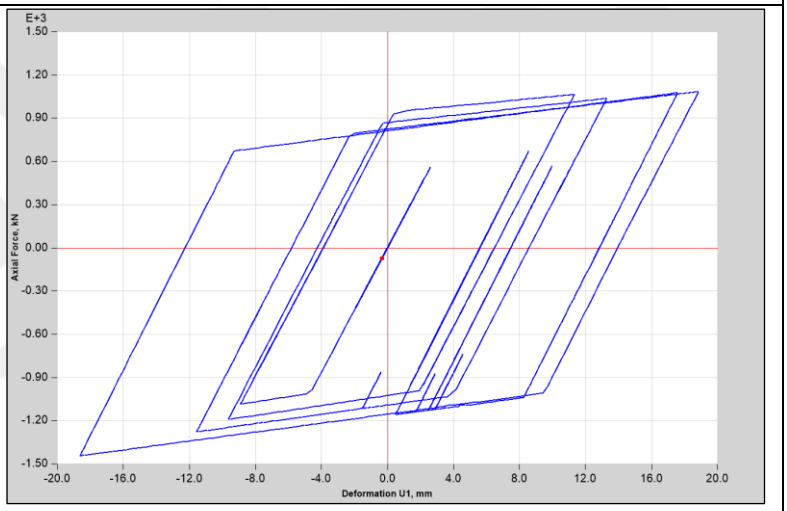
Şekil 7.25: ETABS analiz sonucunda link histeresis grafikleri.

GY-BRB-T1 Analizi BRB Link Kuvvet-Deplasman Eğrisi

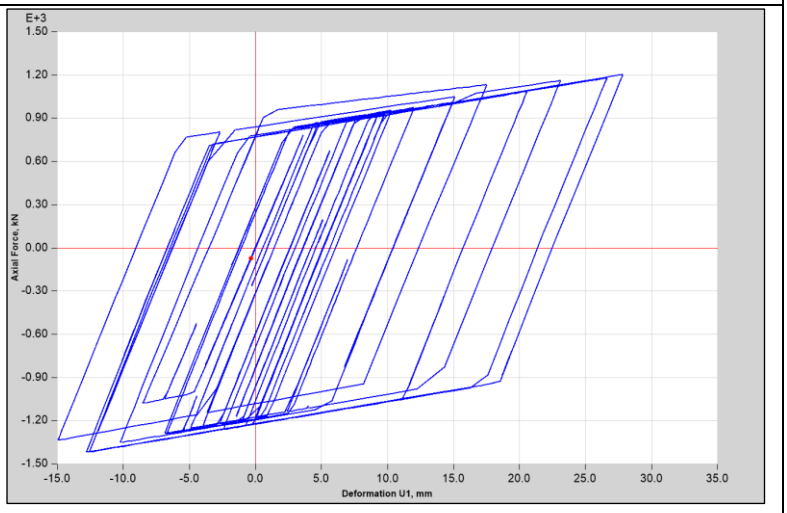
RSN1116



RSN1162



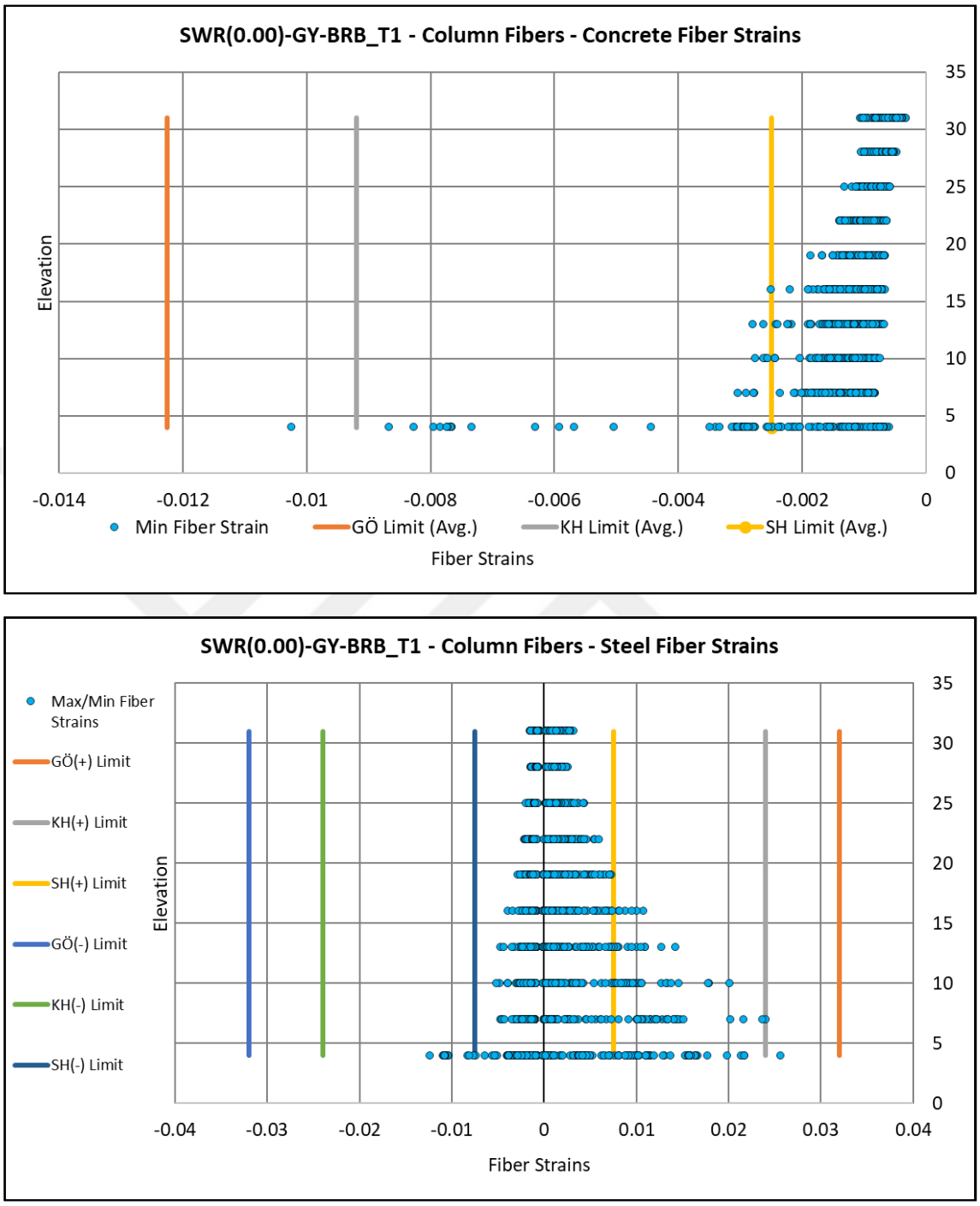
RSN1615



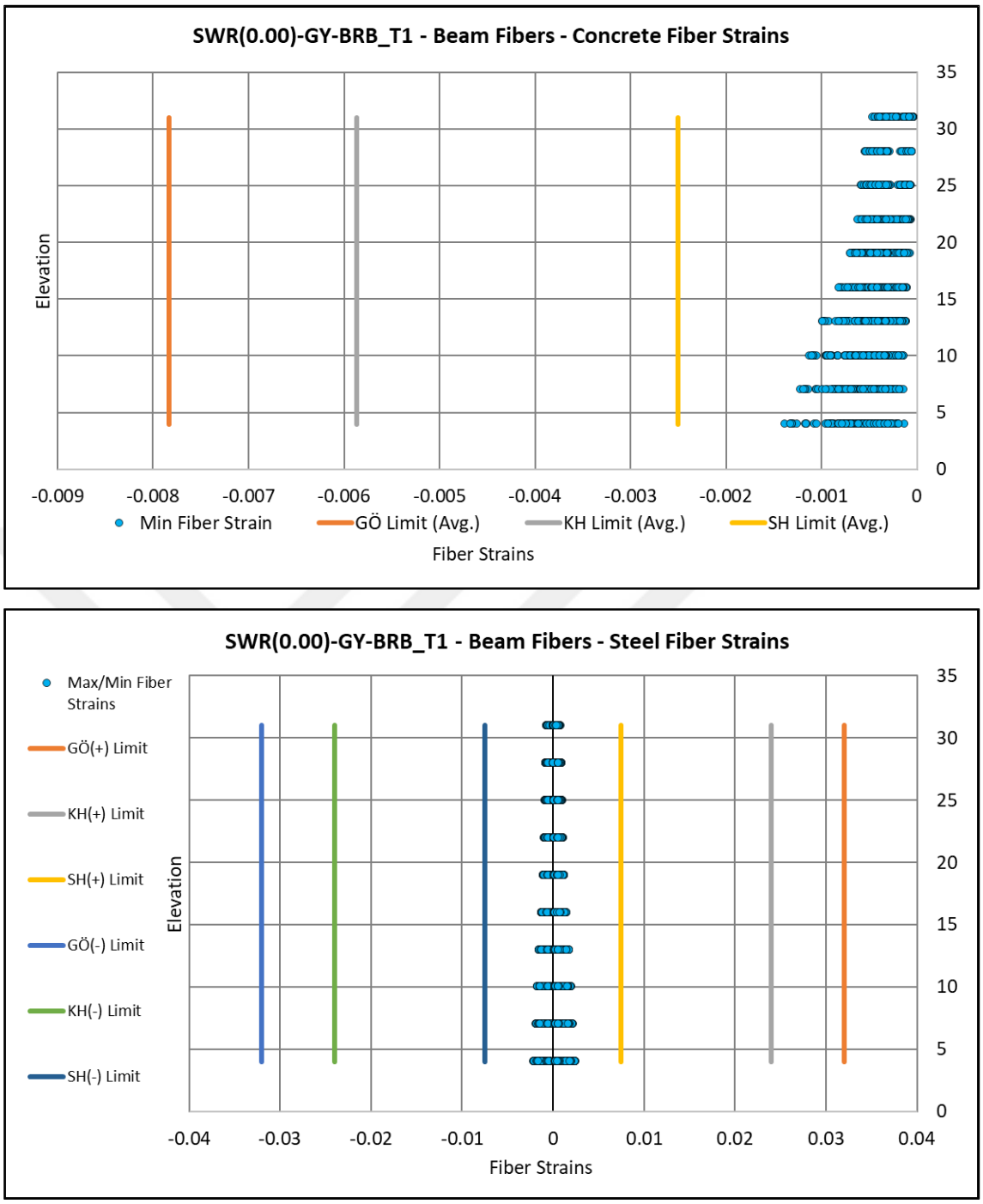
K264 Linki (Y Yönü) Sonuçları

Şekil 7.26: ETABS analiz sonucunda link histeresis grafikleri.

7.3.1.8. Eleman Hasar Düzeylerinin Özet Dağılım Grafikleri



Şekil 7.27: ETABS analiz sonuçlarında kolon beton ve çelik fiber sonuçları.



Şekil 7.28: ETABS analiz sonuçlarında kiriş beton ve çelik fiber sonuçları.

7.3.2. Tekil Çapraz BÖÇÇ (GY_BRB_T2) Sonuçları

7.3.2.1. Modal Özellikler

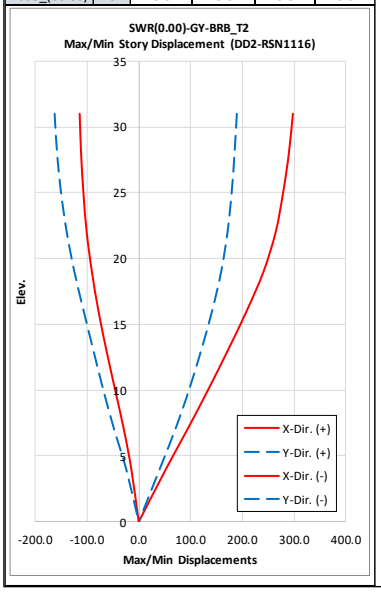
Tablo 7.21: ETABS modal analizde kütle katılım oranları ve periyotlar.

Modal Participating Mass Ratios (GY_BRB_T2)					
Case	Mode	Period	UX	UY	RZ
Modal	1	1.337	0.8166	0.0000	0.0000
Modal	2	1.335	0.0000	0.8165	0.0000
Modal	3	0.898	0.0000	0.0000	0.8286
Modal	4	0.449	0.1104	0.0000	0.0000
Modal	5	0.448	0.0000	0.1105	0.0000
Modal	6	0.302	0.0000	0.0000	0.1078
Modal	7	0.257	0.0347	0.0000	0.0000
Modal	8	0.257	0.0000	0.0347	0.0000
Modal	9	0.18	0.0162	0.0000	0.0000
Modal	10	0.18	0.0000	0.0162	0.0000

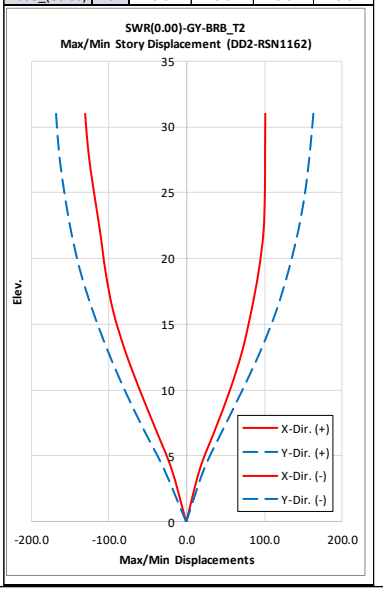
7.3.2.2. Mak. Kat Ötelenme Miktarları (Max. Story Displ.)

Tablo 7.22: ETABS analiz sonuçlarında maksimum kat ötelenme miktarları.

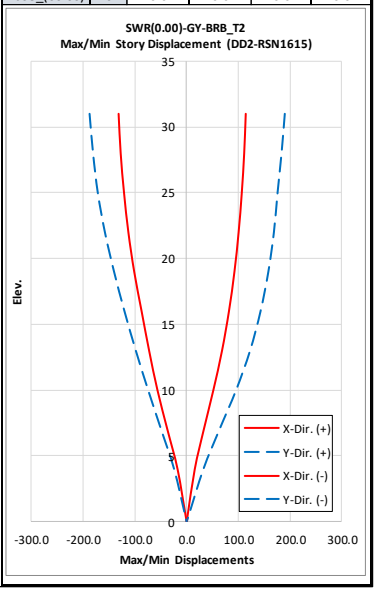
SWR(0.00)-GY-BRB_T2					
Max/Min Story Disp. (DD2-RSN1116)					
Story	Elev.	Max/Min Displacements			
		X-Dir. (+)	Y-Dir. (+)	X-Dir. (-)	Y-Dir. (-)
-	m	mm	mm	mm	mm
St10_(31.00)	31	298.4	189.2	-115.2	-162.3
St09_(28.00)	28	290.6	184.8	-112.3	-157.6
St08_(25.00)	25	279.4	179.2	-107.8	-149.8
St07_(22.00)	22	265.0	171.2	-101.4	-138.9
St06_(19.00)	19	241.4	158.9	-91.3	-124.1
St05_(16.00)	16	208.7	141.3	-78.4	-106.1
St04_(13.00)	13	172.1	120.2	-62.8	-87.3
St03_(10.00)	10	133.9	96.8	-45.8	-68.2
St02_(07.00)	7	93.8	70.2	-28.8	-47.2
St01_(04.00)	4	52.5	40.3	-14.4	-24.1
Base_(00.00)	0	0.0	0.0	0.0	0.0



SWR(0.00)-GY-BRB_T2					
Max/Min Story Disp. (DD2-RSN1162)					
Story	Elev.	Max/Min Displacements			
		X-Dir. (+)	Y-Dir. (+)	X-Dir. (-)	Y-Dir. (-)
-	m	mm	mm	mm	mm
St10_(31.00)	31	101.8	162.5	-130.8	-167.8
St09_(28.00)	28	101.5	158.0	-126.4	-163.9
St08_(25.00)	25	101.2	151.9	-119.2	-157.0
St07_(22.00)	22	99.4	142.8	-111.3	-148.2
St06_(19.00)	19	93.2	130.4	-104.4	-136.4
St05_(16.00)	16	83.7	114.9	-94.4	-120.3
St04_(13.00)	13	72.2	95.0	-79.0	-101.1
St03_(10.00)	10	56.2	71.7	-59.9	-79.2
St02_(07.00)	7	37.1	46.9	-39.2	-54.6
St01_(04.00)	4	17.4	22.7	-18.9	-28.6
Base_(00.00)	0	0.0	0.0	0.0	0.0



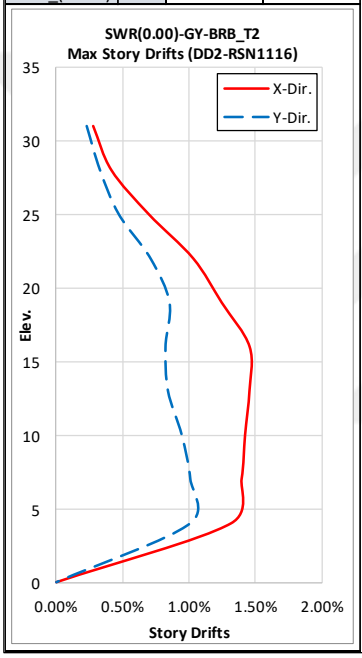
SWR(0.00)-GY-BRB_T2					
Max/Min Story Disp. (DD2-RSN1615)					
Story	Elev.	Max/Min Displacements			
		X-Dir. (+)	Y-Dir. (+)	X-Dir. (-)	Y-Dir. (-)
-	m	mm	mm	mm	mm
St10_(31.00)	31	114.2	190.3	-131.3	-187.3
St09_(28.00)	28	111.2	184.0	-127.3	-180.6
St08_(25.00)	25	106.5	176.3	-120.8	-171.5
St07_(22.00)	22	100.4	169.2	-112.4	-157.7
St06_(19.00)	19	92.3	158.4	-101.2	-140.1
St05_(16.00)	16	81.7	143.2	-86.9	-120.0
St04_(13.00)	13	68.3	122.9	-72.4	-98.0
St03_(10.00)	10	51.5	95.7	-56.3	-74.2
St02_(07.00)	7	33.0	63.3	-37.1	-49.1
St01_(04.00)	4	15.6	32.3	-17.5	-24.1
Base_(00.00)	0	0.0	0.0	0.0	0.0



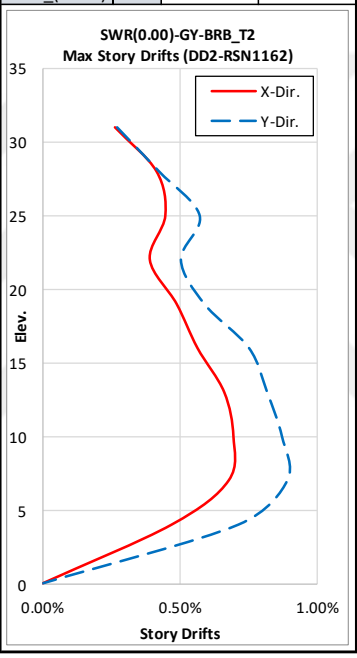
7.3.2.3. Maks. Göreli Kat Ötelenmesi Oranları (Max. Story Drifts)

Tablo 7.23: ETABS analiz sonuçlarında maksimum görelikat ötelenme oranları.

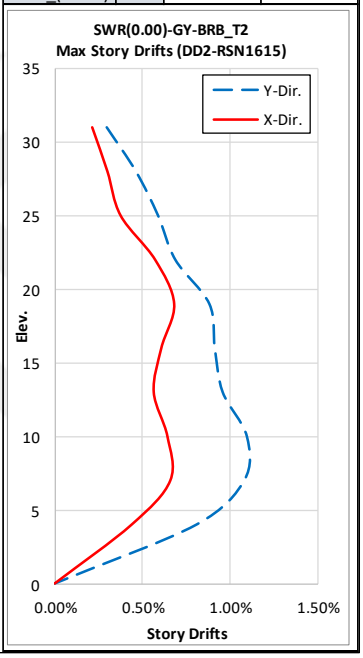
SWR(0.00)-GY-BRB_T2			
Max Story Drifts (DD2-RSN1116)			
Story	Elev.	Story Drifts	
		X-Dir.	Y-Dir.
-	m	mm	mm
St10_(31.00)	31	0.28%	0.23%
St09_(28.00)	28	0.41%	0.33%
St08_(25.00)	25	0.70%	0.47%
St07_(22.00)	22	1.03%	0.71%
St06_(19.00)	19	1.24%	0.85%
St05_(16.00)	16	1.45%	0.82%
St04_(13.00)	13	1.45%	0.84%
St03_(10.00)	10	1.42%	0.94%
St02_(07.00)	7	1.39%	1.01%
St01_(04.00)	4	1.31%	1.01%
Base_(00.00)	0	0.00%	0.00%



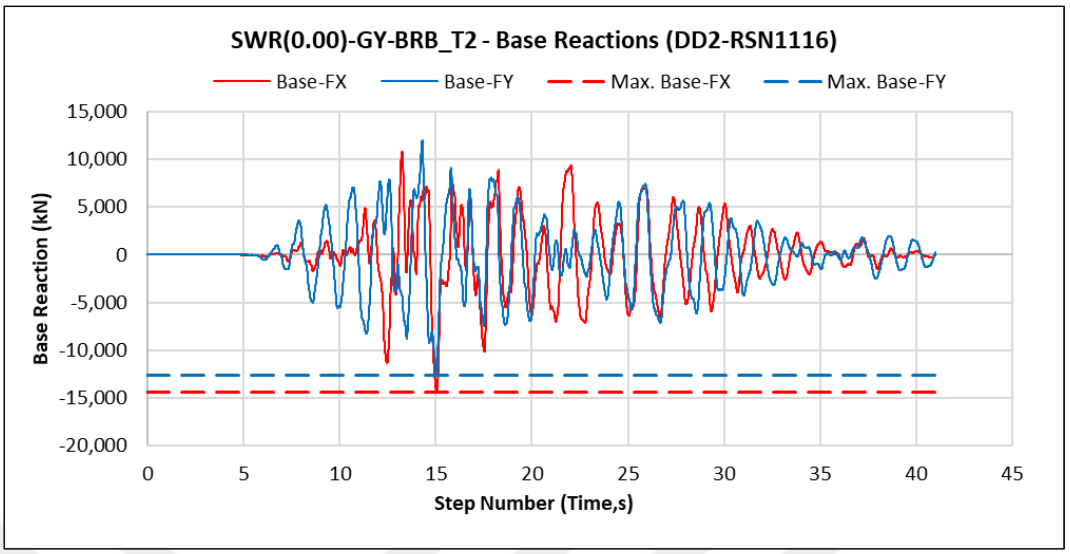
SWR(0.00)-GY-BRB_T2			
Max Story Drifts (DD2-RSN1162)			
Story	Elev.	Story Drifts	
		X-Dir.	Y-Dir.
-	m	mm	mm
St10_(31.00)	31	0.27%	0.27%
St09_(28.00)	28	0.42%	0.43%
St08_(25.00)	25	0.45%	0.57%
St07_(22.00)	22	0.39%	0.50%
St06_(19.00)	19	0.49%	0.59%
St05_(16.00)	16	0.57%	0.75%
St04_(13.00)	13	0.66%	0.82%
St03_(10.00)	10	0.70%	0.87%
St02_(07.00)	7	0.68%	0.89%
St01_(04.00)	4	0.47%	0.71%
Base_(00.00)	0	0.00%	0.00%

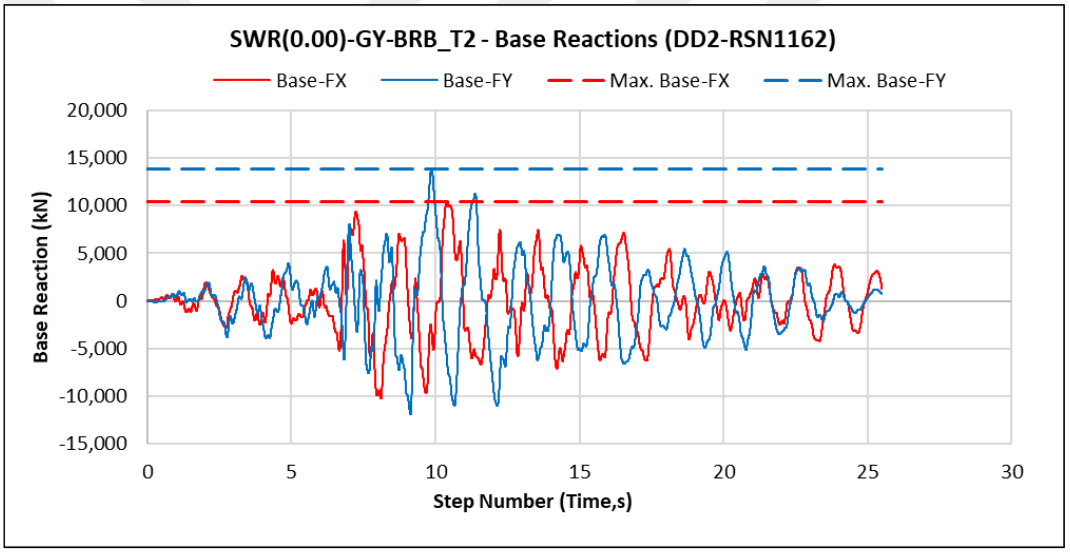


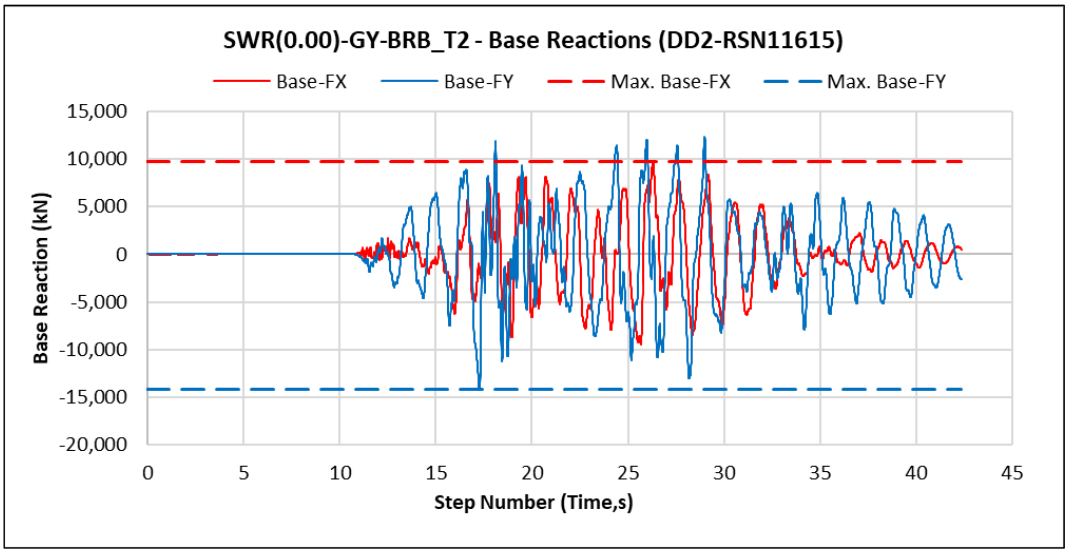
SWR(0.00)-GY-BRB_T2			
Max Story Drifts (DD2-RSN1615)			
Story	Elev.	Story Drifts	
		X-Dir.	Y-Dir.
-	m	mm	mm
St10_(31.00)	31	0.21%	0.30%
St09_(28.00)	28	0.30%	0.46%
St08_(25.00)	25	0.38%	0.59%
St07_(22.00)	22	0.57%	0.69%
St06_(19.00)	19	0.68%	0.88%
St05_(16.00)	16	0.61%	0.91%
St04_(13.00)	13	0.56%	0.96%
St03_(10.00)	10	0.64%	1.10%
St02_(07.00)	7	0.66%	1.08%
St01_(04.00)	4	0.44%	0.81%
Base_(00.00)	0	0.00%	0.00%



7.3.2.4. Zamana Bağlı Taban Kesme Kuv. (NLTHA Base Forces)





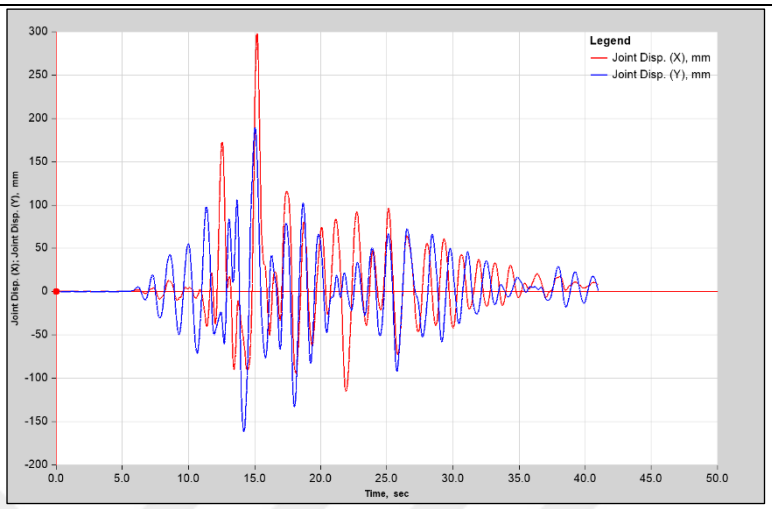


Şekil 7.29: Zamana bağlı taban kesme kuvvetleri.

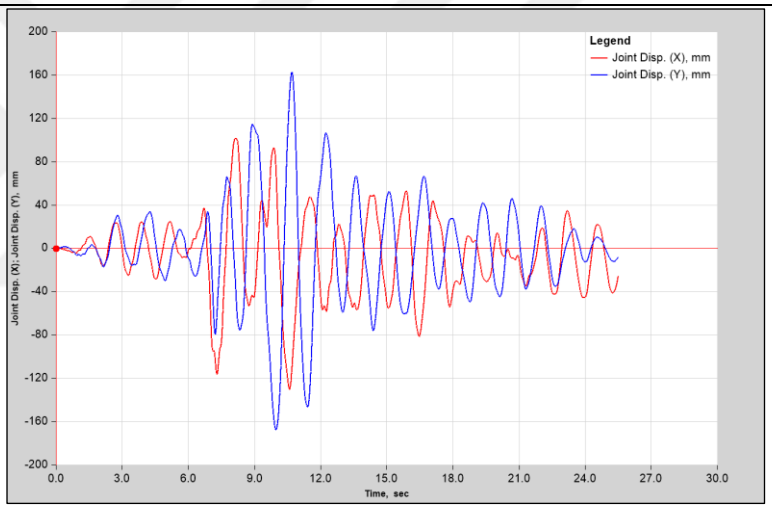
7.3.2.5. Zamana Bağlı Tepe Yer Değiştirmeleri (NLTHA Roof Disp.)

GY-BRB-T2 - Zamana Bağlı Tepe Yerdeğiştirmeleri

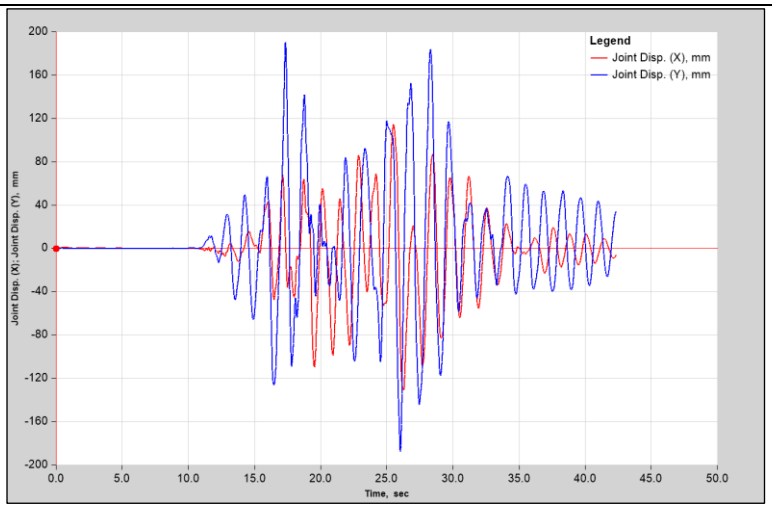
RSN1116



RSN1162



RSN1615



Şekil 7.30: Zamana bağlı tepe yer değiştirmeleri.

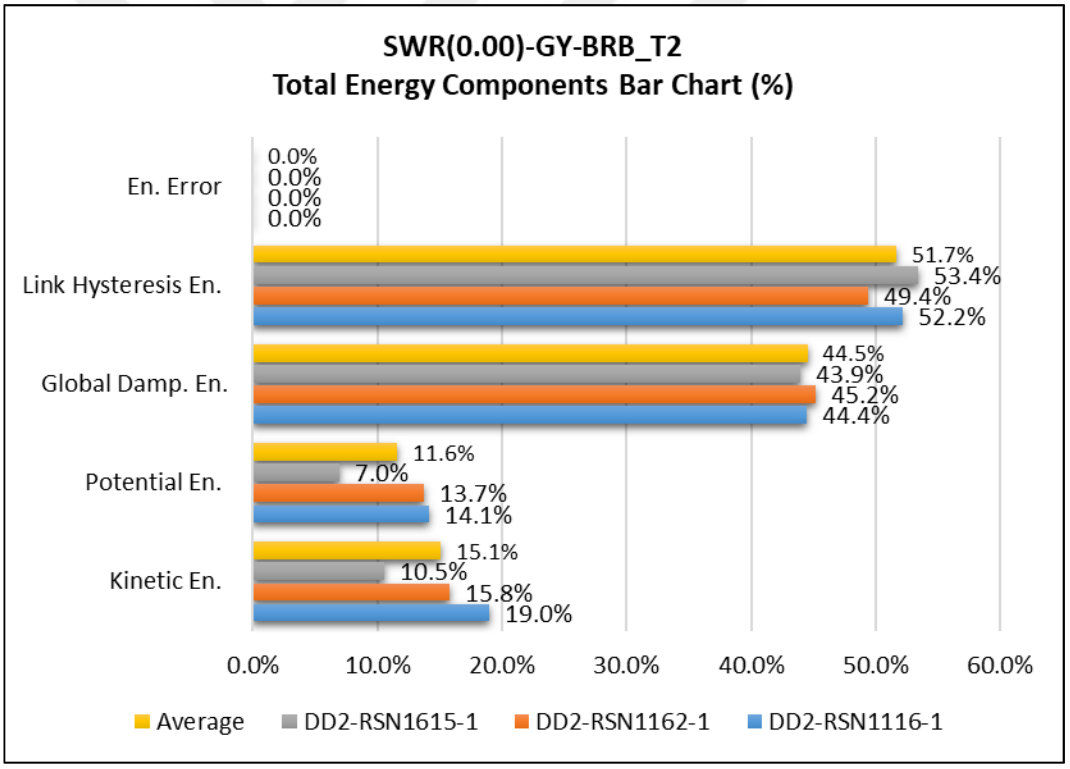
7.3.2.6. Toplam Enerji Bileşenleri (Total Energy Comp.):

Tablo 7.24: ETABS toplam enerji bileşenleri (kNm)

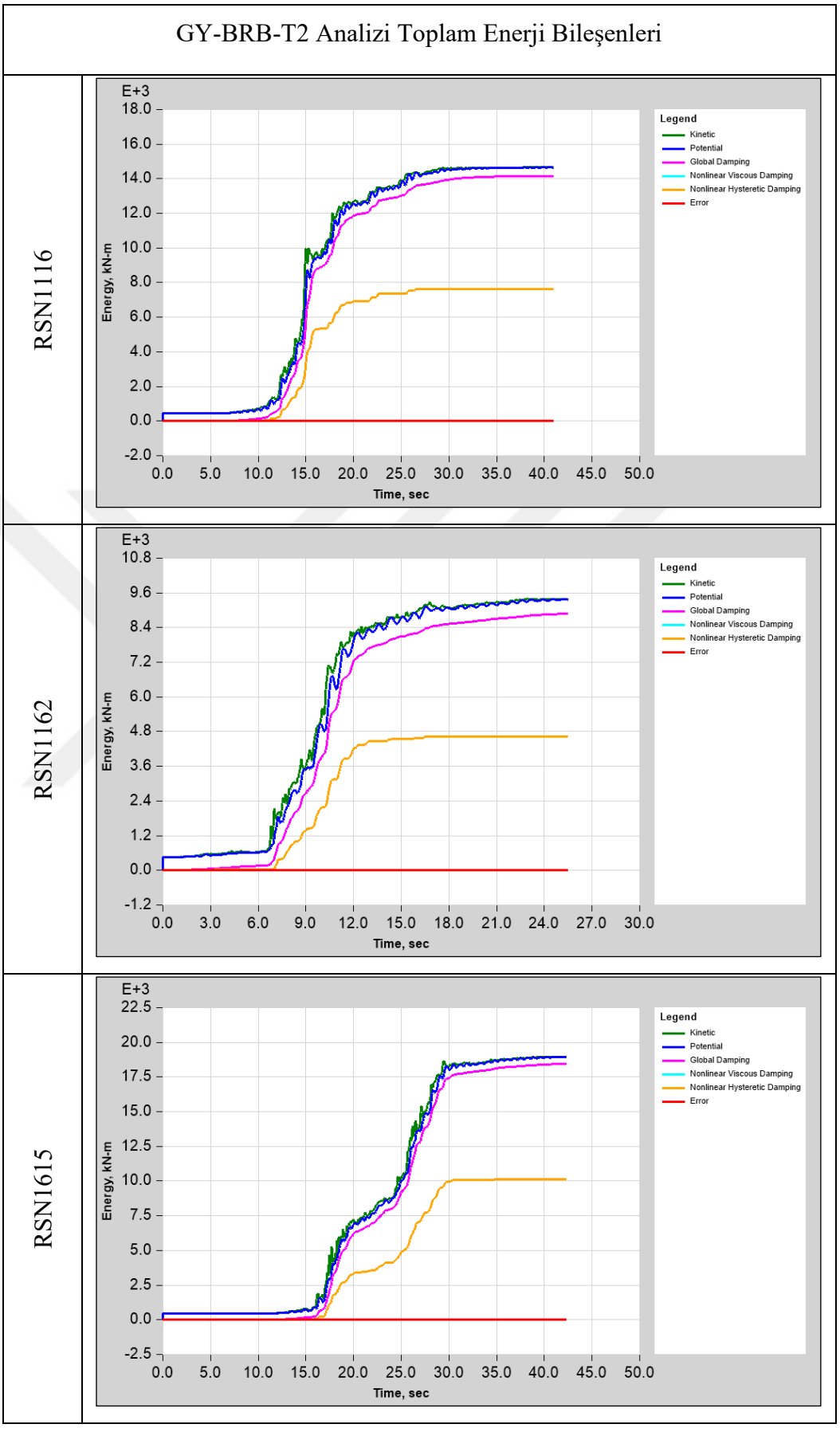
SWR(0.00)-GY-BRB_T2 - Total Energy Components (kNm)						
Output Case	Input En. (kNm)	Kinetic En. (kNm)	Potential En. (kNm)	Global (kNm)	Link (kNm)	En. Error (kNm)
DD2-RSN1116-1	14667.6	2790.8	2072.6	6518.5	7650.8	1.8
DD2-RSN1162-1	9397.3	1484.1	1289.5	4243.6	4639.7	0.5
DD2-RSN1615-1	18965.3	1993.1	1328.2	8332.6	10136.0	0.3

Tablo 7.25: ETABS toplam enerji bileşenleri (%)

SWR(0.00)-GY-BRB_T2 - Total Energy Components (%)					
Output Case	Kinetic	Potential	Global	Link	En. Error
DD2-RSN1116-1	19.0%	14.1%	44.4%	52.2%	0.0%
DD2-RSN1162-1	15.8%	13.7%	45.2%	49.4%	0.0%
DD2-RSN1615-1	10.5%	7.0%	43.9%	53.4%	0.0%
Average	15.1%	11.6%	44.5%	51.7%	0.0%



Şekil 7.31: ETABS analiz sonuçlarında enerji bileşenleri dağılımları.

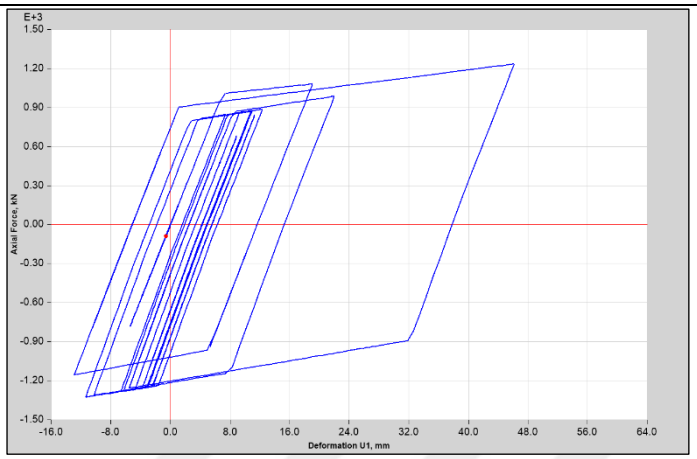


Şekil 7.32: ETABS analiz sonuçlarında enerji bileşenleri dağılımı grafiği.

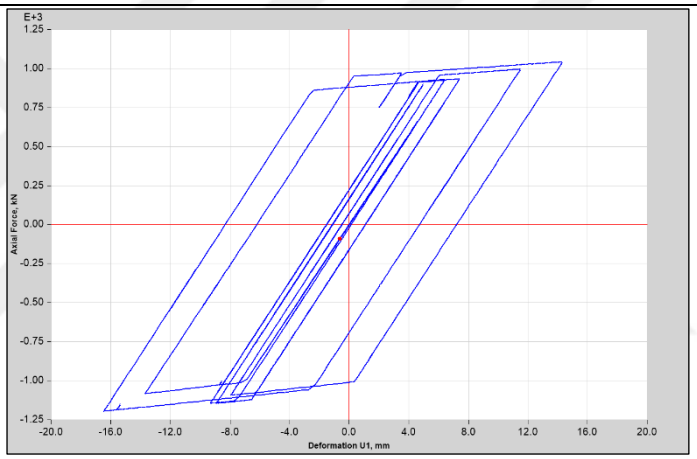
7.3.2.7. Link Kuvvet-Deplasman Eğrileri (Link Hysteresis)

GY-BRB-T2 Analizi BRB Link Kuvvet-Deplasman Eğrisi

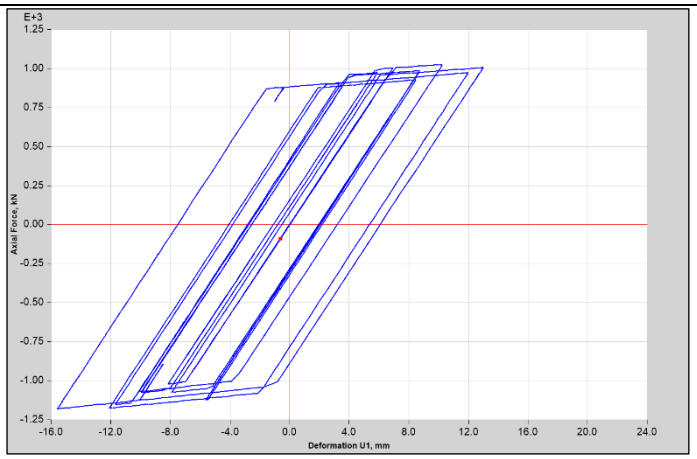
RSN1116



RSN1162



RSN1615

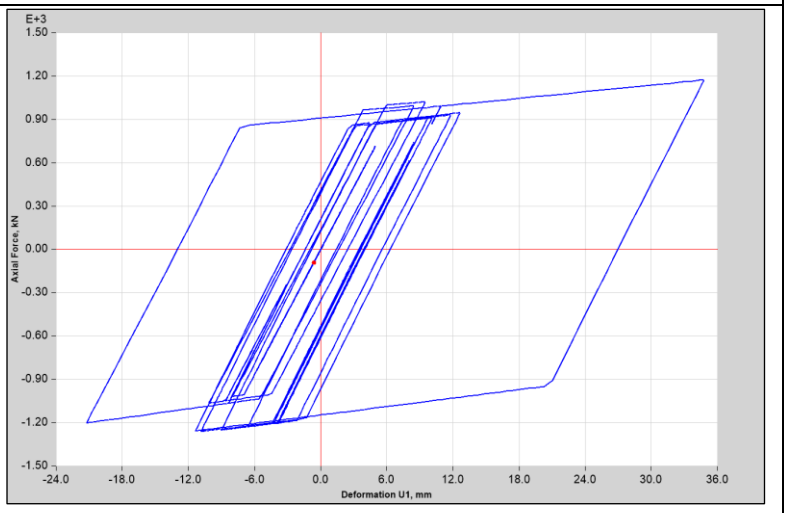


K4 Linki (X Yönü) Sonuçları

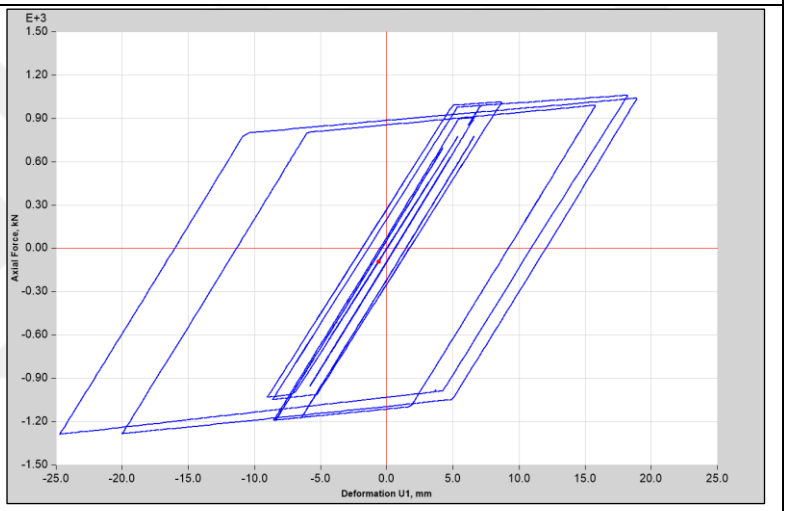
Şekil 7.33: ETABS analiz sonucunda link histeresis grafikleri.

GY-BRB-T2 Analizi BRB Link Kuvvet-Deplasman Eğrisi

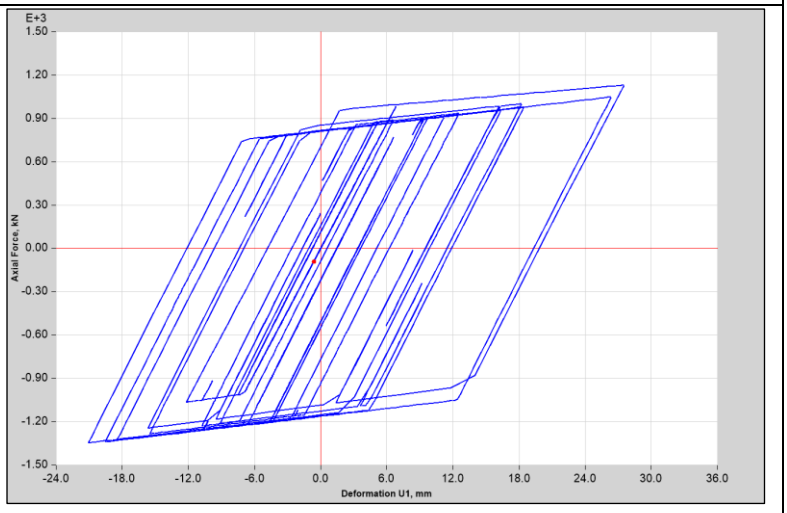
RSN1116



RSN1162



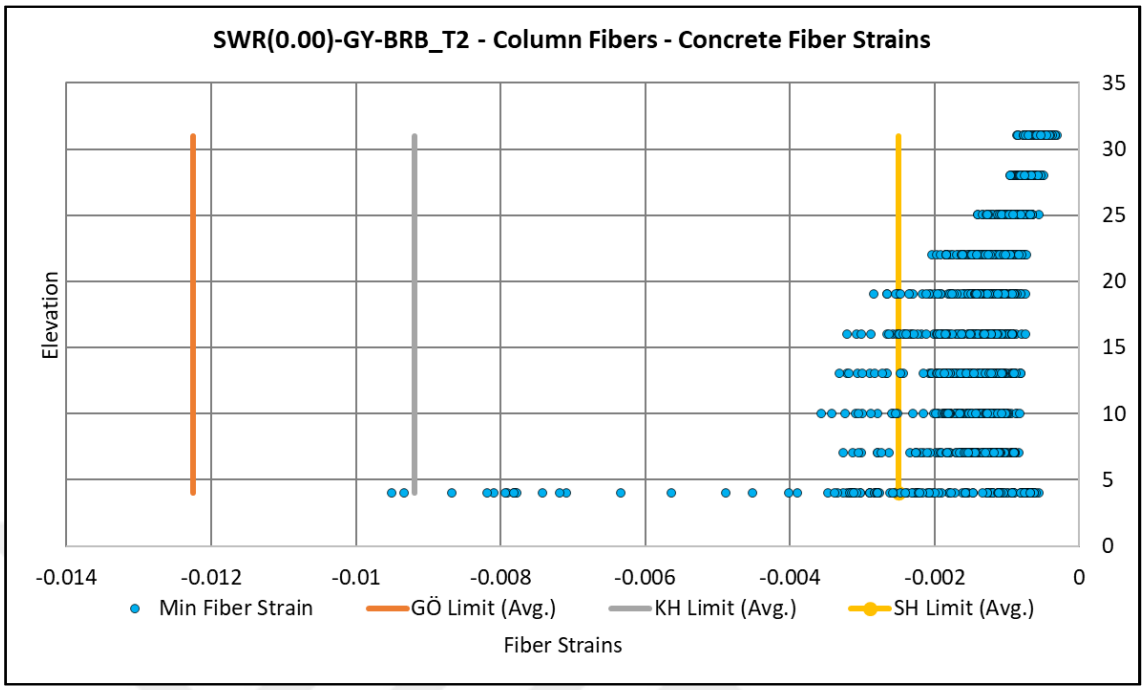
RSN1615

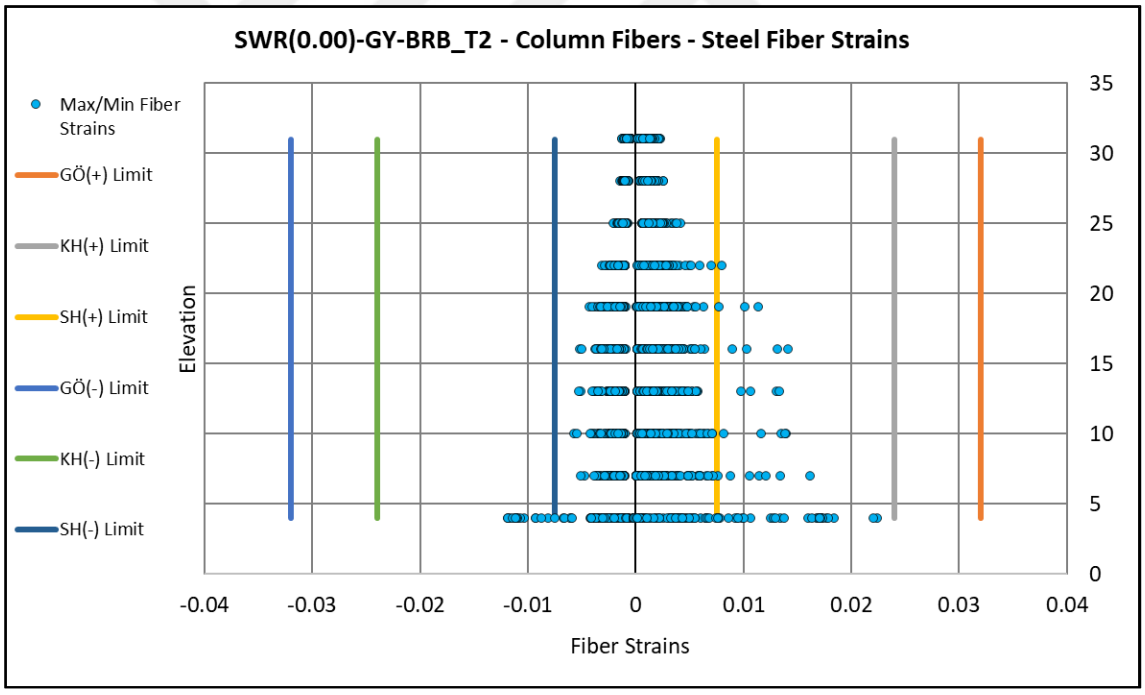


K264 Linki (Y Yönü) Sonuçları

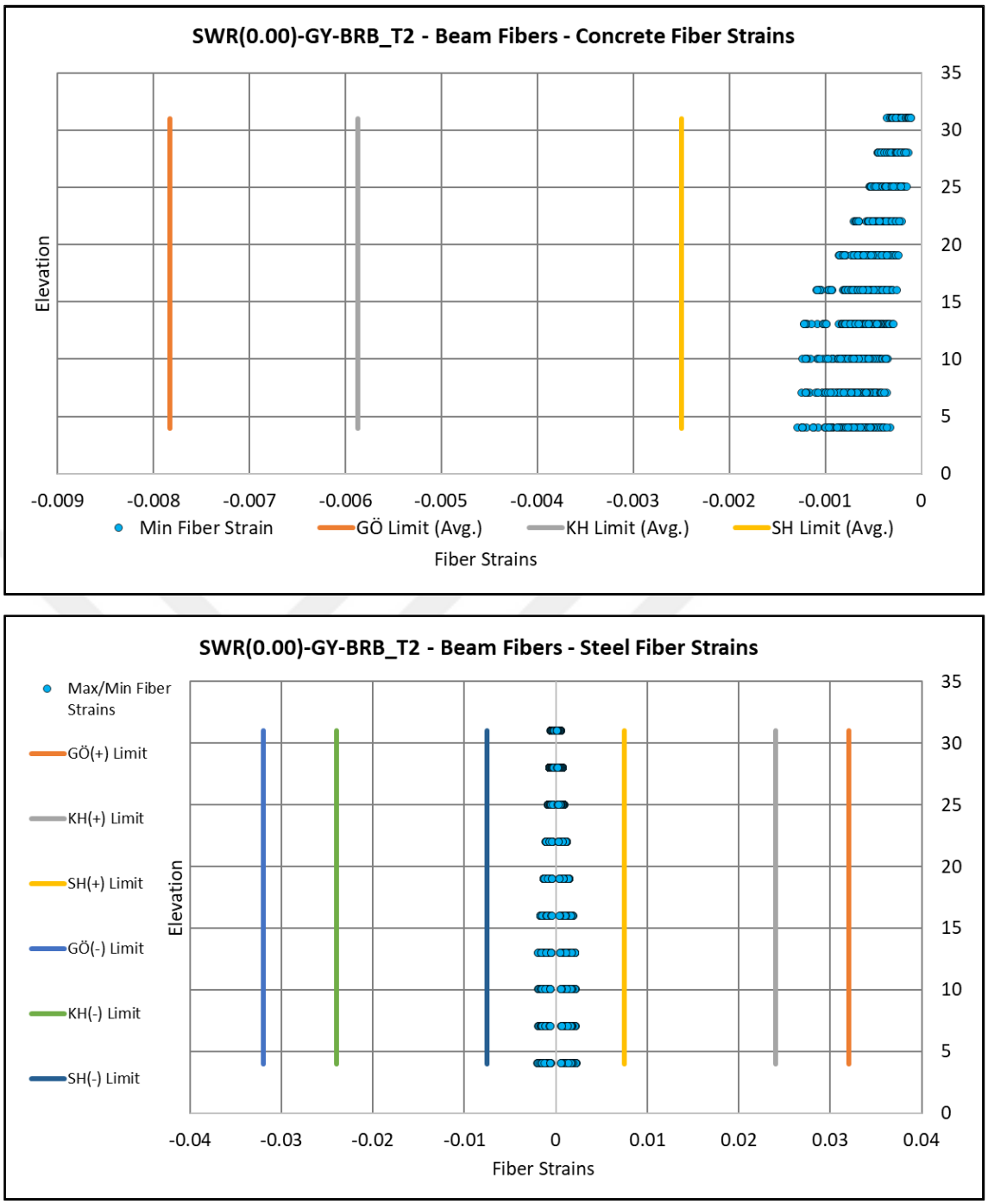
Şekil 7.34: ETABS analiz sonucunda link histeresis grafikleri.

7.3.2.8. Eleman Hasar Düzeylerinin Özet Dağılım Grafikleri





Şekil 7.35: ETABS analiz sonuçlarında kolon beton ve çelik fiber sonuçları.



Şekil 7.36: ETABS analiz sonuçlarında kiriş beton ve çelik fiber sonuçları.

7.3.3. Eksantrik BÖÇÇ (GY_BRB_T3) Sonuçları

7.3.3.1. Modal Özellikler

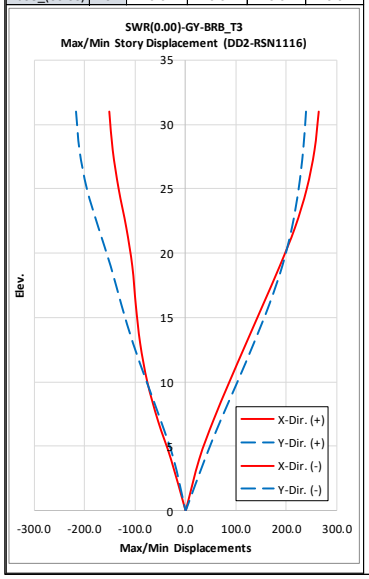
Tablo 7.26: ETABS modal analizde kütle katılım oranları ve periyotlar.

Modal Participating Mass Ratios (GY_BRB_T3)					
Case	Mode	Period	UX	UY	RZ
Modal	1	1.502	0.8194	0.0000	0.0017
Modal	2	1.471	0.0000	0.8209	0.0000
Modal	3	1.045	0.0017	0.0000	0.8368
Modal	4	0.507	0.1052	0.0000	0.0001
Modal	5	0.497	0.0000	0.1063	0.0000
Modal	6	0.354	0.0002	0.0000	0.1014
Modal	7	0.293	0.0346	0.0000	0.0000
Modal	8	0.288	0.0000	0.0346	0.0000
Modal	9	0.209	0.0000	0.0000	0.0312
Modal	10	0.204	0.0161	0.0000	0.0000

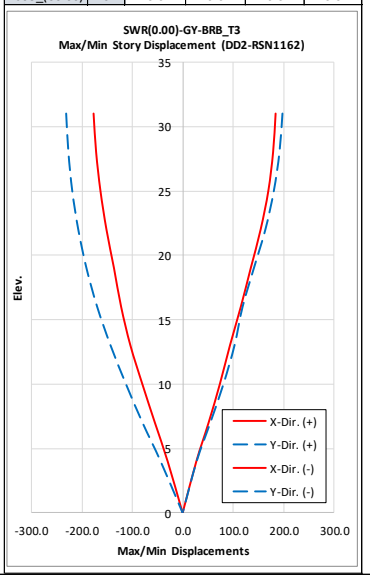
7.3.3.2. Mak. Kat Ötelenme Miktarları (Max. Story Displ.)

Tablo 7.27: ETABS analiz sonuçlarında maksimum kat ötelenme miktarları.

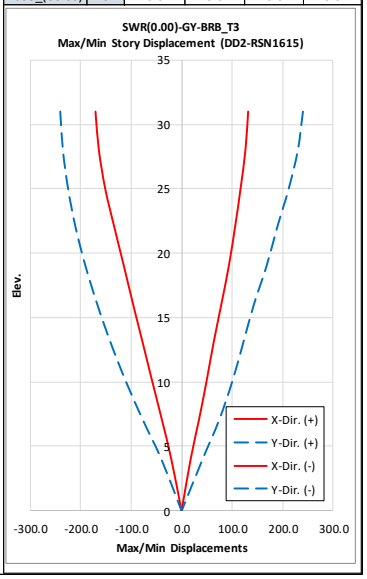
SWR(0.00)-GY-BRB_T3					
Max/Min Story Disp. (DD2-RSN1116)					
Story	Elev.	Max/Min Displacements			
		X-Dir. (+)	Y-Dir. (+)	X-Dir. (-)	Y-Dir. (-)
-	m	mm	mm	mm	mm
St10_(31.00)	31	264.2	239.7	-151.3	-215.9
St09_(28.00)	28	255.8	234.0	-144.5	-209.1
St08_(25.00)	25	240.3	224.9	-132.8	-194.5
St07_(22.00)	22	217.1	211.7	-117.7	-171.8
St06_(19.00)	19	186.7	192.3	-105.7	-147.6
St05_(16.00)	16	153.5	166.3	-98.8	-126.5
St04_(13.00)	13	119.9	135.5	-90.1	-103.5
St03_(10.00)	10	86.6	103.0	-75.9	-76.6
St02_(07.00)	7	54.7	69.3	-54.8	-48.8
St01_(04.00)	4	26.8	38.1	-28.9	-23.5
Base_(00.00)	0	0.0	0.0	0.0	0.0



SWR(0.00)-GY-BRB_T3					
Max/Min Story Disp. (DD2-RSN1162)					
Story	Elev.	Max/Min Displacements			
		X-Dir. (+)	Y-Dir. (+)	X-Dir. (-)	Y-Dir. (-)
-	m	mm	mm	mm	mm
St10_(31.00)	31	183.9	198.0	-176.5	-231.0
St09_(28.00)	28	178.9	192.0	-171.4	-226.6
St08_(25.00)	25	169.5	180.9	-162.9	-218.9
St07_(22.00)	22	154.3	164.1	-151.0	-207.0
St06_(19.00)	19	134.7	141.3	-136.0	-190.7
St05_(16.00)	16	115.1	118.9	-121.9	-169.5
St04_(13.00)	13	93.5	102.9	-103.5	-142.9
St03_(10.00)	10	73.6	80.9	-79.8	-112.4
St02_(07.00)	7	51.3	54.8	-54.9	-79.5
St01_(04.00)	4	27.1	27.8	-29.6	-43.6
Base_(00.00)	0	0.0	0.0	0.0	0.0



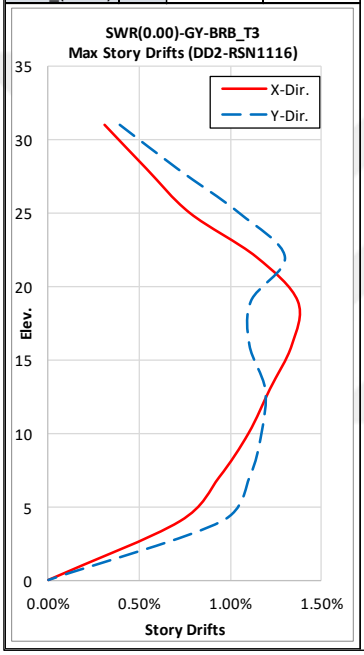
SWR(0.00)-GY-BRB_T3					
Max/Min Story Disp. (DD2-RSN1615)					
Story	Elev.	Max/Min Displacements			
		X-Dir. (+)	Y-Dir. (+)	X-Dir. (-)	Y-Dir. (-)
-	m	mm	mm	mm	mm
St10_(31.00)	31	131.4	239.7	-170.0	-239.6
St09_(28.00)	28	126.0	229.6	-163.3	-234.3
St08_(25.00)	25	116.3	211.5	-150.7	-224.0
St07_(22.00)	22	105.4	188.7	-132.7	-209.2
St06_(19.00)	19	93.1	167.7	-113.9	-189.7
St05_(16.00)	16	78.3	142.6	-95.5	-166.2
St04_(13.00)	13	62.8	121.4	-76.4	-139.5
St03_(10.00)	10	48.9	99.7	-57.6	-109.4
St02_(07.00)	7	33.8	73.6	-38.4	-75.7
St01_(04.00)	4	17.8	41.3	-20.2	-39.7
Base_(00.00)	0	0.0	0.0	0.0	0.0



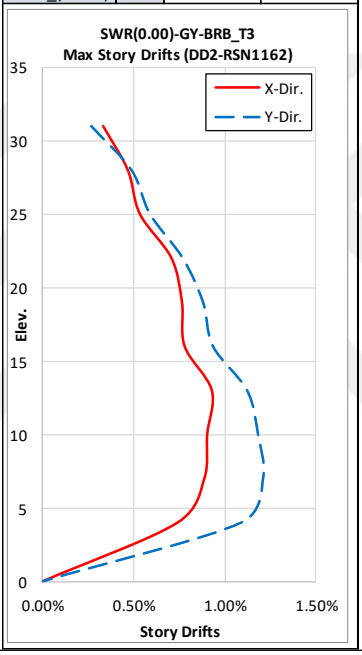
7.3.3.3. Maks. Göreli Kat Ötelenmesi Oranları (Max. Story Drifts)

Tablo 7.28: ETABS analiz sonuçlarında maksimum görelikat ötelenme oranları.

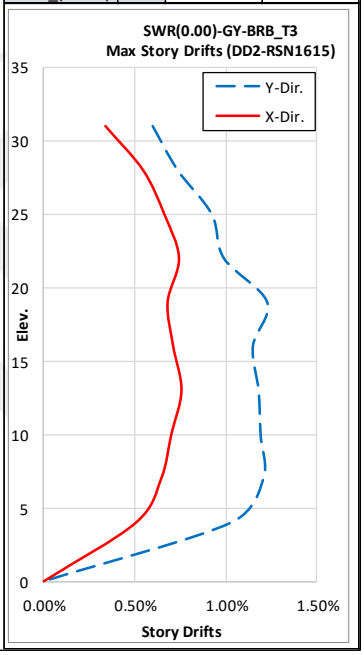
SWR(0.00)-GY-BRB_T3 Max Story Drifts (DD2-RSN1116)			
Story	Elev.	Story Drifts	
		X-Dir.	Y-Dir.
-	m	mm	mm
St10_(31.00)	31	0.31%	0.39%
St09_(28.00)	28	0.54%	0.71%
St08_(25.00)	25	0.78%	1.05%
St07_(22.00)	22	1.14%	1.30%
St06_(19.00)	19	1.37%	1.11%
St05_(16.00)	16	1.34%	1.11%
St04_(13.00)	13	1.22%	1.19%
St03_(10.00)	10	1.10%	1.17%
St02_(07.00)	7	0.94%	1.11%
St01_(04.00)	4	0.72%	0.95%
Base_(00.00)	0	0.00%	0.00%



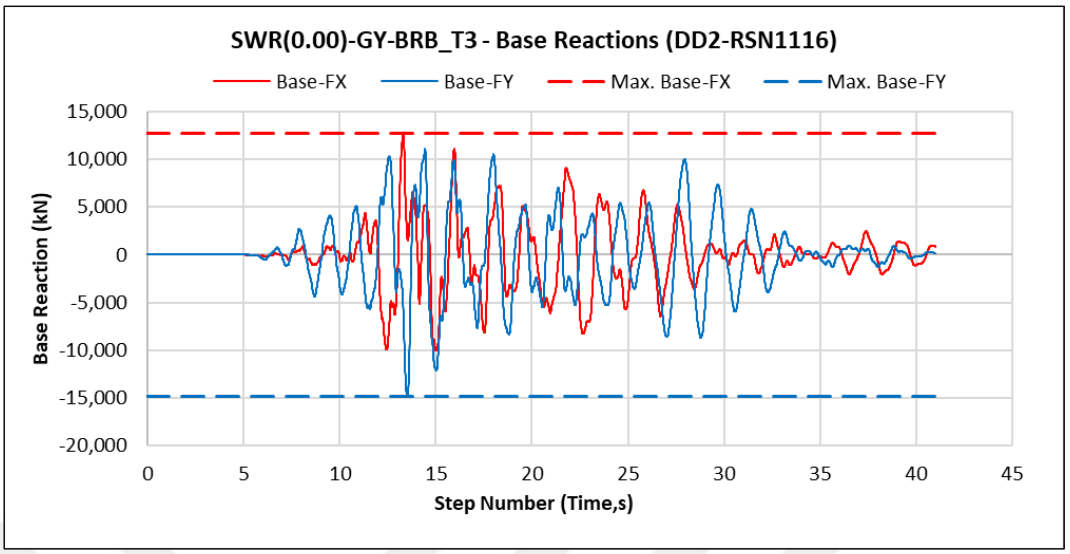
SWR(0.00)-GY-BRB_T3 Max Story Drifts (DD2-RSN1162)			
Story	Elev.	Story Drifts	
		X-Dir.	Y-Dir.
-	m	mm	mm
St10_(31.00)	31	0.33%	0.27%
St09_(28.00)	28	0.47%	0.49%
St08_(25.00)	25	0.53%	0.59%
St07_(22.00)	22	0.71%	0.77%
St06_(19.00)	19	0.77%	0.88%
St05_(16.00)	16	0.78%	0.93%
St04_(13.00)	13	0.93%	1.12%
St03_(10.00)	10	0.90%	1.18%
St02_(07.00)	7	0.89%	1.21%
St01_(04.00)	4	0.74%	1.09%
Base_(00.00)	0	0.00%	0.00%

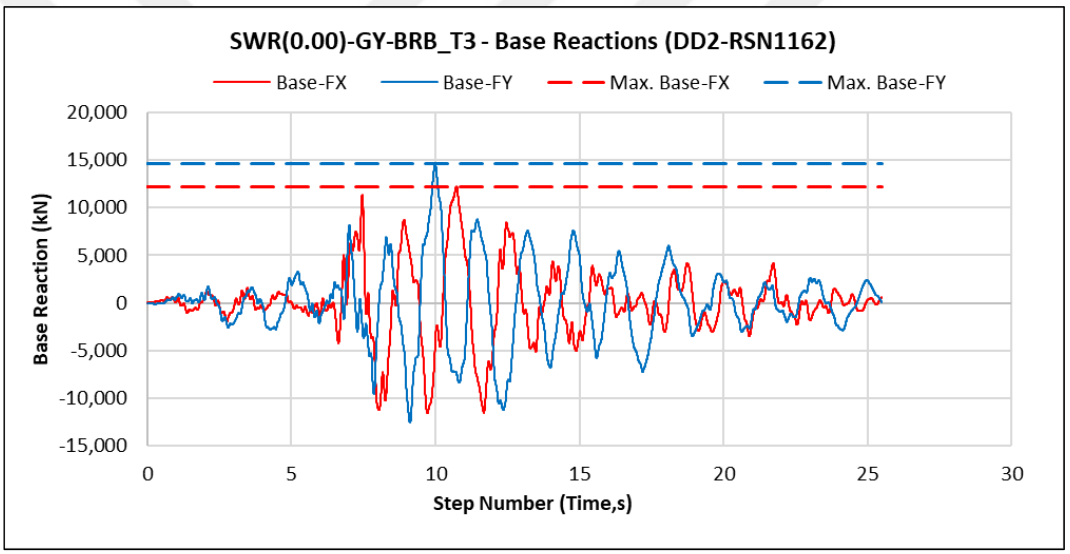


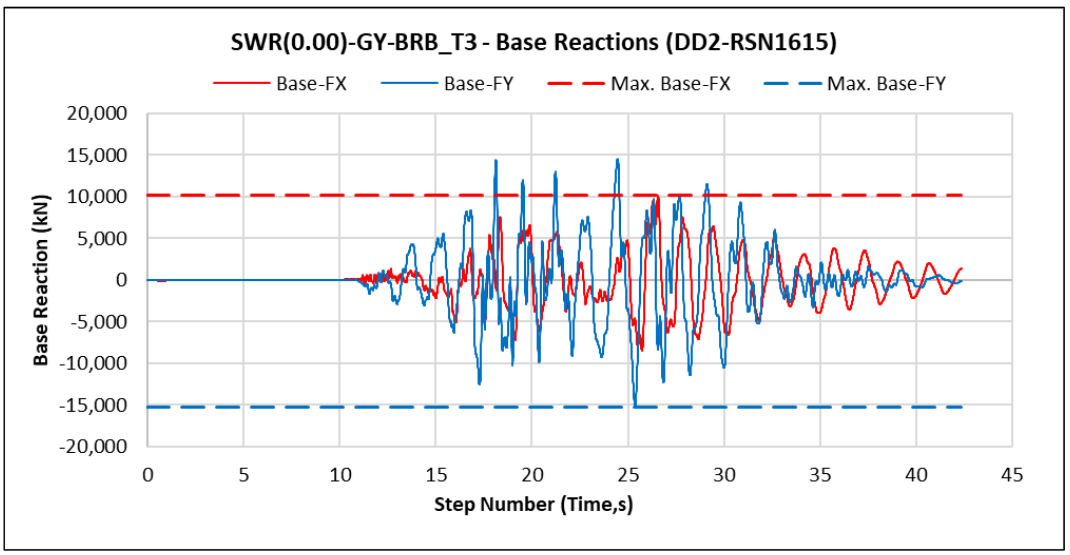
SWR(0.00)-GY-BRB_T3 Max Story Drifts (DD2-RSN1615)			
Story	Elev.	Story Drifts	
		X-Dir.	Y-Dir.
-	m	mm	mm
St10_(31.00)	31	0.34%	0.60%
St09_(28.00)	28	0.54%	0.74%
St08_(25.00)	25	0.66%	0.92%
St07_(22.00)	22	0.74%	0.99%
St06_(19.00)	19	0.68%	1.23%
St05_(16.00)	16	0.71%	1.15%
St04_(13.00)	13	0.76%	1.18%
St03_(10.00)	10	0.70%	1.19%
St02_(07.00)	7	0.64%	1.21%
St01_(04.00)	4	0.51%	1.03%
Base_(00.00)	0	0.00%	0.00%



7.3.3.4. Zamana Bağlı Taban Kesme Kuv. (NLTHA Base Forces)





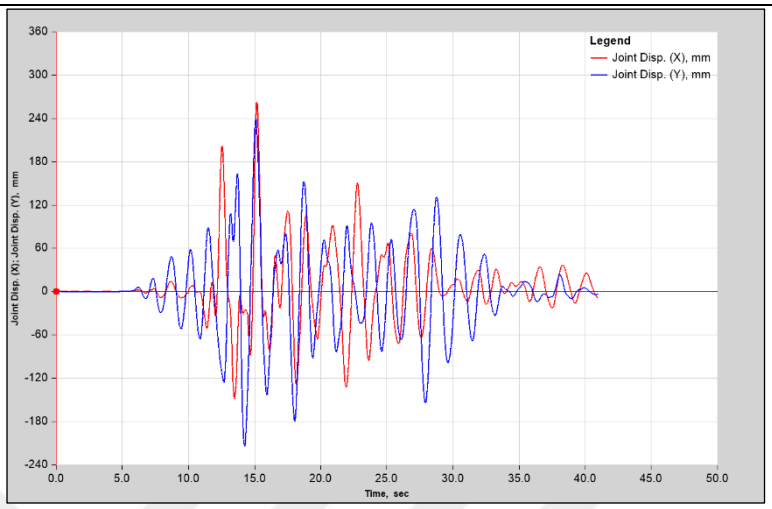


Şekil 7.37: Zamana bağlı taban kesme kuvvetleri.

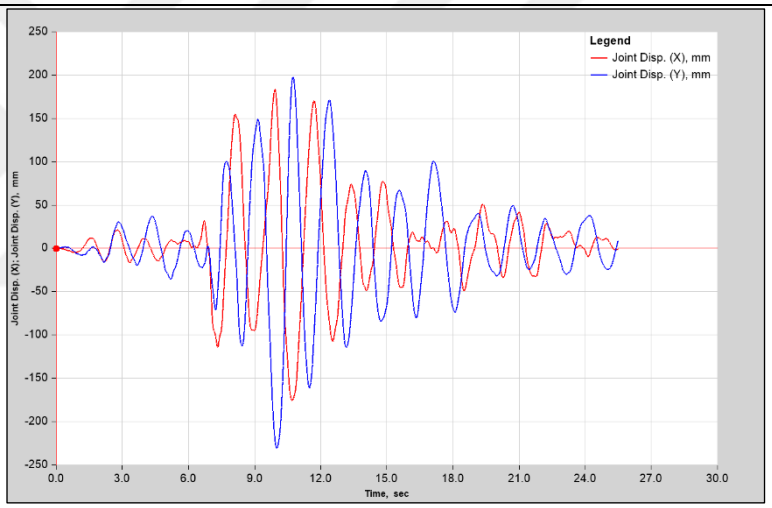
7.3.3.5. Zamana Bağlı Tepe Yer Değiştirmeleri (NLTHA Roof Disp.)

GY-BRB-T3 - Zamana Bağlı Tepe Yerdeğiştirmeleri

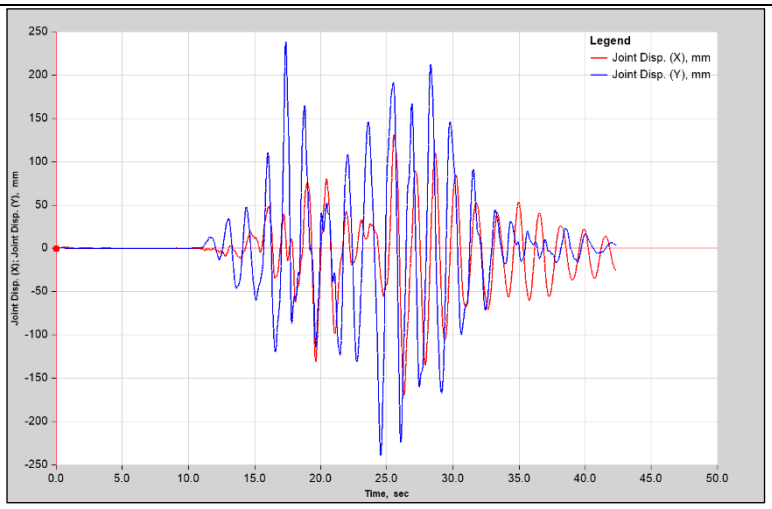
RSN1116



RSN1162



RSN1615



Şekil 7.38: Zamana bağlı tepe yer değiştirmeleri.

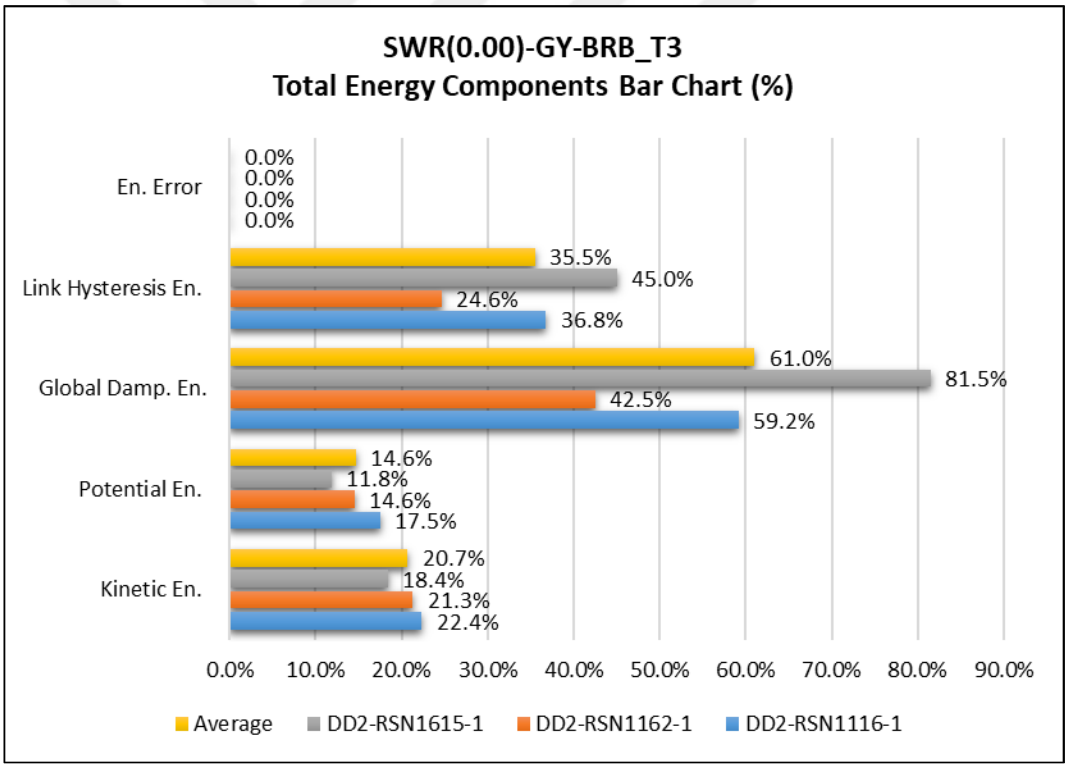
7.3.3.6. Toplam Enerji Bileşenleri (Total Energy Comp.):

Tablo 7.29: ETABS toplam enerji bileşenleri (kNm)

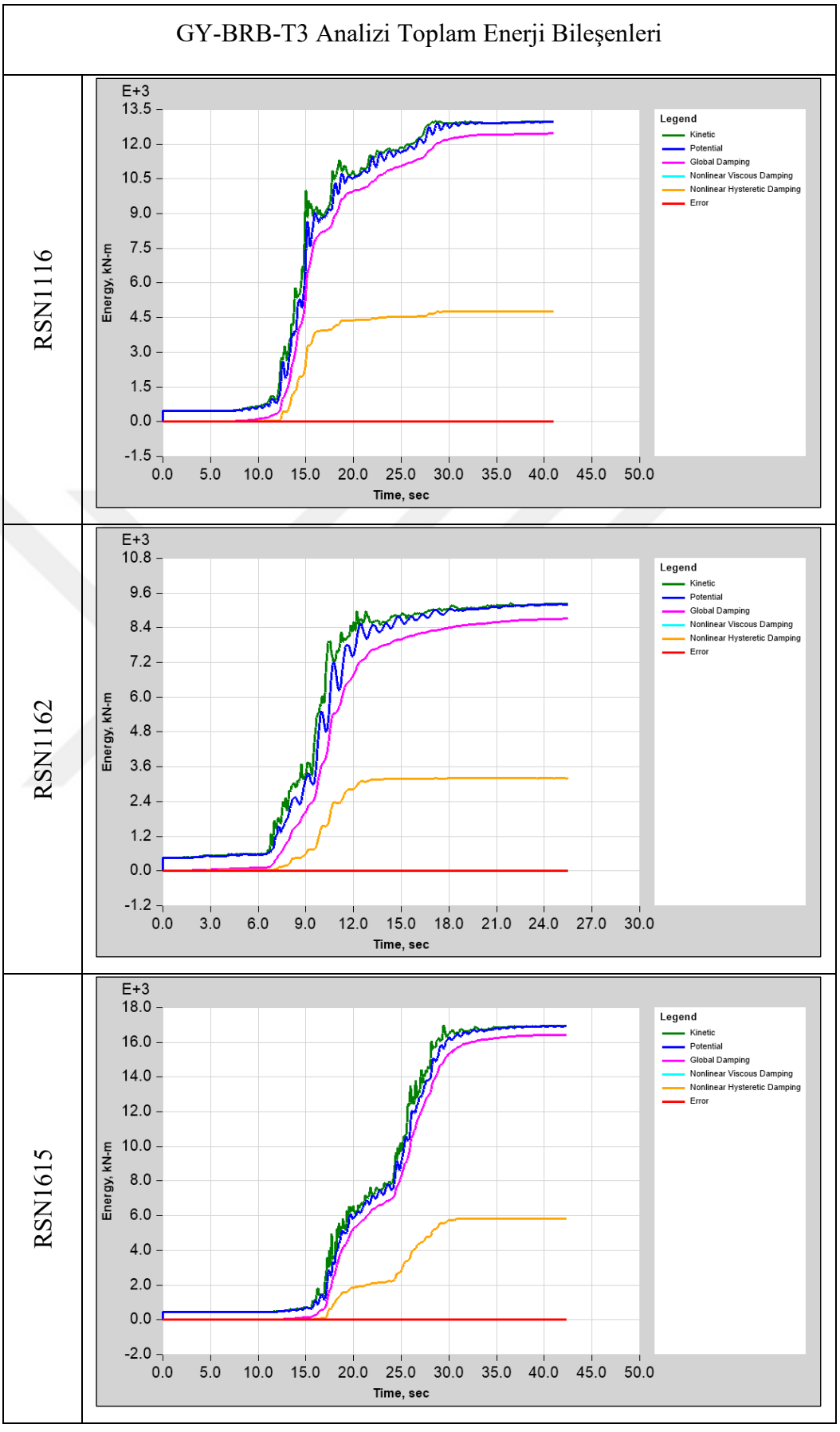
SWR(0.00)-GY-BRB_T3 - Total Energy Components (kNm)						
Output Case	Input En. (kNm)	Kinetic En. (kNm)	Potential En. (kNm)	Global (kNm)	Link (kNm)	En. Error (kNm)
DD2-RSN1116-1	12996.9	2905.2	2275.6	7689.9	4777.7	2.8
DD2-RSN1162-1	9248.6	2765.4	1891.3	5518.2	3197.3	4.1
DD2-RSN1615-1	16975.1	2391.7	1535.9	10587.7	5851.9	1.9

Tablo 7.30: ETABS toplam enerji bileşenleri (%)

SWR(0.00)-GY-BRB_T3 - Total Energy Components (%)					
Output Case	Kinetic	Potential	Global	Link	En. Error
DD2-RSN1116-1	22.4%	17.5%	59.2%	36.8%	0.0%
DD2-RSN1162-1	21.3%	14.6%	42.5%	24.6%	0.0%
DD2-RSN1615-1	18.4%	11.8%	81.5%	45.0%	0.0%
Average	20.7%	14.6%	61.0%	35.5%	0.0%



Şekil 7.39: ETABS analiz sonuçlarında enerji bileşenleri dağılımları.

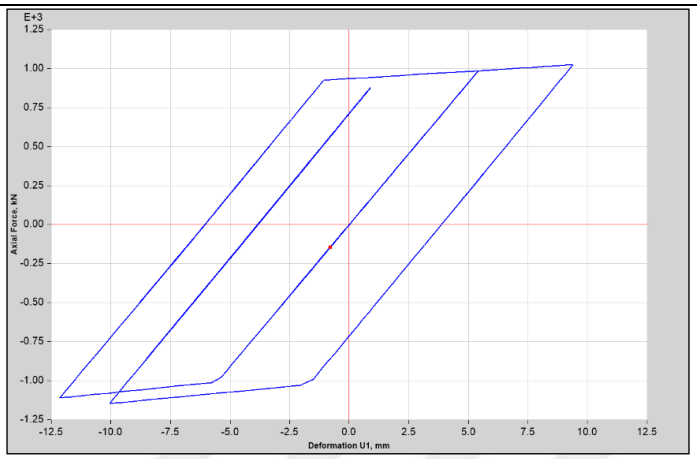


Şekil 7.40: ETABS analiz sonuçlarında enerji bileşenleri dağılımı grafiği.

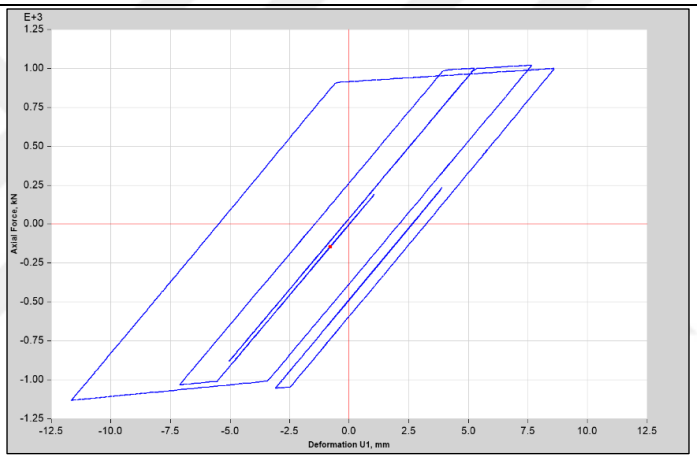
7.3.3.7. Link Kuvvet-Deplasman Eğrileri (Link Hysteresis)

GY-BRB-T3 Analizi BRB Link Kuvvet-Deplasman Eğrisi

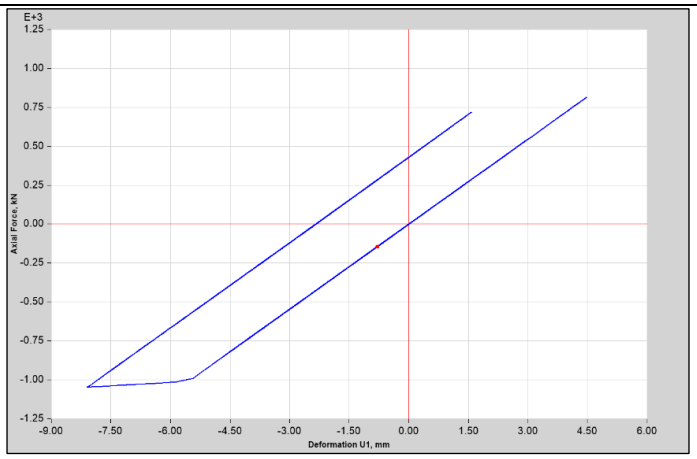
RSN1116



RSN1162



RSN1615

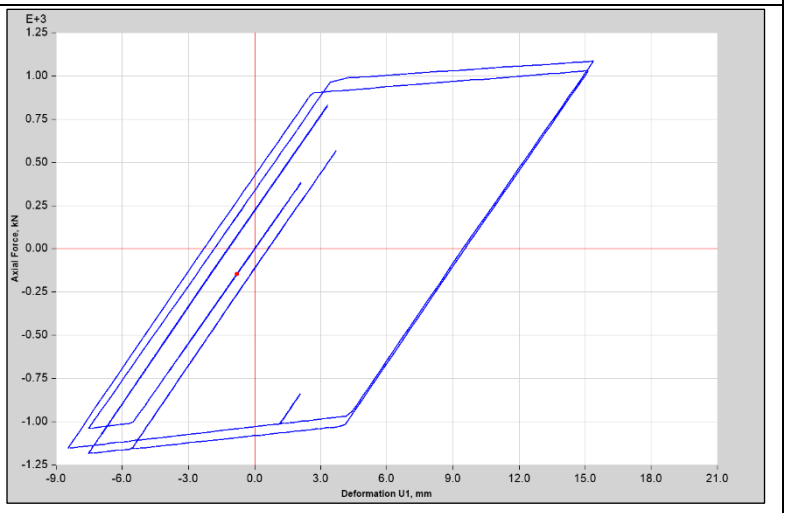


K4 Linki (X Yönü) Sonuçları

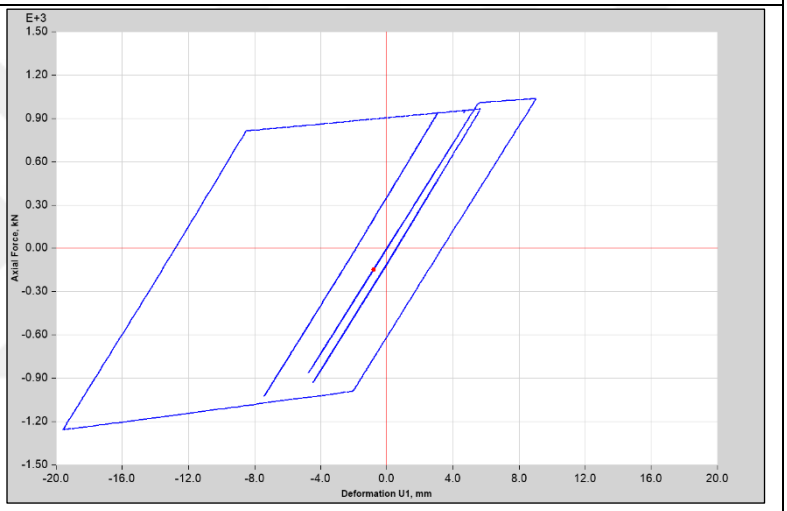
Şekil 7.41: ETABS analiz sonucunda link histeresis grafikleri.

GY-BRB-T3 Analizi BRB Link Kuvvet-Deplasman Eğrisi

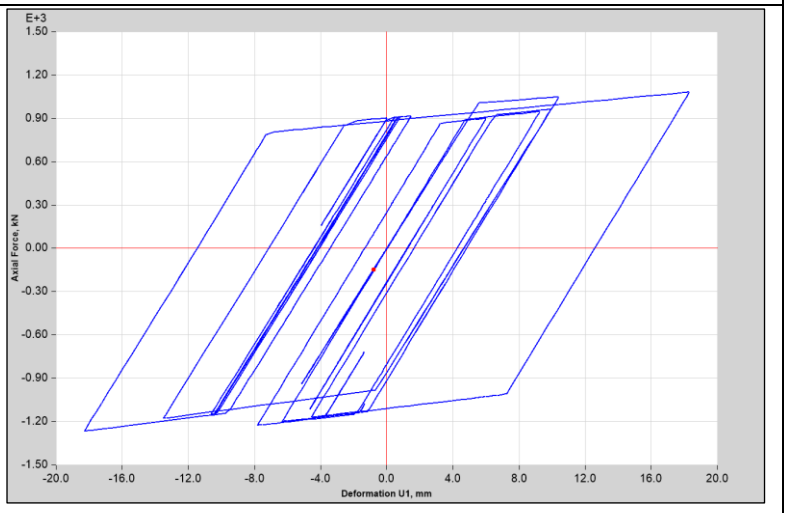
RSN1116



RSN1162



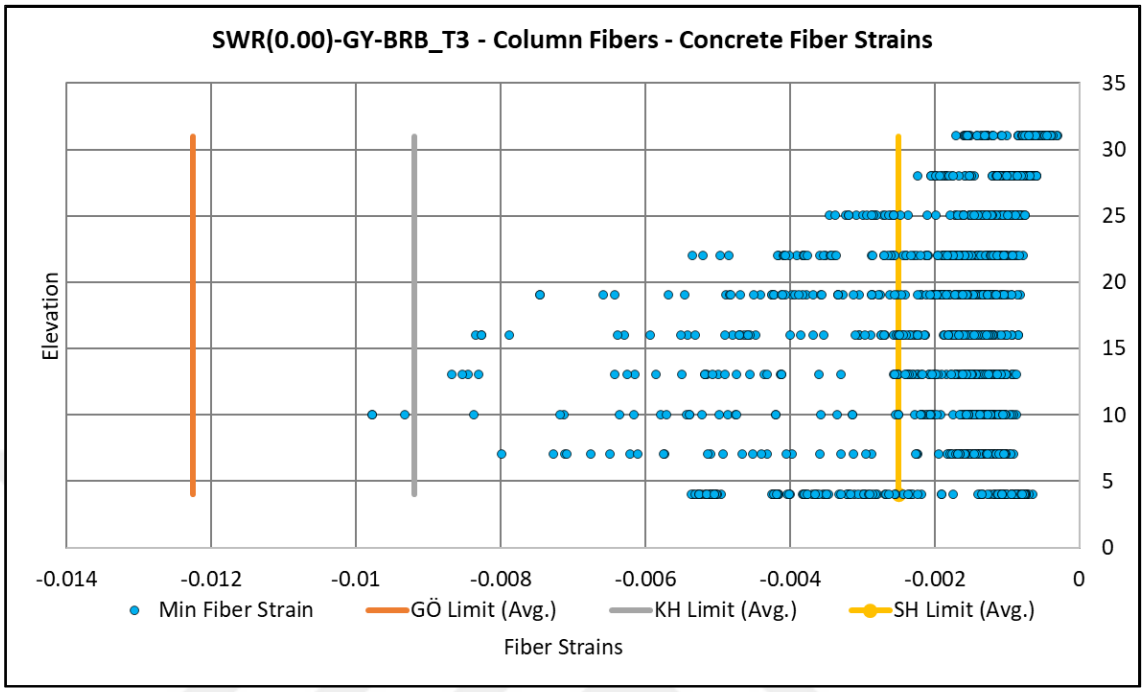
RSN1615

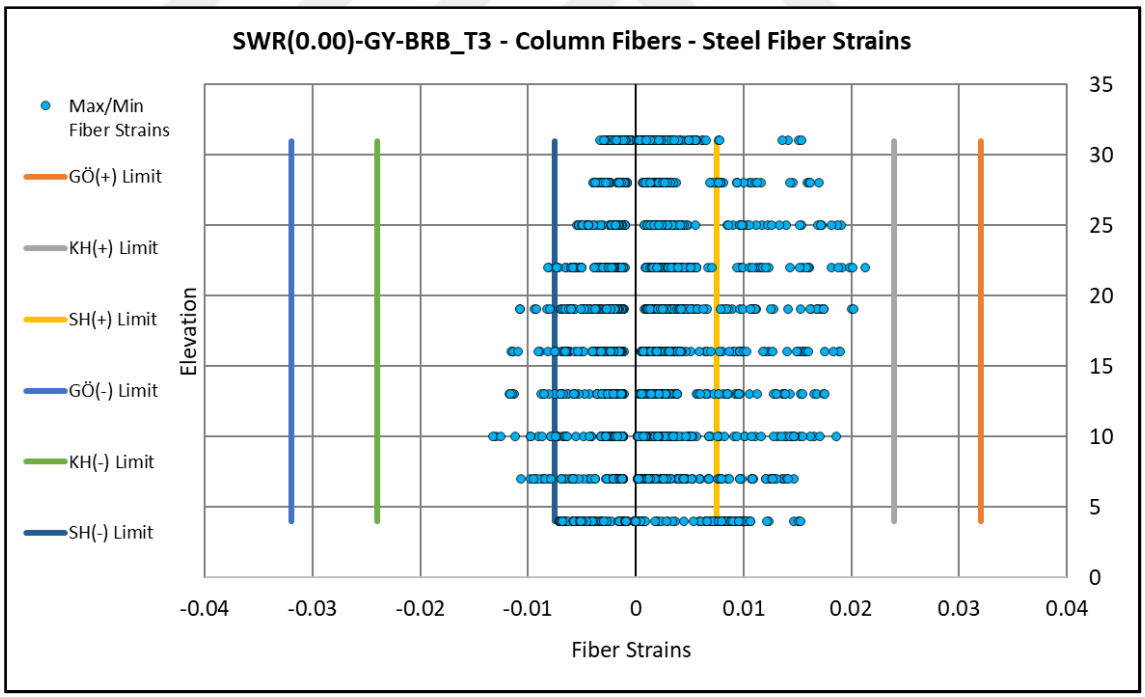


K264 Linki (Y Yönü) Sonuçları

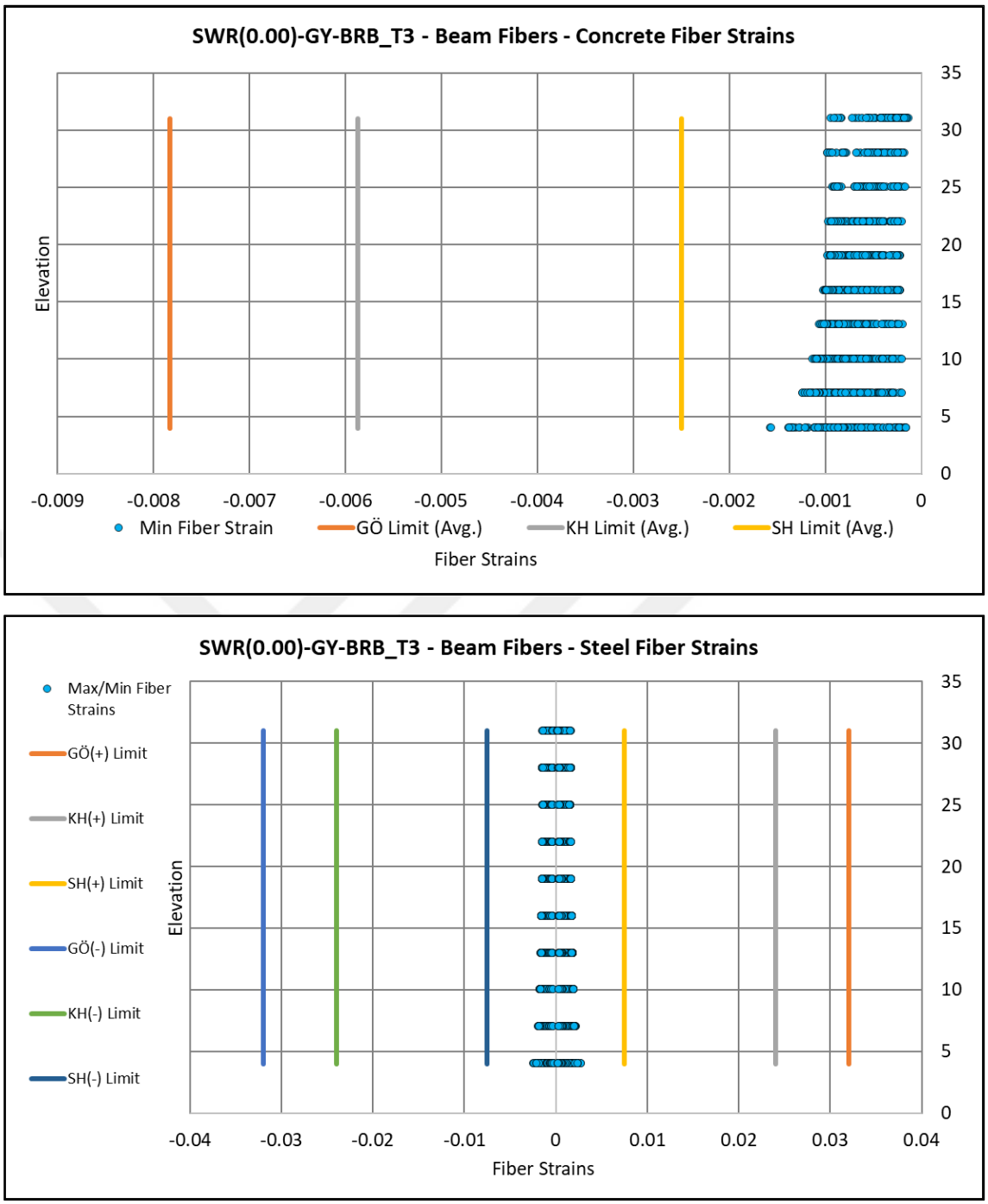
Şekil 7.42: ETABS analiz sonucunda link histeresis grafikleri.

7.3.3.8. Eleman Hasar Düzeylerinin Özet Dağılım Grafikleri





Şekil 7.43: ETABS analiz sonuçlarında kolon beton ve çelik fiber sonuçları.



Şekil 7.44: ETABS analiz sonuçlarında kiriş beton ve çelik fiber sonuçları.

7.3.4. Çapraz Dirsek (Knee Bracing) BÖÇÇ (GY_BRB_T4) Sonuçları

7.3.4.1. Modal Özellikler

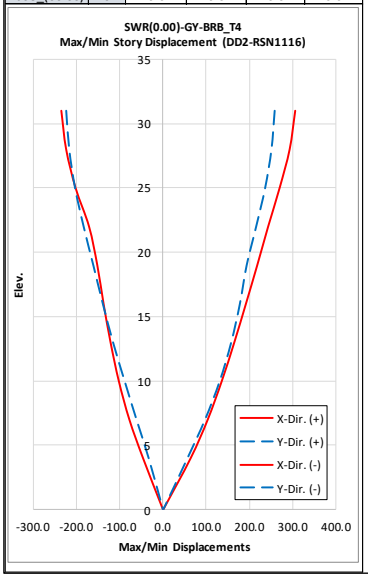
Tablo 7.31: ETABS modal analizde kütle katılım oranları ve periyotlar.

Modal Participating Mass Ratios (GY-BRB_T4)					
Case	Mode	Period	UX	UY	RZ
Modal	1	1.743	0.8165	0.0000	0.0000
Modal	2	1.742	0.0000	0.8166	0.0000
Modal	3	1.324	0.0000	0.0000	0.8338
Modal	4	0.581	0.1027	0.0000	0.0000
Modal	5	0.581	0.0000	0.1026	0.0000
Modal	6	0.44	0.0000	0.0000	0.0966
Modal	7	0.334	0.0366	0.0000	0.0000
Modal	8	0.333	0.0000	0.0366	0.0000
Modal	9	0.257	0.0000	0.0000	0.0338
Modal	10	0.227	0.0184	0.0000	0.0000

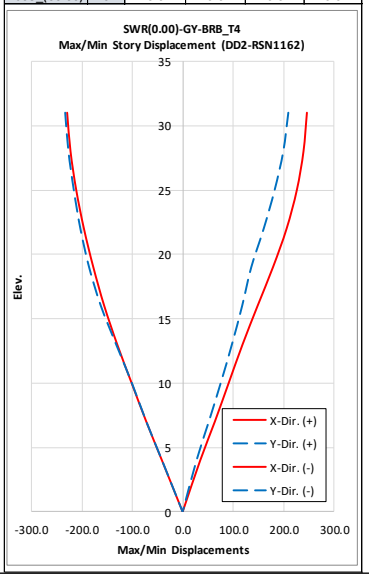
7.3.4.2. Mak. Kat Ötelenme Miktarları (Max. Story Displ.)

Tablo 7.32: ETABS analiz sonuçlarında maksimum kat ötelenme miktarları.

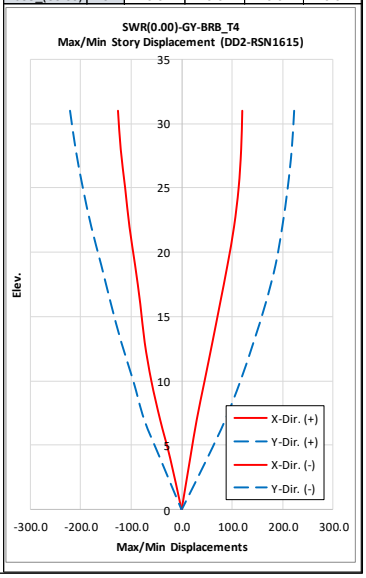
SWR(0.00)-GY-BRB_T4 Max/Min Story Disp. (DD2-RSN1116)					
Story	Elev.	Max/Min Displacements			
		X-Dir. (+)	Y-Dir. (+)	X-Dir. (-)	Y-Dir. (-)
-	m	mm	mm	mm	mm
St10_(31.00)	31	307.1	258.2	-234.5	-222.1
St09_(28.00)	28	294.1	250.8	-223.3	-215.1
St08_(25.00)	25	270.7	236.1	-201.6	-201.8
St07_(22.00)	22	244.1	215.3	-170.6	-182.1
St06_(19.00)	19	218.8	193.4	-151.6	-159.9
St05_(16.00)	16	192.4	177.7	-137.1	-138.1
St04_(13.00)	13	165.4	157.5	-121.0	-114.6
St03_(10.00)	10	136.3	131.0	-102.0	-88.1
St02_(07.00)	7	103.5	96.9	-77.6	-60.9
St01_(04.00)	4	63.8	56.1	-46.0	-32.9
Base_(00.00)	0	0.0	0.0	0.0	0.0



SWR(0.00)-GY-BRB_T4 Max/Min Story Disp. (DD2-RSN1162)					
Story	Elev.	Max/Min Displacements			
		X-Dir. (+)	Y-Dir. (+)	X-Dir. (-)	Y-Dir. (-)
-	m	mm	mm	mm	mm
St10_(31.00)	31	244.9	208.7	-229.9	-232.3
St09_(28.00)	28	238.1	198.7	-223.2	-225.9
St08_(25.00)	25	225.0	181.6	-211.9	-215.3
St07_(22.00)	22	204.9	160.1	-196.6	-202.3
St06_(19.00)	19	178.0	135.5	-177.8	-185.0
St05_(16.00)	16	147.7	117.5	-156.1	-161.8
St04_(13.00)	13	118.1	97.3	-130.2	-131.5
St03_(10.00)	10	90.7	75.2	-101.5	-100.4
St02_(07.00)	7	63.4	51.6	-72.3	-71.7
St01_(04.00)	4	34.7	27.4	-41.2	-40.8
Base_(00.00)	0	0.0	0.0	0.0	0.0



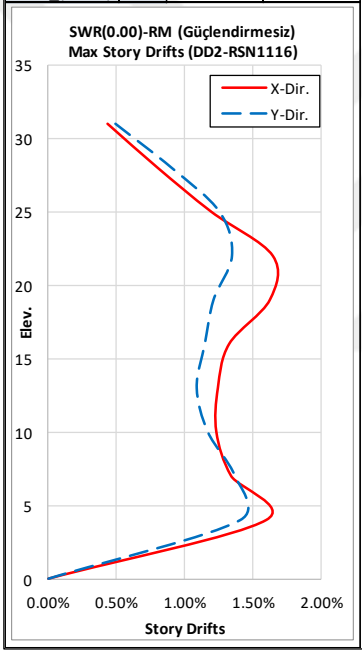
SWR(0.00)-GY-BRB_T4 Max/Min Story Disp. (DD2-RSN1615)					
Story	Elev.	Max/Min Displacements			
		X-Dir. (+)	Y-Dir. (+)	X-Dir. (-)	Y-Dir. (-)
-	m	mm	mm	mm	mm
St10_(31.00)	31	120.2	222.5	-126.2	-220.9
St09_(28.00)	28	118.0	217.8	-120.8	-209.7
St08_(25.00)	25	113.0	209.7	-112.0	-195.4
St07_(22.00)	22	103.9	199.1	-103.5	-178.8
St06_(19.00)	19	90.8	185.6	-92.3	-159.0
St05_(16.00)	16	76.0	165.8	-82.0	-139.9
St04_(13.00)	13	60.9	142.1	-73.2	-119.3
St03_(10.00)	10	45.4	116.2	-59.9	-95.5
St02_(07.00)	7	30.0	86.4	-42.6	-73.9
St01_(04.00)	4	17.0	50.6	-22.6	-42.4
Base_(00.00)	0	0.0	0.0	0.0	0.0



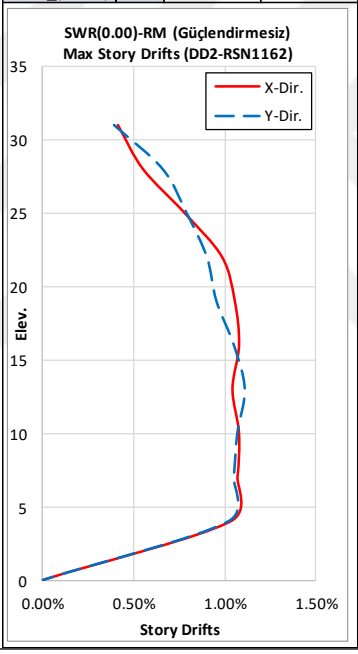
7.3.4.3. Maks. Göreli Kat Ötelenmesi Oranları (Max. Story Drifts)

Tablo 7.33: ETABS analiz sonuçlarında maksimum görelikat ötelenme oranları.

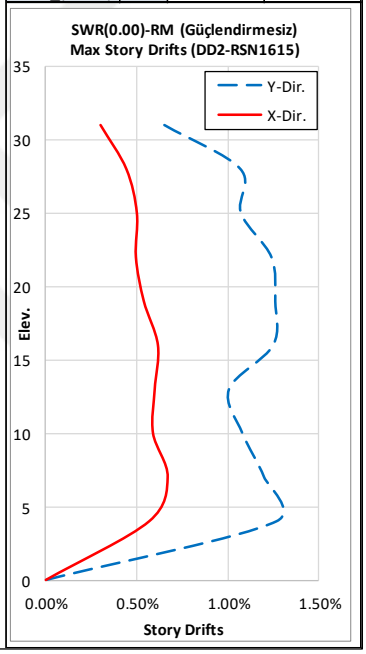
SWR(0.00)-GY-BRB_T4			
Max Story Drifts (DD2-RSN1116)			
Story	Elev.	Story Drifts	
		X-Dir.	Y-Dir.
-	m	mm	mm
St10_(31.00)	31	0.43%	0.49%
St09_(28.00)	28	0.80%	0.90%
St08_(25.00)	25	1.19%	1.25%
St07_(22.00)	22	1.64%	1.34%
St06_(19.00)	19	1.62%	1.21%
St05_(16.00)	16	1.32%	1.14%
St04_(13.00)	13	1.24%	1.08%
St03_(10.00)	10	1.23%	1.17%
St02_(07.00)	7	1.34%	1.36%
St01_(04.00)	4	1.59%	1.40%
Base_(00.00)	0	0.00%	0.00%



SWR(0.00)-GY-BRB_T4			
Max Story Drifts (DD2-RSN1162)			
Story	Elev.	Story Drifts	
		X-Dir.	Y-Dir.
-	m	mm	mm
St10_(31.00)	31	0.41%	0.39%
St09_(28.00)	28	0.55%	0.66%
St08_(25.00)	25	0.78%	0.79%
St07_(22.00)	22	0.98%	0.90%
St06_(19.00)	19	1.05%	0.95%
St05_(16.00)	16	1.08%	1.05%
St04_(13.00)	13	1.04%	1.11%
St03_(10.00)	10	1.08%	1.07%
St02_(07.00)	7	1.07%	1.05%
St01_(04.00)	4	1.03%	1.02%
Base_(00.00)	0	0.00%	0.00%



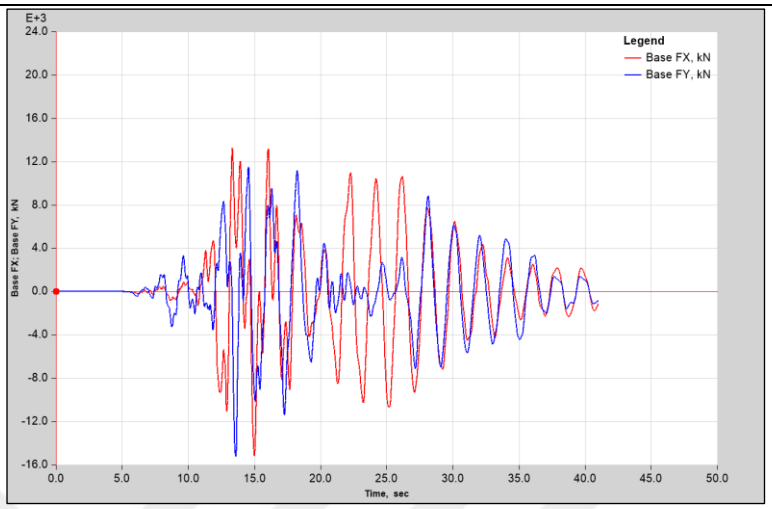
SWR(0.00)-GY-BRB_T4			
Max Story Drifts (DD2-RSN1615)			
Story	Elev.	Story Drifts	
		X-Dir.	Y-Dir.
-	m	mm	mm
St10_(31.00)	31	0.30%	0.65%
St09_(28.00)	28	0.44%	1.07%
St08_(25.00)	25	0.50%	1.07%
St07_(22.00)	22	0.49%	1.24%
St06_(19.00)	19	0.54%	1.26%
St05_(16.00)	16	0.61%	1.25%
St04_(13.00)	13	0.60%	1.00%
St03_(10.00)	10	0.59%	1.08%
St02_(07.00)	7	0.67%	1.20%
St01_(04.00)	4	0.56%	1.27%
Base_(00.00)	0	0.00%	0.00%



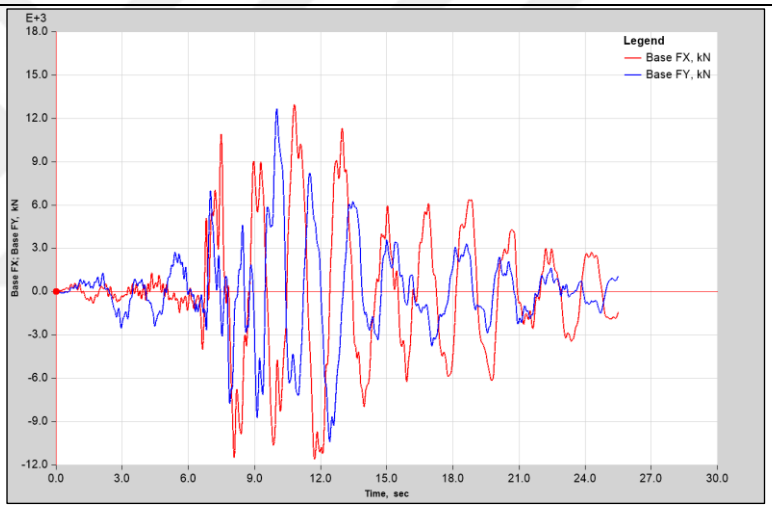
7.3.4.4. Zamana Bağlı Taban Kesme Kuv. (NLTHA Base Forces)

SWR(0.00)-GY-BRB_T4 - Zamana Bağlı Taban Kesme Kuvvetleri

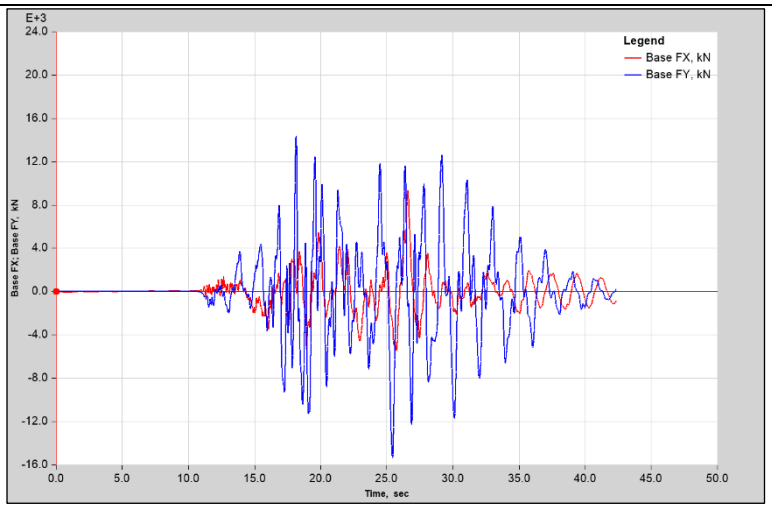
RSN1116



RSN1162



RSN1615

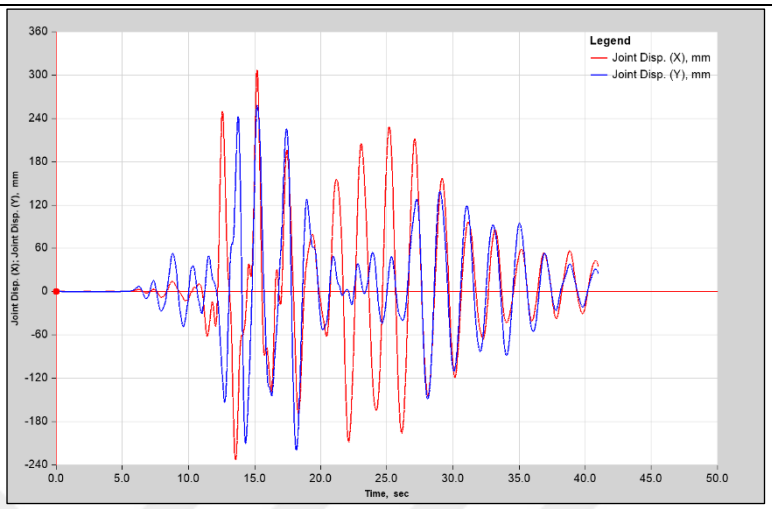


Şekil 7.45: Zamana bağlı taban kesme kuvvetleri.

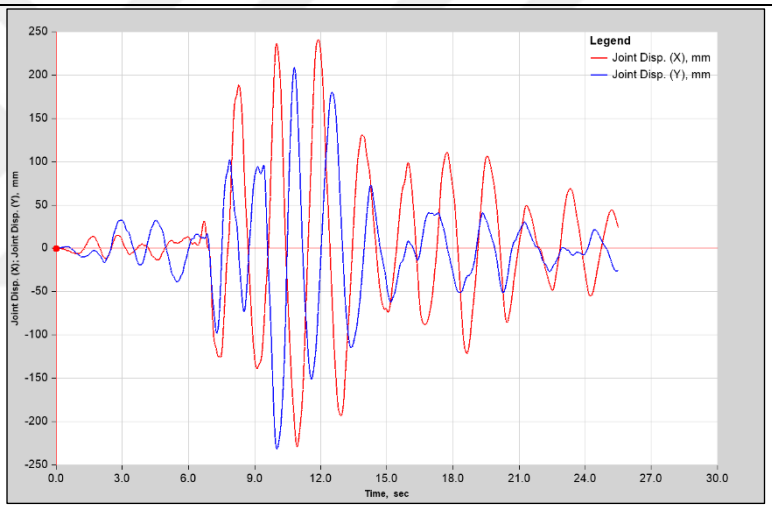
7.3.4.5. Zamana Bağlı Tepe Yer Değiştirmeleri (NLTHA Roof Disp.)

SWR(0.00)-GY-BRB_T4 - Zamana Bağlı Tepe Yerdeğiştirmeleri

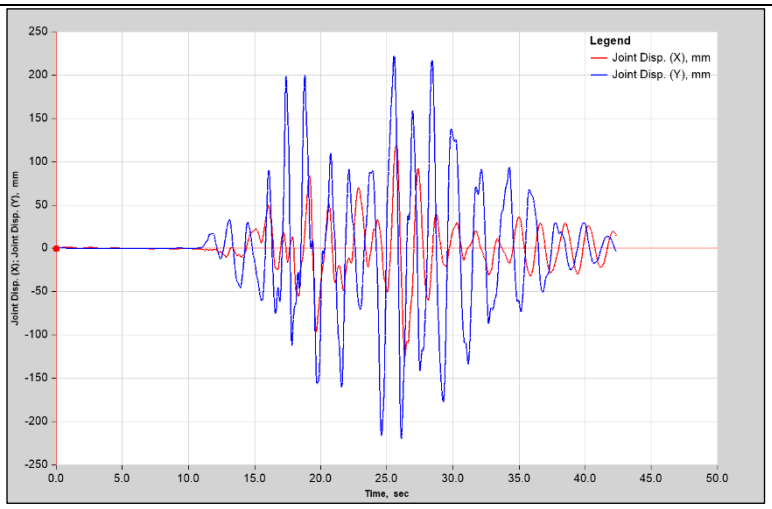
RSN1116



RSN1162



RSN1615



Şekil 7.46: Zamana bağlı tepe yer değiştirmeleri.

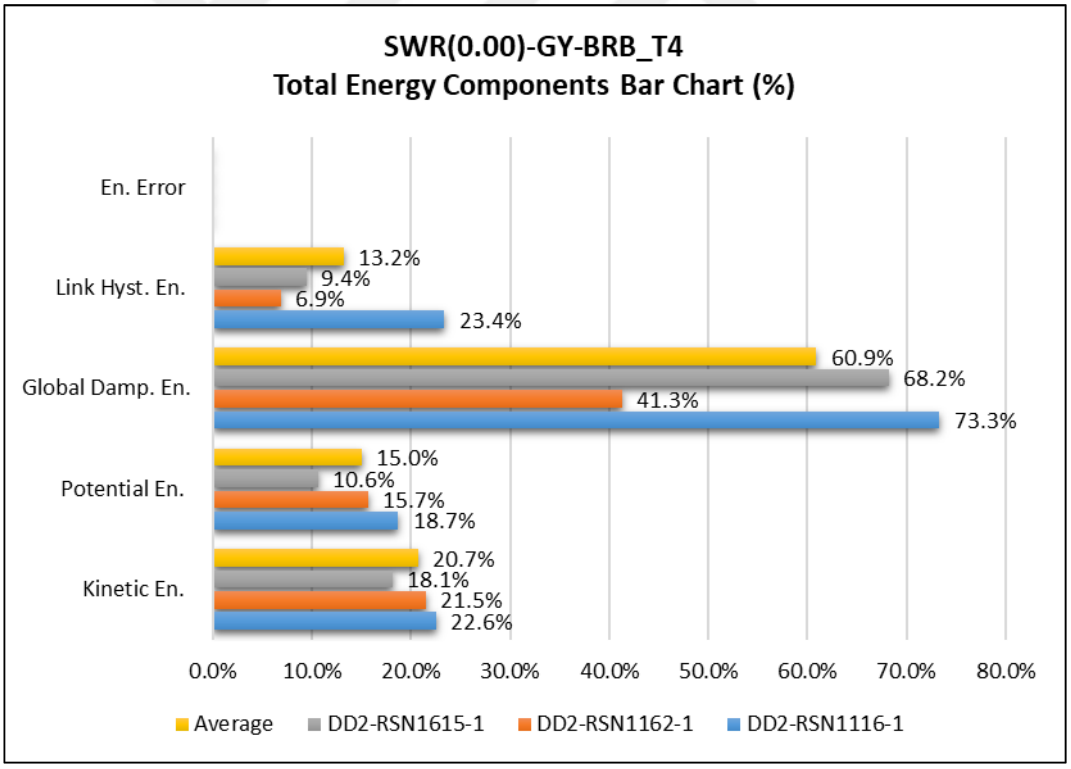
7.3.4.6. Toplam Enerji Bileşenleri (Total Energy Comp.):

Tablo 7.34: ETABS toplam enerji bileşenleri (kNm)

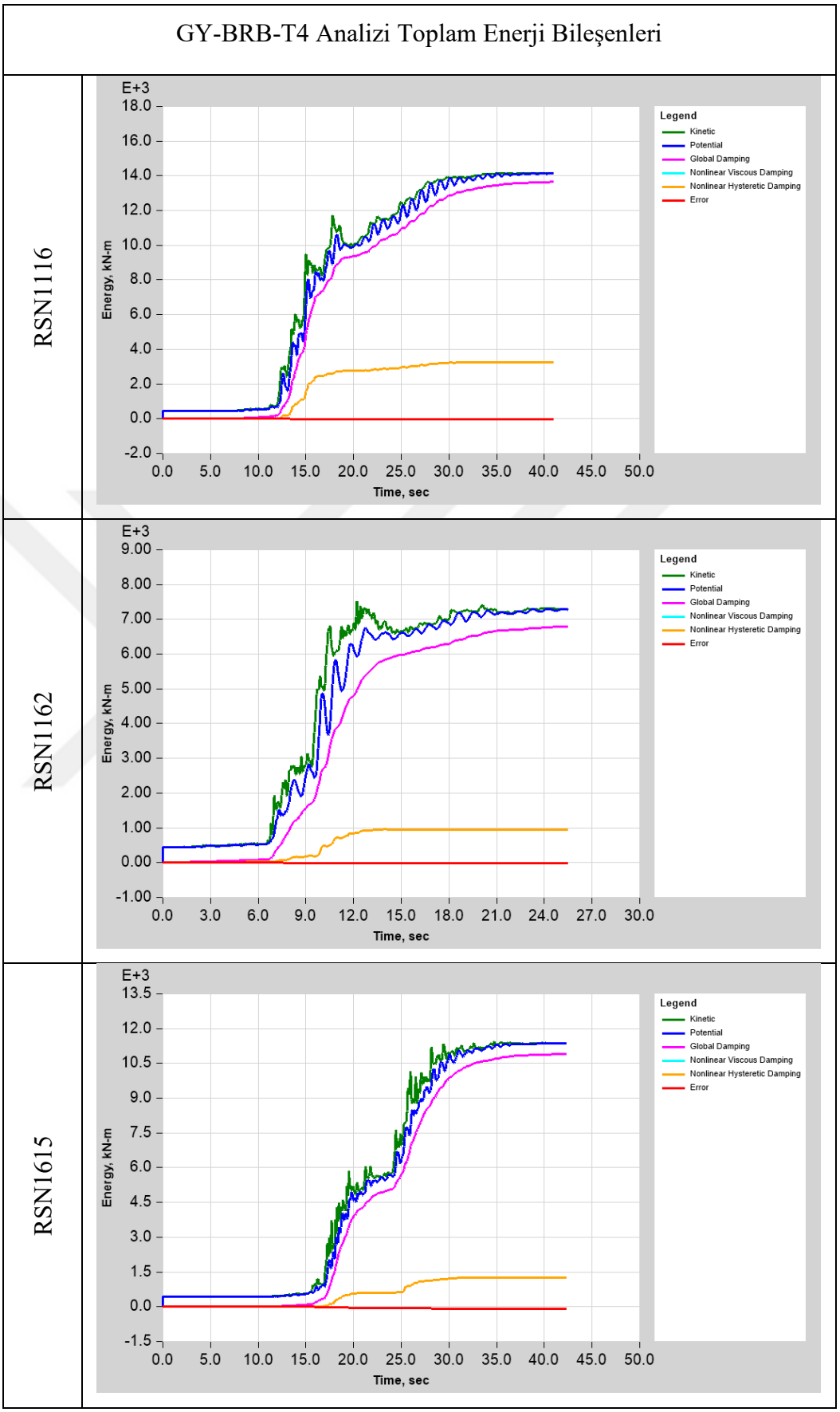
SWR(0.00)-GY-BRB_T4 - Total Energy Components (kNm)						
Output Case	Input En.	Kinetic En.	Potential En.	Global Damp. En.	Link Hyst. En.	En. Error
	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)
DD2-RSN1116-1	14163.0	3194.2	2648.6	10381.9	3308.5	-0.2
DD2-RSN1162-1	7506.1	3041.0	2223.4	5846.9	972.2	-0.2
DD2-RSN1615-1	11424.6	2563.6	1503.1	9655.1	1334.9	-0.2

Tablo 7.35: ETABS toplam enerji bileşenleri ()

SWR(0.00)-GY-BRB_T4 - Total Energy Components (%)					
Output Case	Kinetic En.	Potential En.	Global Damp. En.	Link Hyst. En.	En. Error
DD2-RSN1116-1	22.6%	18.7%	73.3%	23.4%	0.0%
DD2-RSN1162-1	21.5%	15.7%	41.3%	6.9%	0.0%
DD2-RSN1615-1	18.1%	10.6%	68.2%	9.4%	0.0%
Average	20.7%	15.0%	60.9%	13.2%	0.0%

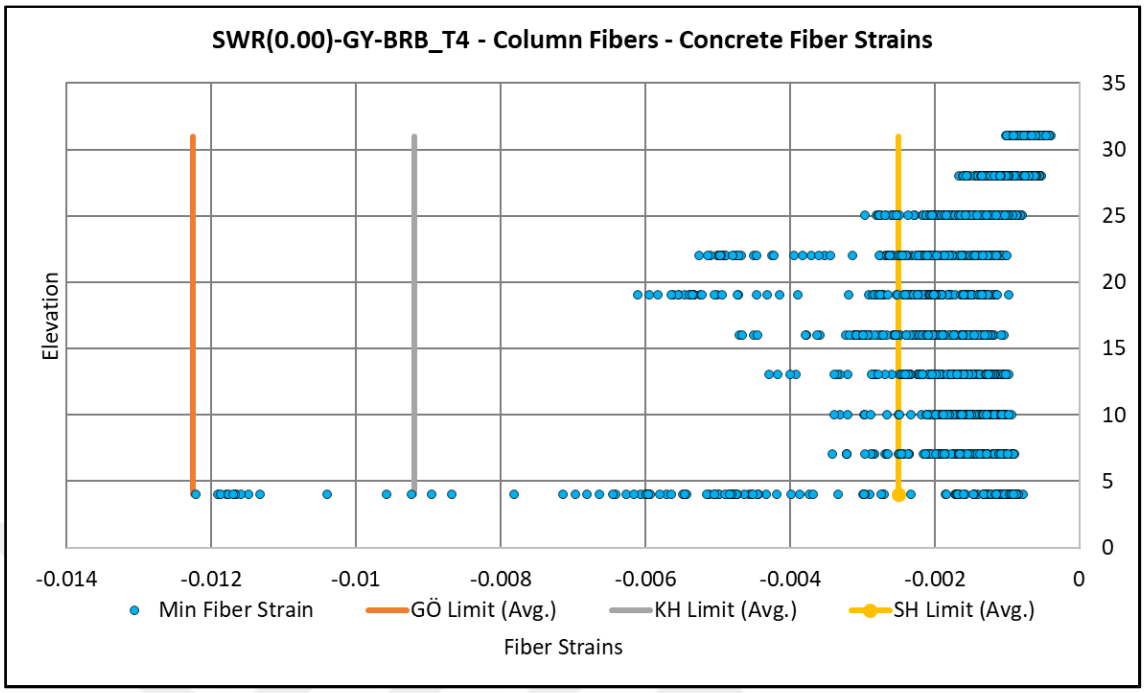


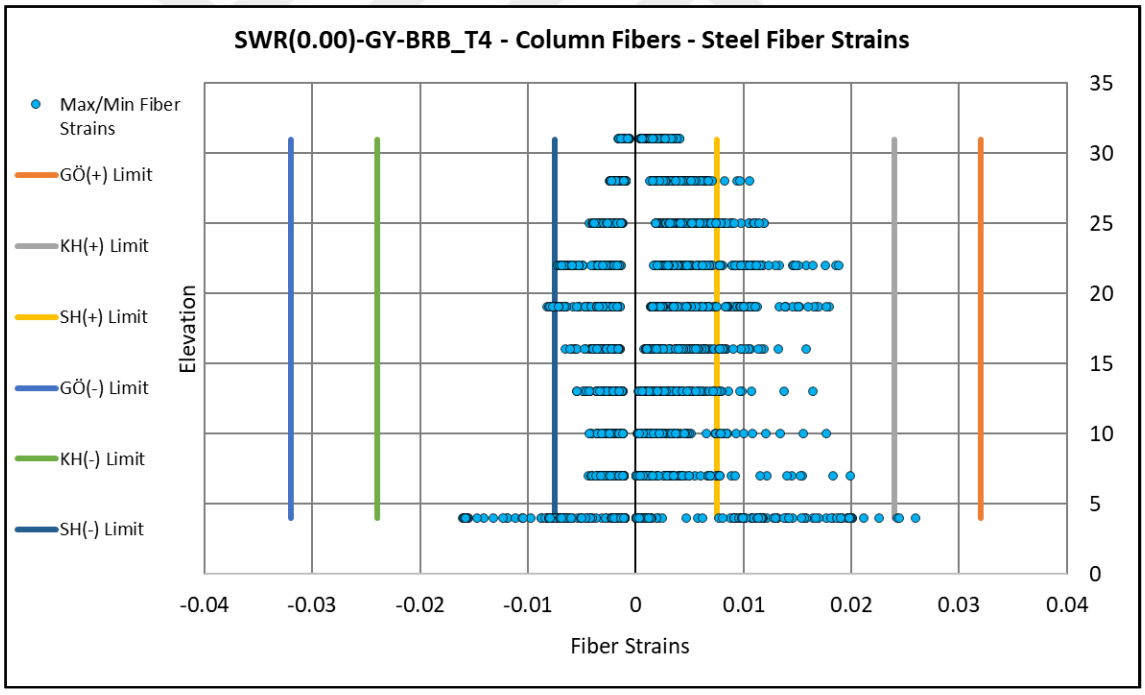
Şekil 7.47: ETABS analiz sonuçlarında enerji bileşenleri dağılımları.



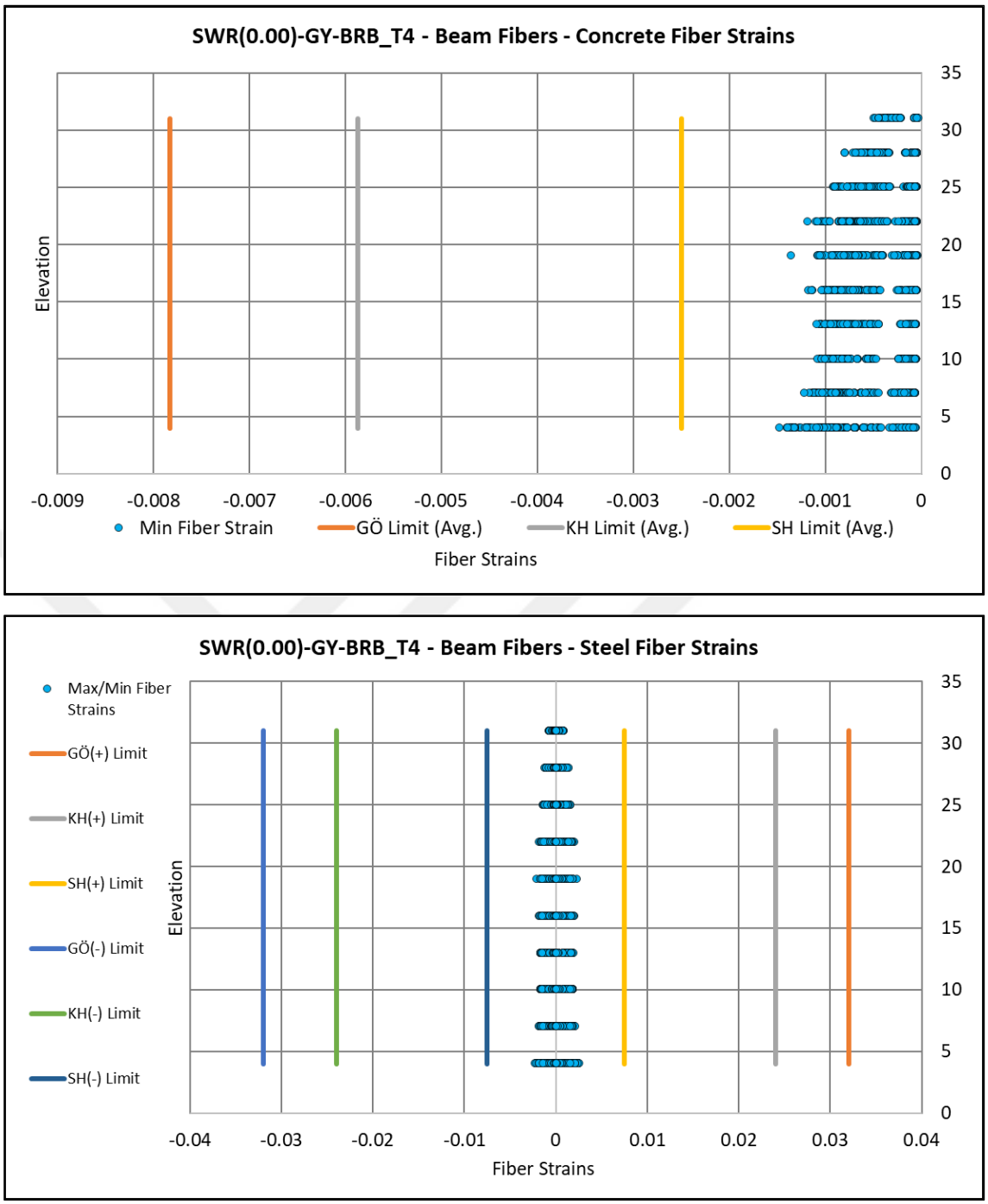
Şekil 7.48: ETABS analiz sonuçlarında enerji bileşenleri dağılımı grafiği.

7.3.4.7. Eleman Hasar Düzeylerinin Özet Dağılım Grafikleri





Şekil 7.49: ETABS analiz sonuçlarında kolon beton ve çelik fiber sonuçları.



Şekil 7.50: ETABS analiz sonuçlarında kiriş beton ve çelik fiber sonuçları.

7.4. Sismik Taban Yalıtımı ile Güçlendirme Sonuçları

7.4.1. Sismik İzolatör ile Güçlendirme (GY-ISO-T1) Sonuçları

7.4.1.1. Modal Özellikler

Tablo 7.36: ETABS modal analizde kütle katılım oranları ve periyotlar.

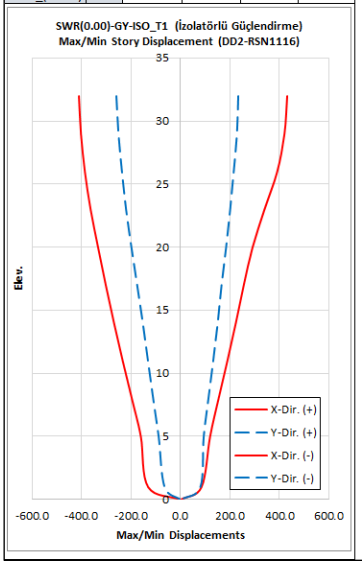
Modal Participating Mass Ratios (GY-ISO_T1)					
Case	Mode	Period	UX	UY	RZ
Modal	1	11.192	0.9998	0.0000	0.0000
Modal	2	11.19	0.0000	0.9998	0.0000
Modal	3	9.387	0.0000	0.0000	0.9997
Modal	4	1.15	0.0002	0.0000	0.0000
Modal	5	1.143	0.0000	0.0002	0.0000
Modal	6	1.011	0.0000	0.0000	0.0003
Modal	7	0.556	0.0000	0.0000	0.0000
Modal	8	0.553	0.0000	0.0000	0.0000
Modal	9	0.492	0.0000	0.0000	0.0000
Modal	10	0.354	0.0000	0.0000	0.0000

7.4.1.2. Mak. Kat Ötelenme Miktarları (Max. Story Displ.)

Tablo 7.37: ETABS analiz sonuçlarında maksimum kat ötelenme miktarları.

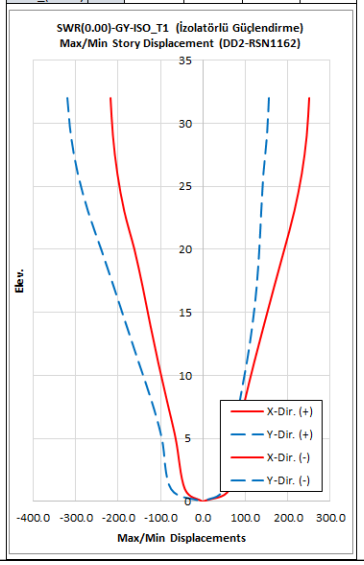
SWR(0.00)-GY-ISO_T1 (İzolatörlü Güçlendirme)
Max/Min Story Disp. (DD2-RSN1116)

Story	Elev.	Max/Min Displacements			
		X-Dir. (+)	Y-Dir. (+)	X-Dir. (-)	Y-Dir. (-)
-	m	mm	mm	mm	mm
St10_(31.00)	32	431.4	233.8	-408.4	-260.4
St09_(28.00)	29	420.1	228.4	-400.4	-252.0
St08_(25.00)	26	390.7	215.1	-384.6	-237.8
St07_(22.00)	23	339.0	200.9	-361.6	-221.1
St06_(19.00)	20	290.8	184.3	-331.7	-199.6
St05_(16.00)	17	255.2	165.9	-300.6	-176.3
St04_(13.00)	14	223.2	150.2	-267.6	-153.5
St03_(10.00)	11	188.9	131.9	-232.7	-132.6
St02_(07.00)	8	153.2	112.5	-195.9	-111.4
St01_(04.00)	5	118.9	93.4	-159.9	-89.4
BaseIsoStory	1	84.3	79.7	-130.6	-65.2
Base_(00.00)	0	0.0	0.0	0.0	0.0



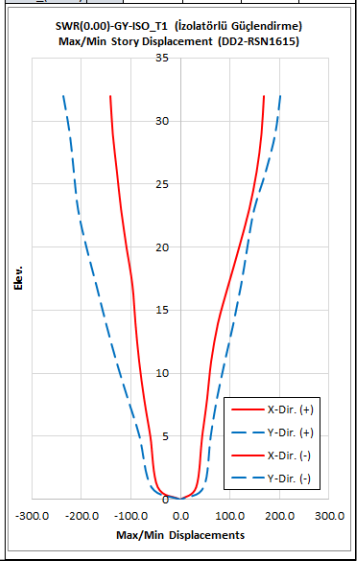
SWR(0.00)-GY-ISO_T1 (İzolatörlü Güçlendirme)
Max/Min Story Disp. (DD2-RSN1162)

Story	Elev.	Max/Min Displacements			
		X-Dir. (+)	Y-Dir. (+)	X-Dir. (-)	Y-Dir. (-)
-	m	mm	mm	mm	mm
St10_(31.00)	32	249.2	155.0	-217.7	-318.9
St09_(28.00)	29	243.3	150.3	-212.0	-310.5
St08_(25.00)	26	231.7	141.9	-201.6	-294.3
St07_(22.00)	23	214.1	137.0	-185.1	-270.0
St06_(19.00)	20	190.9	132.4	-161.4	-239.3
St05_(16.00)	17	166.8	126.1	-141.7	-209.2
St04_(13.00)	14	143.2	116.3	-123.8	-180.0
St03_(10.00)	11	120.0	102.9	-104.9	-150.5
St02_(07.00)	8	98.4	86.8	-84.6	-120.6
St01_(04.00)	5	79.2	69.2	-63.9	-96.2
BaseIsoStory	1	63.1	49.3	-42.1	-74.5
Base_(00.00)	0	0.0	0.0	0.0	0.0



SWR(0.00)-GY-ISO_T1 (İzolatörlü Güçlendirme)
Max/Min Story Disp. (DD2-RSN1615)

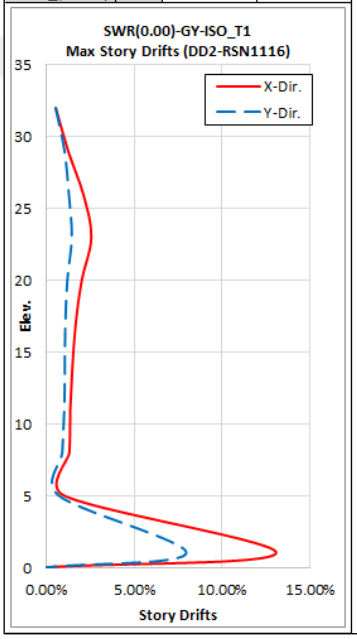
Story	Elev.	Max/Min Displacements			
		X-Dir. (+)	Y-Dir. (+)	X-Dir. (-)	Y-Dir. (-)
-	m	mm	mm	mm	mm
St10_(31.00)	32	169.2	201.2	-141.4	-236.9
St09_(28.00)	29	164.2	191.0	-136.6	-223.8
St08_(25.00)	26	154.4	171.9	-128.3	-215.7
St07_(22.00)	23	139.3	148.4	-119.8	-207.0
St06_(19.00)	20	118.9	134.8	-108.9	-190.1
St05_(16.00)	17	97.0	122.2	-96.9	-170.1
St04_(13.00)	14	76.1	106.9	-90.9	-150.7
St03_(10.00)	11	62.4	89.6	-83.5	-129.9
St02_(07.00)	8	54.1	73.5	-73.3	-106.5
St01_(04.00)	5	44.0	60.9	-60.8	-82.8
BaseIsoStory	1	31.9	46.7	-45.8	-58.7
Base_(00.00)	0	0.0	0.0	0.0	0.0



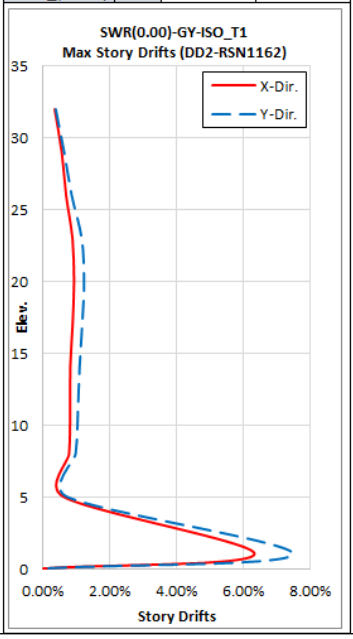
7.4.1.3. Maks. Göreli Kat Ötelenmesi Oranları (Max. Story Drifts)

Tablo 7.38: ETABS analiz sonuçlarında maksimum görelikat ötelenme oranları.

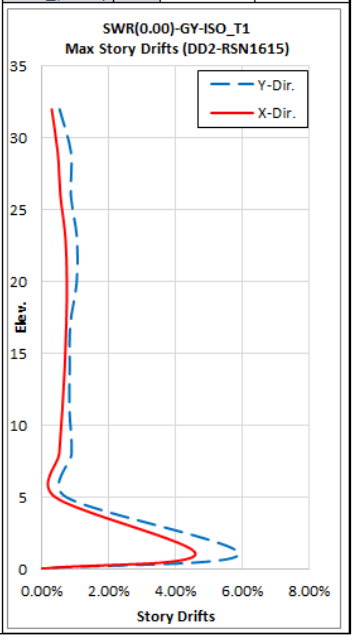
SWR(0.00)-GY-ISO_T1 (İzolatörlü Güçl.) Max Story Drifts (DD2-RSN1116)			
Story	Elev.	Story Drifts	
		X-Dir.	Y-Dir.
-	m	mm	mm
St10_(31.00)	32	0.51%	0.50%
St09_(28.00)	29	1.21%	1.02%
St08_(25.00)	26	2.07%	1.26%
St07_(22.00)	23	2.53%	1.43%
St06_(19.00)	20	1.98%	1.17%
St05_(16.00)	17	1.64%	1.06%
St04_(13.00)	14	1.45%	1.03%
St03_(10.00)	11	1.33%	1.00%
St02_(07.00)	8	1.28%	0.89%
St01_(04.00)	5	0.97%	0.68%
BaseIsoStory	1	13.06%	7.97%
Base_(00.00)	0	0.00%	0.00%



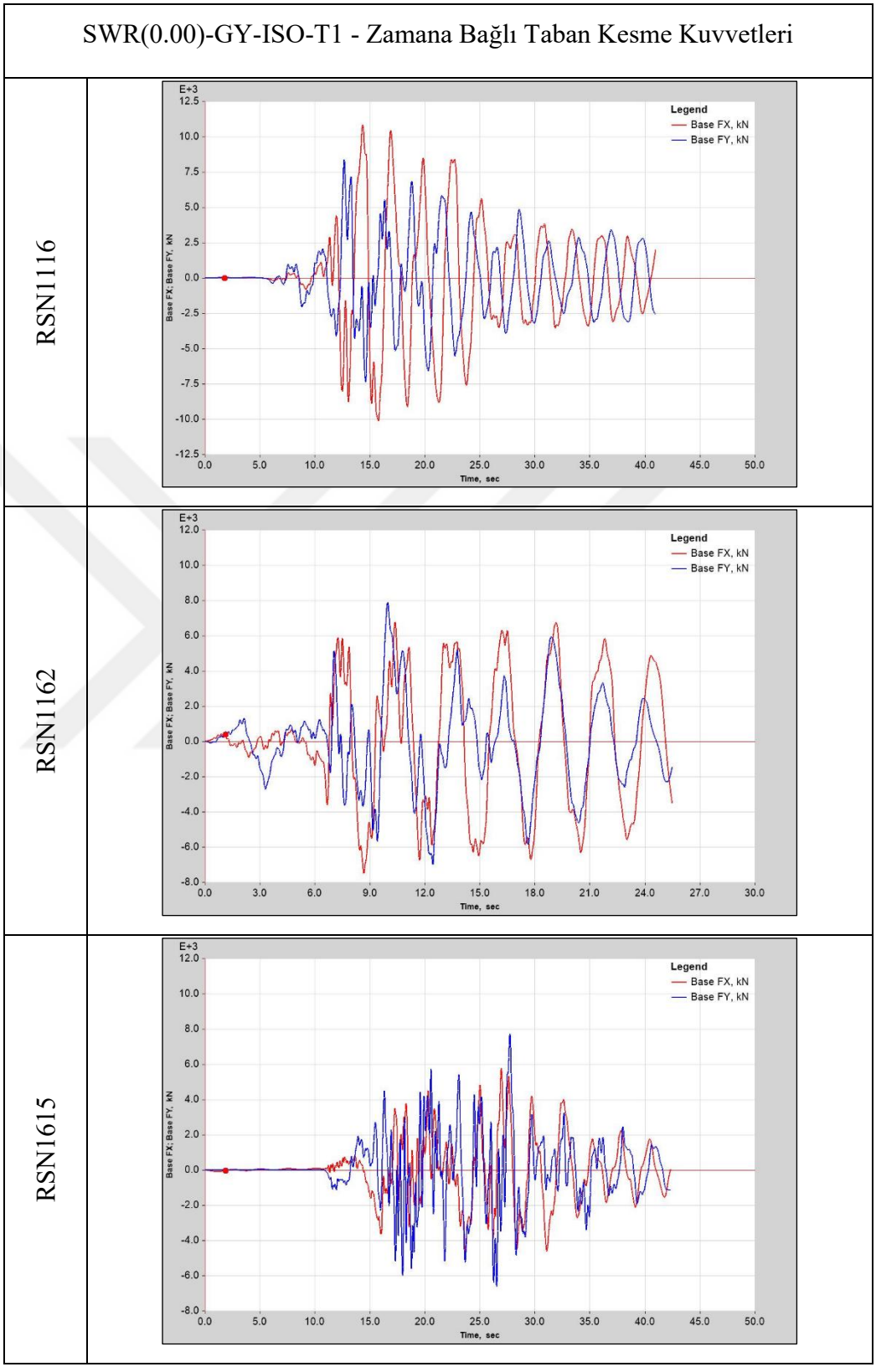
SWR(0.00)-GY-ISO_T1 (İzolatörlü Güçl.) Max Story Drifts (DD2-RSN1162)			
Story	Elev.	Story Drifts	
		X-Dir.	Y-Dir.
-	m	mm	mm
St10_(31.00)	32	0.34%	0.37%
St09_(28.00)	29	0.55%	0.62%
St08_(25.00)	26	0.68%	0.85%
St07_(22.00)	23	0.87%	1.14%
St06_(19.00)	20	0.92%	1.21%
St05_(16.00)	17	0.87%	1.16%
St04_(13.00)	14	0.80%	1.08%
St03_(10.00)	11	0.80%	1.03%
St02_(07.00)	8	0.77%	0.96%
St01_(04.00)	5	0.60%	0.71%
BaseIsoStory	1	6.31%	7.45%
Base_(00.00)	0	0.00%	0.00%



SWR(0.00)-GY-ISO_T1 (İzolatörlü Güçl.) Max Story Drifts (DD2-RSN1615)			
Story	Elev.	Story Drifts	
		X-Dir.	Y-Dir.
-	m	mm	mm
St10_(31.00)	32	0.29%	0.51%
St09_(28.00)	29	0.47%	0.85%
St08_(25.00)	26	0.55%	0.85%
St07_(22.00)	23	0.70%	1.03%
St06_(19.00)	20	0.74%	1.03%
St05_(16.00)	17	0.72%	0.83%
St04_(13.00)	14	0.68%	0.82%
St03_(10.00)	11	0.60%	0.81%
St02_(07.00)	8	0.51%	0.87%
St01_(04.00)	5	0.38%	0.69%
BaseIsoStory	1	4.58%	5.87%
Base_(00.00)	0	0.00%	0.00%

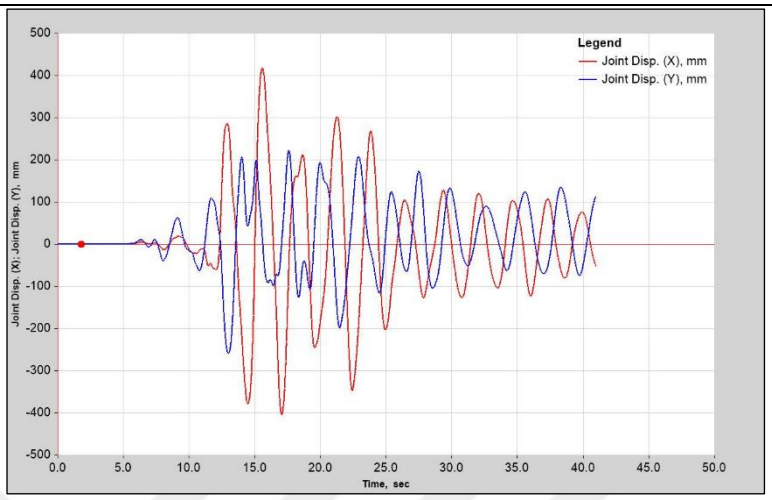
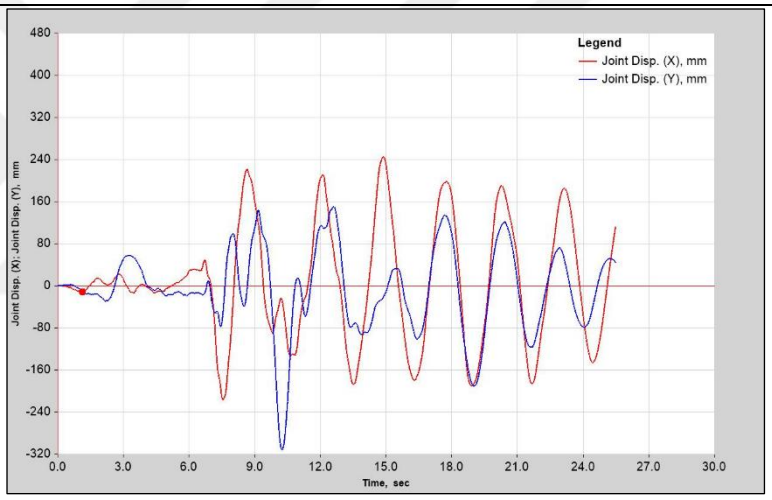
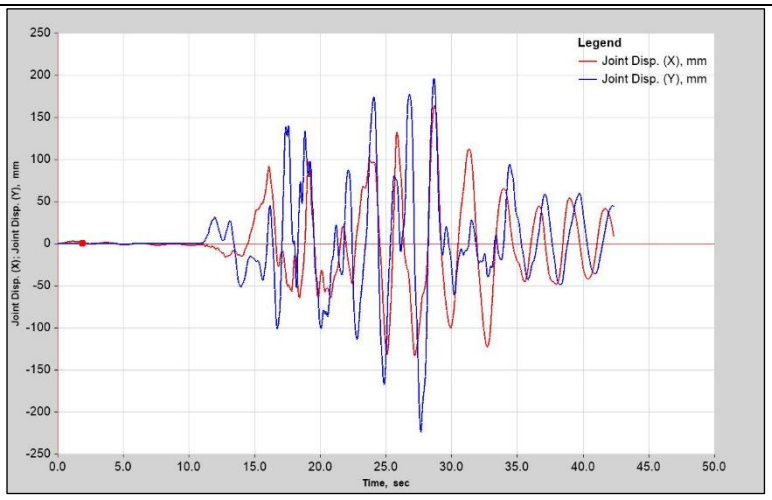


7.4.1.4. Zamana Bağlı Taban Kesme Kuv. (NLTHA Base Forces)



Şekil 7.51: Zamana bağlı taban kesme kuvvetleri.

7.4.1.5. Zamana Bağlı Tepe Yer Değiştirmeleri (NLTHA Roof Disp.)

SWR(0.00)-GY-ISO-T1 - Zamana Bağlı Tepe Yerdeğiştirmeleri	
RSN1116	
RSN1162	
RSN1615	

Şekil 7.52: Zamana bağlı tepe yer değiştirmeleri.

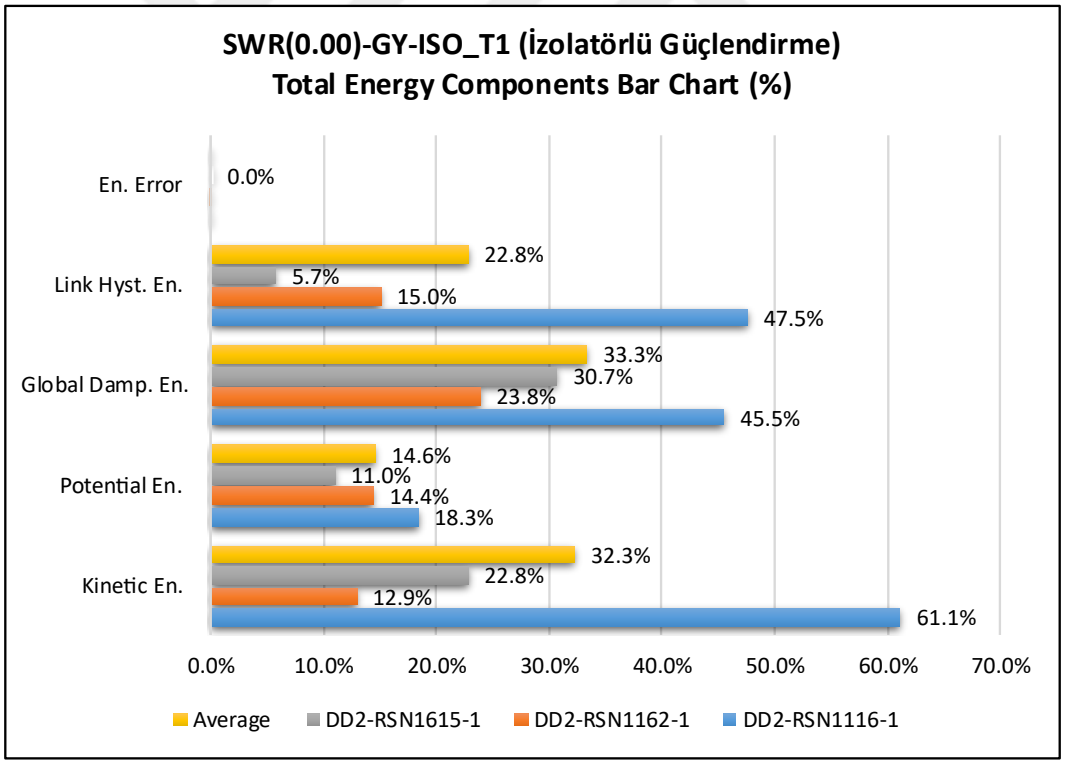
7.4.1.6. Toplam Enerji Bileşenleri (Total Energy Comp.):

Tablo 7.39: ETABS toplam enerji bileşenleri (kNm)

SWR(0.00)-GY-ISO_T1 (İzolatörlü Güçlendirme) - Total Energy Components (kNm)						
Output Case	Input En.	Kinetic En.	Potential En.	Global Damp. En.	Link Hyst. En.	En. Error
	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)
DD2-RSN1116-1	10834.6	6620.9	1987.7	4926.6	5150.2	0.0
DD2-RSN1162-1	5079.2	1394.6	1558.8	2582.5	1629.7	0.0
DD2-RSN1615-1	6138.9	2467.7	1190.2	3321.7	621.4	0.0

Tablo 7.40: ETABS toplam enerji bileşenleri ()

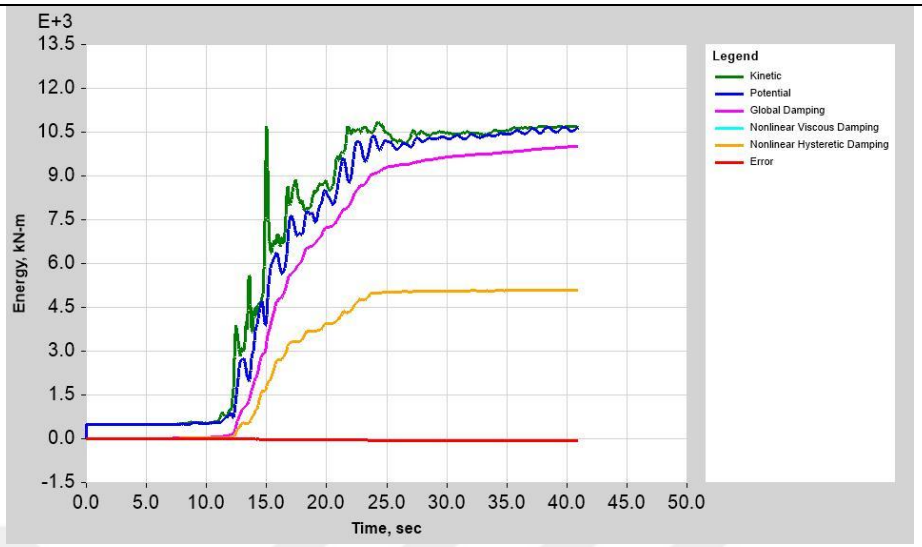
SWR(0.00)-GY-ISO_T1 - Total Energy Components (%)					
Output Case	Kinetic En.	Potential En.	Global Damp. En.	Link Hyst. En.	En. Error
DD2-RSN1116-1	61.1%	18.3%	45.5%	47.5%	0.0%
DD2-RSN1162-1	12.9%	14.4%	23.8%	15.0%	0.0%
DD2-RSN1615-1	22.8%	11.0%	30.7%	5.7%	0.0%
Average	32.3%	14.6%	33.3%	22.8%	0.0%



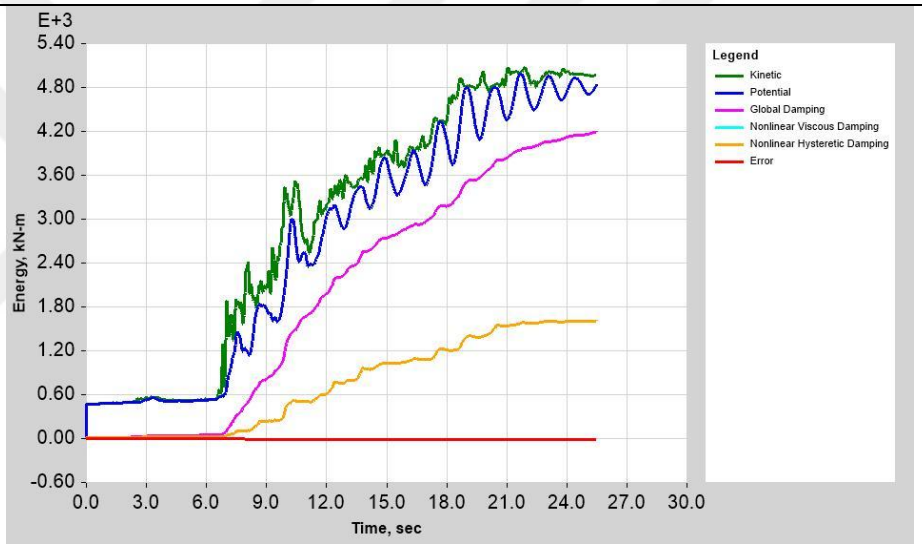
Şekil 7.53: ETABS analiz sonuçlarında enerji bileşenleri dağılımları.

SWR(0.00)-GY-ISO-T1 Analizi Toplam Enerji Bileşenleri

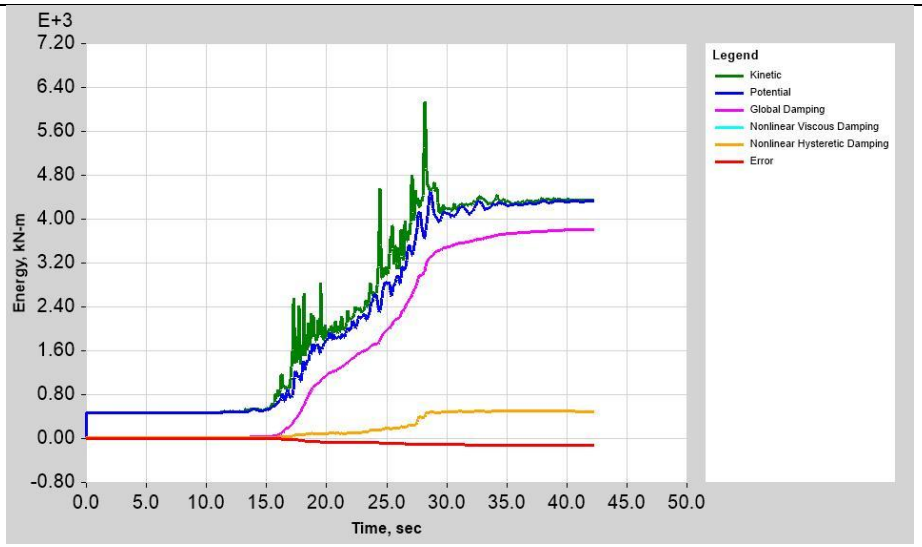
RSN1116



RSN1162



RSN1615

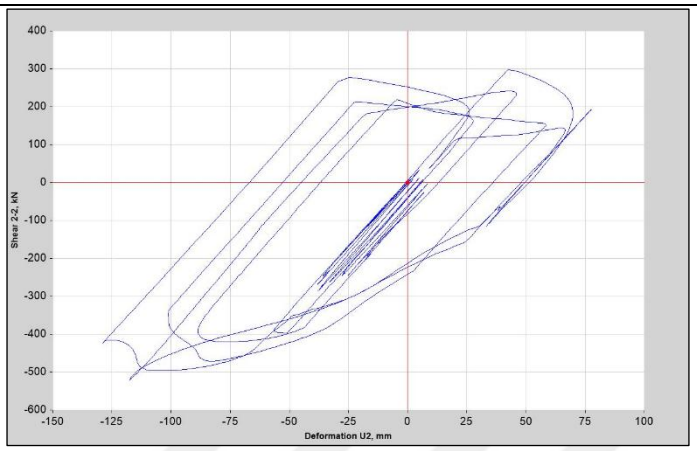


Şekil 7.54: ETABS analiz sonuçlarında enerji bileşenleri dağılımı grafiği.

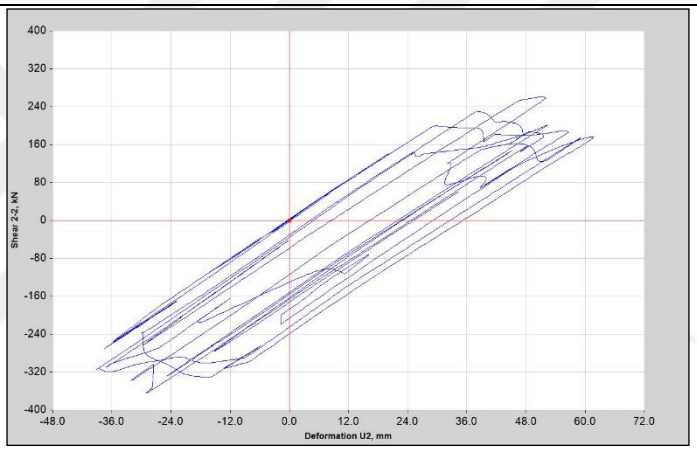
7.4.1.7. Link Kuvvet-Deplasman Eğrileri (Link Hysteresis)

GY-ISO-T1- İzolatör Link Kuvvet Deplasman Eğrisi

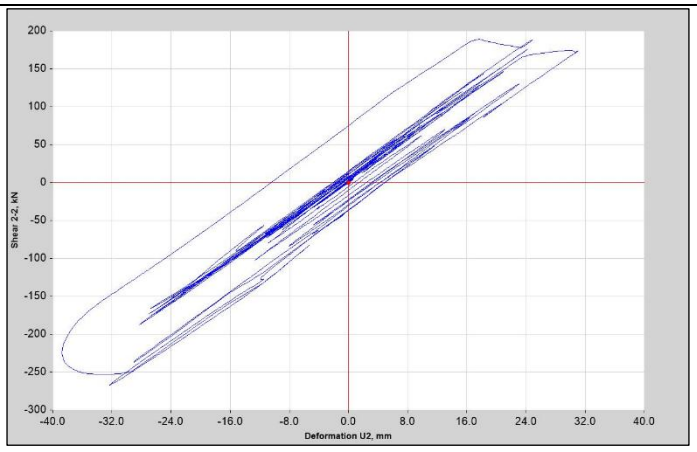
RSN1116



RSN1162



RSN1615

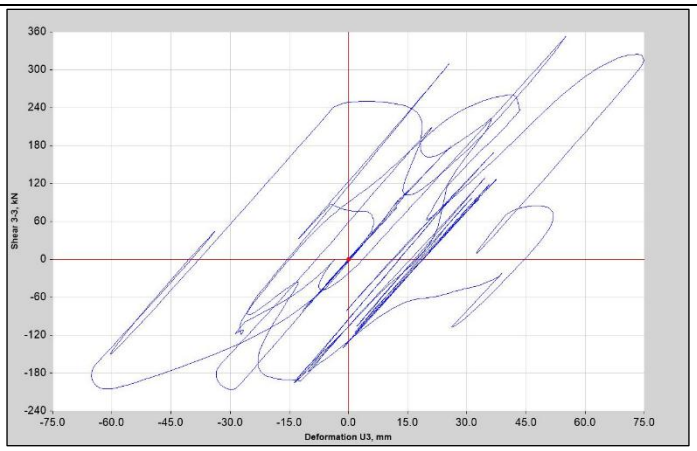


K24 İzolatör Linki Kuvvet(V2)-Deplasman(U2) Eğrisi

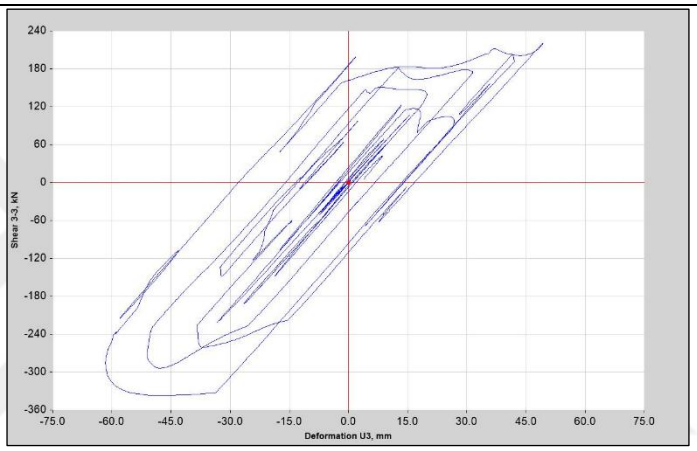
Şekil 7.55: ETABS analiz sonucunda link histeresis grafikleri.

GY-ISO-T1- İzolatör Link Kuvvet Deplasman Eğrisi

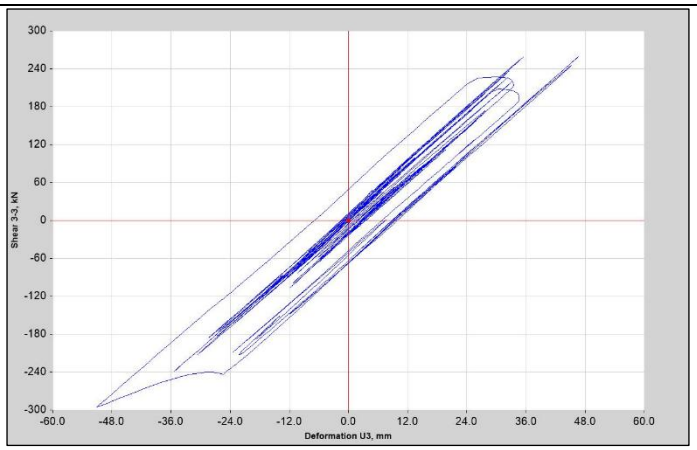
RSN1116



RSN1162



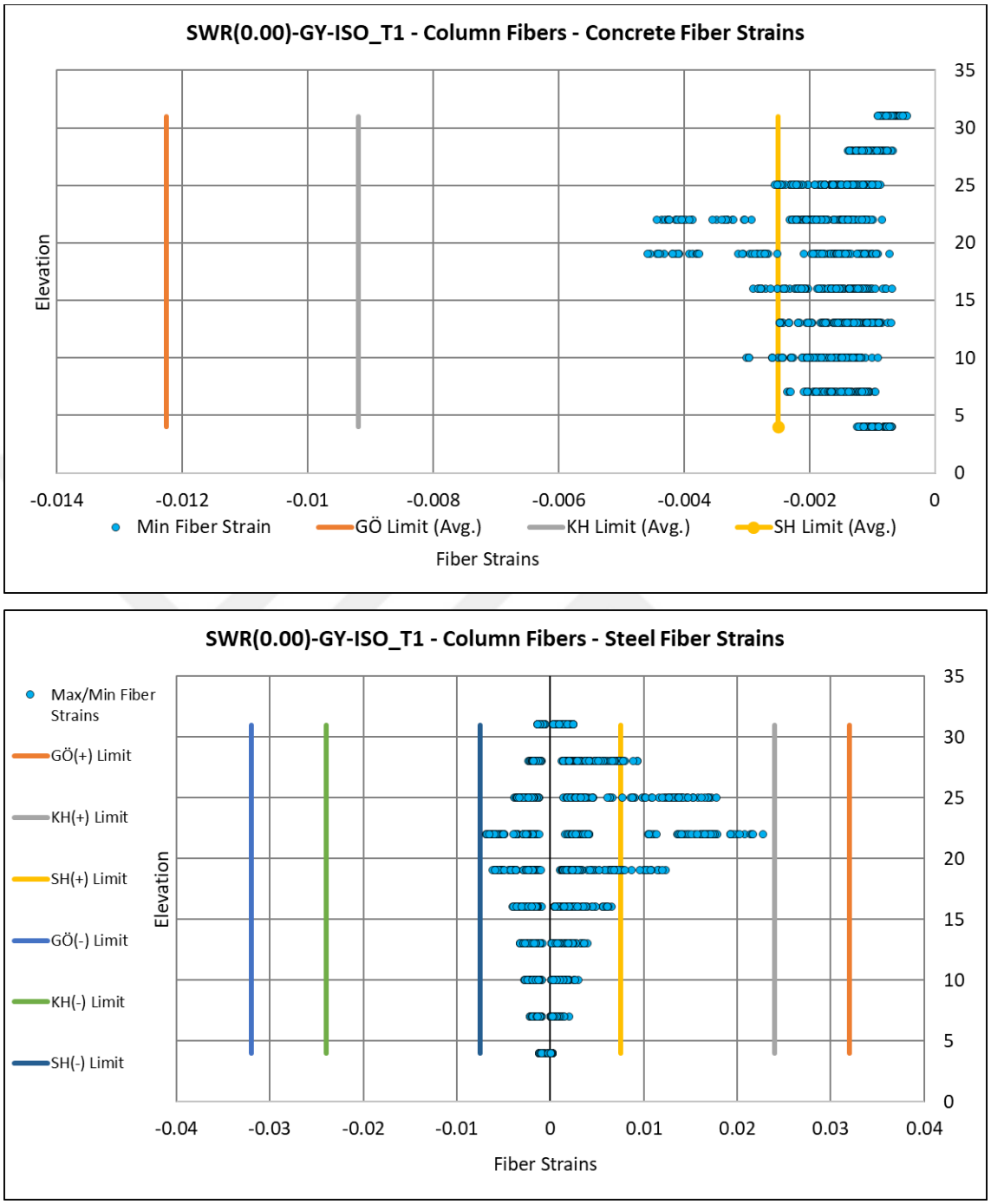
RSN1615



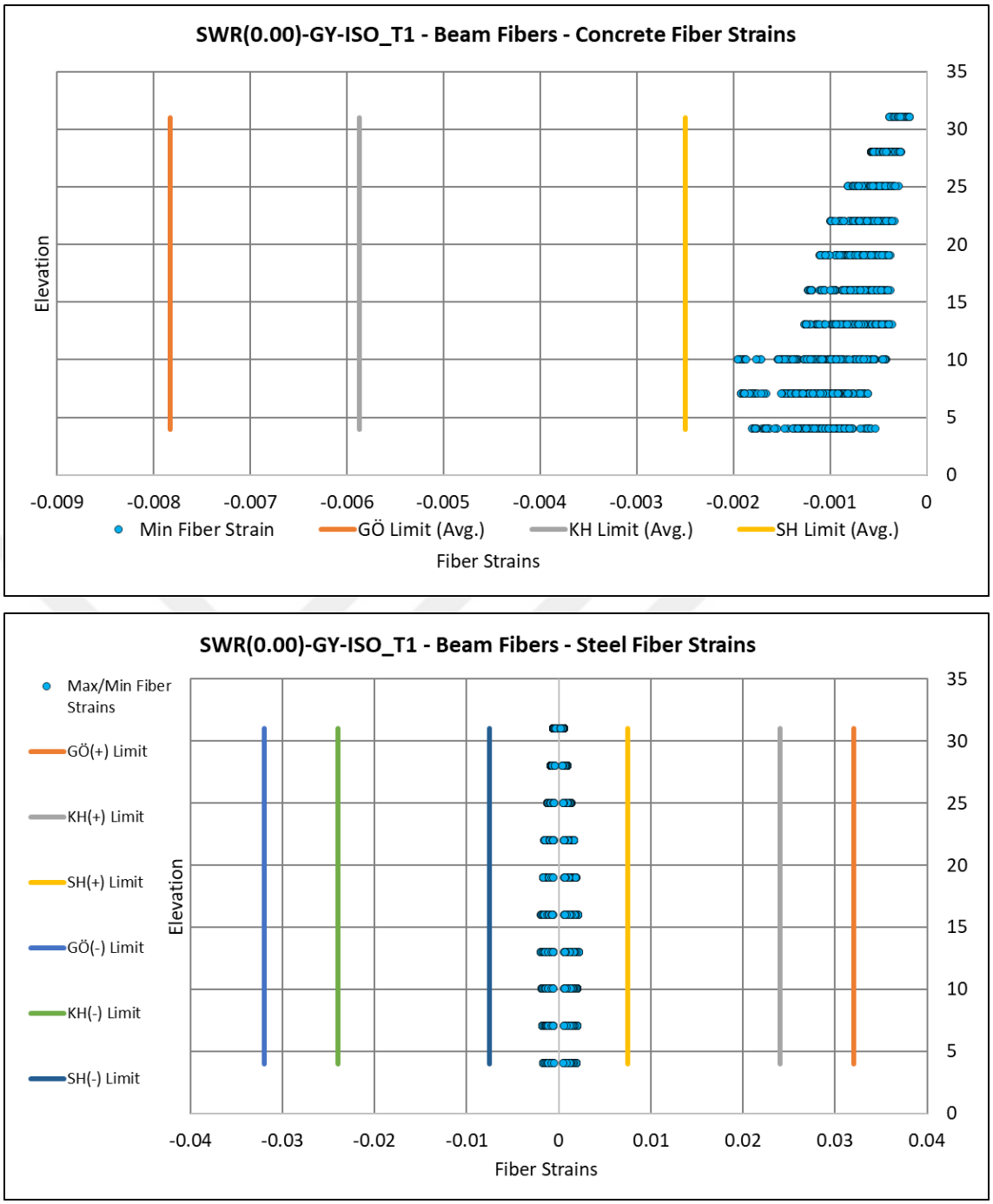
K24 İzolatör Linki Kuvvet(V3)-Deplasman(U3) Eğrisi

Şekil 7.56: ETABS analiz sonucunda link histeresis grafikleri.

7.4.1.8. Eleman Hasar Düzeylerinin Özet Dağılım Grafikleri



Şekil 7.57: ETABS analiz sonuçlarında kolon beton ve çelik fiber sonuçları.



Şekil 7.58: ETABS analiz sonuçlarında kiriş beton ve çelik fiber sonuçları.

8. SONUÇLAR

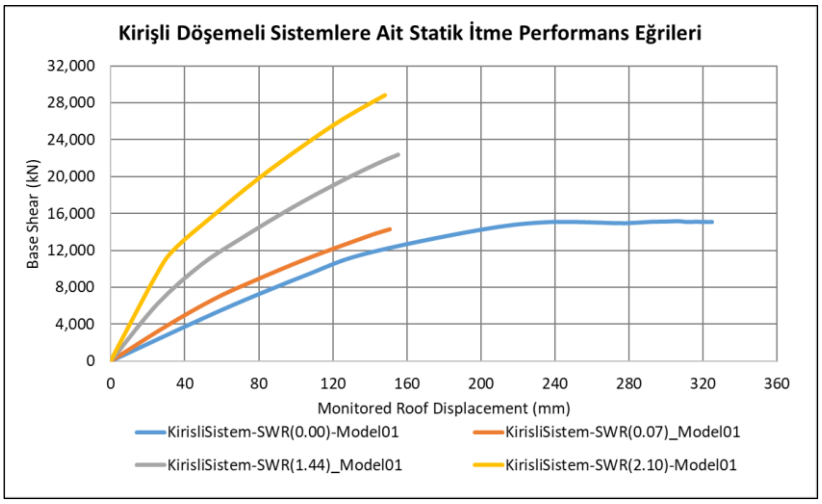
Bu tez kapsamında gerçekleştirilen iki aşamalı performans analizi çalışmasının birinci aşaması olan "Ön Değerlendirme Analizi" kapsamında farklı döşeme tipi ve farklı perde oranlarına sahip yapıların "Sabit Tek Modlu İtme Yöntemi" ile performans eğrileri elde edilmiştir. Daha sonra seçilen bir yapı üzerinden, bu yapının farklı yöntemlerle güçlendirilmesi ve "Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz" yöntemiyle bu güçlendirme yöntemlerinin performans sonuçları elde edilmiştir.

8.1. Ön Değerlendirme Analizlerine Ait Sonuçlar

Bu bölümde, çalışma kapsamında gerçekleştirilen ön değerlendirme analizlerine ait sonuçlar aktarılmıştır. Devamında ise ön değerlendirme analizlerine ait sonuçlara genel bir bakış sunulacaktır.

8.1.1. Kirişli Plak Döşemeli Sistemlere Ait Yorumlar

Aşağıda kirişli plak döşemeli ve farklı perde oranlarına sahip yapıların performans eğrilerini gösterir grafik ve devamında ise elde edilen sonuçlar liste halinde yorumlanmıştır.



Şekil 8.1: Kirişli plak sistemlere ait statik itme eğrileri.

- Kirişli plak döşemeli sistemlerin kapasite grafikleri mukayese edildiğinde ilk olarak perdesiz “SWR(0.00)” modelinin diğer modellerden farklı olarak daha sünek davranış gösterdiği gözemlenmektedir.

- Perdeli yapıların itme kapasitesine ulaştığı 160mm değerinde, perdesiz yapının süneklik göstermeye başlayarak taşıma kapasitesinde bir azalma olmaksızın deformasyona devam ettiği görülmektedir. Bu da deprem bölgelerinde sünek yapı tasarımının ne kadar ekonomik, güvenli ve efektif olduğunu göstermektedir.

- Sünek yapı tasarımının felsefesi olan “Bir binanın yüksek şekil değiştirme etkilerine uğramasına rağmen çökmeden veya ani yıkım olmadan deprem enerjisini sönümleme ve oluşabilecek hayati riskleri azaltma” kavramı, sayısal veriler ışığında bu tez kapsamında tekrar tespit edilmiştir.

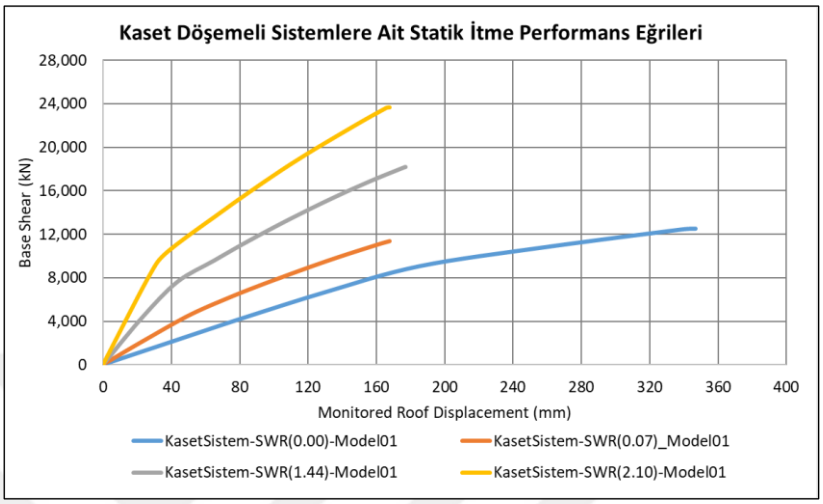
- Yapısal taşıyıcı unsurlar arasına hangi oranda betonarme perde elemanı yerleştirilirse yerleştirilsin (Perde boyutlarının seçiminde Lw/Bw≈7 oranı dikkate alınmıştır.) kapasite grafiğindeki tepe deplasman miktarlarında yaklaşık %50 düşüş tespit edilmiştir.

- Yapıya hangi miktarda perde eklenirse eklensin ~160mm tepe deplasmanı değerinin aşılamadığı gözlemlenmiştir. Bu durum, perde elemanların yapının süneklik miktarını ve deplasman kapasitesini belirlemede ne kadar baskın ve etkili olduğunu ifade etmektedir.

- Perde miktarları arttıkça, ~160mm tepe deplasmana karşılık gelen taban kesme kuvveti de artmaktadır. Bu davranış, aynı deplasman kapasitesinde daha yüksek rijitliğin betonarme perde miktarındaki artış ile sağlanabileceğini göstermektedir.

8.1.2. Kaset Döşemeli Sistemlere Ait Yorumlar

Aşağıda kaset döşemeli ve farklı perde oranlarına sahip yapıların performans eğrilerini gösterir grafik ve devamında ise elde edilen sonuçlar liste halinde yorumlanmıştır.



Şekil 8.2: Kaset döşemeli sistemlere ait statik itme eğrileri.

- Kaset döşemeli sistemlerin kapasite grafikleri mukayese edildiğinde ilk olarak perdesiz "SWR(0.00)" modelinin diğer modellerden farklı olarak daha sünek davranış gösterdiği gözemlenmektedir.

- Perdeli yapıların itme kapasitesine ulaştığı 170mm değerinde, perdesiz yapının süneklik göstermeye başlayarak taşıma kapasitesinde bir azalma olmaksızın deformasyona devam ettiği görülmektedir. Bu da deprem bölgelerinde sünek yapı tasarımının ne kadar ekonomik, güvenli ve efektif olduğunu göstermektedir.

- Sünek yapı tasarımının felsefesi olan "Bir binanın yüksek şekil değiştirme etkilerine uğramasına rağmen çökmeden veya ani yıkım olmadan deprem enerjisini sönümleme ve oluşabilecek hayati riskleri azaltma" kavramı, sayısal veriler ışığında bu tez kapsamında tekrar tespit edilmiştir.

- Yapısal taşıyıcı unsurlar arasına hangi oranda betonarme perde elemanı yerleştirilirse yerleştirilsin (Perde boyutlarının seçiminde Lw/Bw≈7 oranı dikkate alınmıştır.) kapasite grafiğindeki tepe deplasman miktarlarında yaklaşık %50 düşüş tespit edilmiştir.

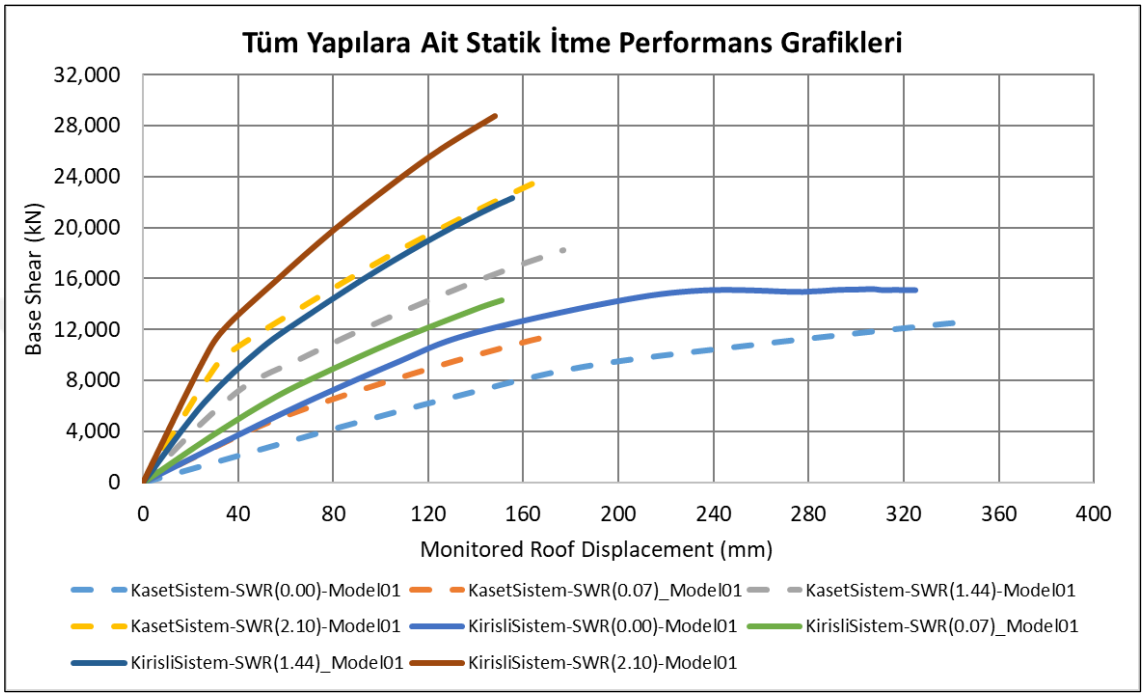
- Yapıya hangi miktarda perde eklenirse eklensin ~160mm tepe deplasmanı değerinin aşılamadığı gözlemlenmiştir. Bu durum, perde elemanların yapının süneklik miktarını ve deplasman kapasitesini belirlemede ne kadar baskın ve etkili olduğunu ifade etmektedir.

- Perde miktarları arttıkça, ~170mm tepe deplasmana karşılık gelen taban kesme kuvveti de belirgin miktarda artmaktadır. Bu davranış, aynı deplasman kapasitesinde daha yüksek rijitliğin betonarme perde miktarındaki artış ile sağlanabileceğini göstermektedir.

- Perdesiz kaset döşemeli sistemin performans grafiği her ne kadar perdesiz kirişli plak sistemin performans grafiğine benzer gibi görünse de, esasen kaset döşemeli sistemin akmadan sonra gerçekleşmesi beklenen sünek davranışını (yani taşıma kapasitesinde bir azalma olmadan şekil değiştirmeye devam edebilmesi) kirişli plak kadar belirgin gerçekleştirememiştir. Oysa perdesiz kirişli plak sistemin performans grafiğinin akmadan sonra belirgin bir şekilde yataylaşarak devam ettiği görülmektedir.

8.1.3. Ön Değerlendirme Analizlerine Ait Genel Sonuçlar

Aşağıda kirişli plak ve kaset döşemeli sistemlerin performans grafikleri bir arada sunulmuştur. Kesikli çizgiler kaset döşemeli sistemlere, düz çizgiler ise kirişli plak döşemel sistemlere ait değerleri ifade etmektedir.



Şekil 8.3: Kirişli plak ve kaset döşemeli sistemlere ait statik itme eğrileri.

Aşağıda her iki döşeme tipine ait sonuçlardan elde edilen verilere ait yorumlar listelenmiştir;

- Her iki döşeme tipli sistemde de perdesiz yapılar ~340mm tepe yer değiştirmesi gerçekleştirmiştir. Ancak yapıya herhangi bir oranda perde eklendiğinde okunan tepe yer değiştirme miktarları her iki döşeme tipli sistemde de ~%50 düşmüştür. Bu durum, betonarme perdelerin yapının ötelenme miktarını (ve dolayısıyla hasar miktarını) önemli ölçüde dizginlediğini göstermektedir.

- Her iki döşeme tipli sistemde de, perdeli yapıların tepe deplasman kapasitesine ulaştığı yerde, perdesiz yapılar akmaya başlamış ve taşıma kapasitesini yitirmeden yer değiştirme miktarını artırmıştır. Bu durum, sünek yapı tasarım felsefesi olan "Bir binanın yüksek şekil değiştirme etkilerine uğramasına rağmen çökmeden veya ani

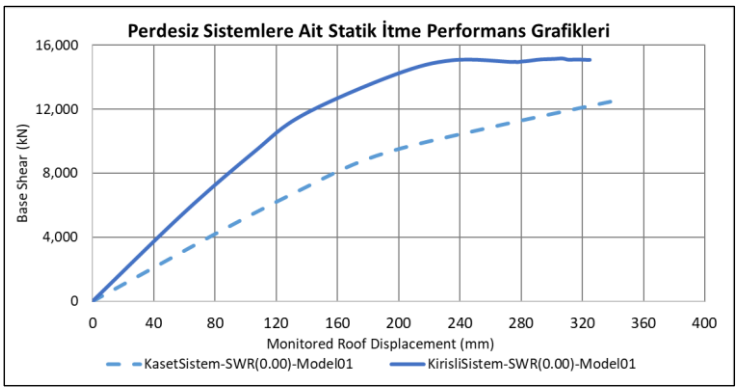
yıkım olmadan deprem enerjisini sönümlemesi ve oluşabilecek hayati riskleri azaltması“ prensibi sayısal veriler doğrultusunda tekrar tespit edilmiştir.

- Her iki döşeme tipli sistemde de yapıya hangi miktarda perde eklenirse eklensin ~170mm tepe deplasmanı değerinin aşılamadığı gözlemlenmiştir. Bu durum, perde elemanların (döşeme tipinden bağımsız olarak) yapının süneklik miktarını ve deplasman kapasitesini belirlemede ne kadar baskın ve etkili olduğunu ifade etmektedir. Diğer yandan, perdeli yapılarda diyafram etkisi sağlandığı sürece döşeme tipinin yapının davranışını belirlemede ana unsur olarak etkili olmayacağı yorumu da geliştirilebilmektedir.

- Her iki döşeme tipli sistemde de perde miktarları arttıkça, ~170mm tepe deplasmana karşılık gelen taban kesme kuvveti de belirgin miktarda artmaktadır. Bu davranış, aynı deplasman kapasitesinde daha yüksek rijitliğin betonarme perde miktarındaki artış ile sağlanabileceğini göstermektedir.

- Tüm perde oranlarında kaset sistemlerin performansı kirişli plak sistemlerin performansından belirgin şekilde düşüktür. Bu durum, moment aktaran çerçeve kirişlerin varlığının yapının rijitlik ve süneklik kapasitesine olan katkısından kaynaklanmaktadır. Çünkü kaset döşemeli sistemlerde kirişler ve döşemeler aynı derinlikte olduğundan, kirişler de bir çeşit döşeme gibi davranmaktadır. Döşeme ile aynı derinlikte olan betonarme kirişlerin, deprem gibi yanal dış etkiler altında, çerçeve momentini taşıma/aktarma kapasitesi kirişli plak sistemlere göre oldukça düşüktür. Dolayısıyla kaset döşemeli sistemlerin çerçeve davranışı genel olarak kirişsiz plak döşemeli sistemlere benzemektedir.,

- Yapısal analizler doğrultusunda, kirişli plak sistemin daha güçlü bir çerçeve etkisi sağladığı, dolayısıyla taban kesme kuvvetlerine karşı daha dirençli olduğu görülmektedir. Öte yandan, kaset döşemeli sistemin, çerçeve etkisinin sınırlı olması nedeniyle, deprem etkisi altında bir miktar daha yüksek tepe yer değiştirmesi yapması beklenmektedir. Bu davranış farkı, sistem rijitliğinin döşeme tipi ile doğrudan ilişkili olduğunu ortaya koymakta ve yapı güvenliği açısından önemli bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır. Yapısal değerlendirme süreçlerinde bu tür farklılıkların dikkate alınması, deprem performansı açısından güvenilir ve doğru sonuçlara ulaşmak için kritik öneme sahiptir.



Şekil 8.4: Perdesiz kirişli plak ve kaset sistemlerin kapasite eğrileri

- Yukarıdaki grafikte perdesiz durumdaki kirişli plak sistem (düz çizgi) ve kaset döşemeli sistem (kesikli çizgi) performans eğrileri sunulmuştur. Açıkça görülmektedir ki TBDY2018 yönetmeliğine göre aynı taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R=8) değerinin kullanımının kısıtlanmadığı kaset döşemeli sistemler ile kirişli plak döşemeli sistemler arasında enerji tüketim potansiyelleri farklı seviyelerdedir. Kirişli plak sistemin kapasite eğrisinin altında kalan alan, kaset döşemeli sistemin kapasite eğrisi altında kalan alandan neredeyse 1.33 kat daha fazladır. Her ne kadar tasarım yönetmeliklerinde bu iki yapı tipi kesin ve net ifadeler ile ayrılmamış olsa da, her yapısal tasarım mühendisi bu davranışın bilincinde olarak tasarıma devam etmelidir.

- TBDY2018 yönetmeliği uyarınca kaset döşemeler ile kirişli plak döşemelerin Taşıyıcı Sistem Katsayısı (R) aynı alınabilse de, kirişli plaklı sistemler daha sünek bir davranış göstermektedir. Kaset döşemeli sistemler ise beklenen seviyede bir çerçeve davranışı göstermediğinden, nispeten daha düşük süneklik göstermektedir.

- Sonuç olarak mühendisler tarafından yönetmelik kurallarına uygun yapılar tasarlansa bile, yapıların genel mühendislik özelliklerinin seçimi, yapının performansı üzerinde çok önemli bir parametredir. Döşeme tipleri her ne kadar yükleri kolonlara aktarmak için olsa da, bu çalışma kapsamında da görüldüğü üzere yapının rijitliğinde ve süneklik kapasitesinde belirleyici bir parametredir.

- TBDY2018 yönetmeliğinde her ne kadar perdesiz tasarlanan kirişli plak ve kaset döşemeli sistemler için yapı davranış katsayıları (R) aynı olsa da, yapılan statik itme analizlerinden de görüldüğü üzere, kaset döşemeli sistemler daha düşük süneklik göstermiştir ve dolayısıyla hedeflenen tepe deplasmana ulaşabilmesi için daha düşük

bir taban kesme kuvvetine ihtiyaç duymaktadır. Bu durumda kaset döşemeli sistemler pratikte daha fazla hasar görebilme potansiyeline sahiptir.

- TBDY2018 yönetmeliği her ne kadar perdesiz tasarımda kaset döşemeli (çift doğrultulu asmolen) sistemler ile kirişli plak sistemler için aynı davranış katsayısı (R ve D) kullanımı konusunda bir ayrım yapmamış olsa da, statik tasarım sürecinde mühendislerin bu davranış farkından doğan öngörülmemiş hasar potansiyelinin bilincinde olarak yapısal taşıyıcı sistemi kurgulamalıdır.

Ön Değerlendirme Yapılarının Bütünleşik Performans Göstergeleri														
ETABS Model İsimlendirmeleri	Döşeme Sistemi	Perde Oranı	Total Weight	Push_X-DD2		Modal Partic. Mass Ratios			Total Energy Comp. (Push_X-DD2)					DEKAP
									Input En.	Poten. En.		Link Hyst. En.		
			kN	kN	TKK	Mode	Tx (s)	UX	kNm	kNm	Ratio	kNm	Ratio	kNm
KasetSistem-SWR(0.00)_Model01	Kaset	0.00%	76808	12534	16.3%	1	2.05	0.81	2404	1696	70.5%	709	29.5%	2640
KasetSistem-SWR(0.07)_Model01	Kaset	0.07%	82181	11360	13.8%	2	1.59	0.61	859	778	90.6%	81	9.4%	1076
KasetSistem-SWR(1.44)_Model01	Kaset	1.44%	90162	18201	20.2%	2	1.15	0.65	1117	956	85.6%	162	14.5%	1946
KasetSistem-SWR(2.10)_Model01	Kaset	2.10%	97110	23660	24.4%	2	0.93	0.66	1280	1048	81.9%	232	18.1%	2482
KirisliSistem-SWR(0.00)_Model01	Kirişli	0.00%	84834	15179	17.9%	2	1.62	0.81	2978	1632	54.8%	1358	45.6%	3519
KirisliSistem-SWR(0.07)_Model01	Kirişli	0.07%	89949	14308	15.9%	2	1.43	0.54	993	896	90.2%	97	9.8%	1215
KirisliSistem-SWR(1.44)_Model01	Kirişli	1.44%	97657	22344	22.9%	2	1.06	0.67	1247	1071	85.8%	176	14.1%	2065
KirisliSistem-SWR(2.10)_Model01	Kirişli	2.10%	104423	28786	27.6%	3	0.87	0.69	1429	1176	82.3%	253	17.7%	2624

Şekil 8.5: Ön değerlendirme yapılarının bütünleşik performans göstergeleri

Temel performans kriterleri olarak seçilen veriler aşağıda listelenmiştir;

- Taban Kesme Katsayısı (TKK): Yapıya gelen spektral kuvvetin (F,kN) yapı ağırlığına (kN) bölünmesiyle elde edilmiştir. "Base Shear Coefficient" terimine karşılık gelmektedir. Bu değer ne kadar yüksekse, yapı o kadar rijittir ve ağırlığıyla göreceli olarak daha fazla taban kesme kuvveti talebi oluşturmaktadır. Yapıdaki perde oranı arttıkça bu değerin de arttığı görülmektedir. Bu nedenle yapısal tasarım esnasında taşıyıcı sisteme eklenen her perde elemanın yapıyı rijitleştirmesinin ve ötelenme miktarlarını sınırlamasının yanı sıra, daha yüksek taban kesme kuvveti ve dolayısıyla daha yüksek kesit tesirleri oluşturacağı göz önünde alınmalıdır.

- Görüldüğü üzere TKK değeri en yüksek olan yapılar, perde oranı en yüksek (yani en rijit) yapılardır. Bu yapılar kendi ağırlığına göre daha fazla deprem kuvveti talebi oluşturmaktadır. Bu yapıların rijitlikleri diğerlerine göre yüksek olduğundan, mafsallaşma ve dolayısıyla enerji tüketimi açısından diğerlerine göre nispeten daha düşüktür.

- TKK değeri en düşük olanlar ise perde oranının en düşük olduğu yapılardır. Bu durumda yapıya gelen taban kesme kuvveti de diğerlerine göre daha düşük olacaktır.

- Deformasyon Enerjisi Kapasitesi (DEKAP): Kapasite eğrisinin altında kalan toplam alanı vermektedir. Sabit Tek Modlu İtme Analizi sonuçlarından elde edilen bu alan ne kadar yüksekse, yapının deformasyonu sırasında tükettiği enerji/iş miktarı da o kadar fazladır. Bu faktör ön değerlendirme analizlerinin sonucundaki mukayese için önemli bir parametre olarak dikkate alınmıştır.

- DEKAP oranının en yüksek olduğu yapılar SWR(0.00) ve SWR(2.10) olan yapılardır. Betonarme yapı davranışından beklendiği üzere SWR(0.00) gibi perdesiz yapılarda daha yüksek enerji tüketimi gerçekleşmiştir. Bunun sebebi yapısal taşıyıcı sistemdeki mafsallaşabilen eleman sayısının (sünek tasarlanmış kolon-kiriş birleşim noktaları vb.) daha yüksek olmasıdır. Ancak SWR(2.10) gibi perde oranı yüksek yapıların, daha düşük perde oranlı yapılar olan SWR (0.70) ve SWR(1.44) gibi yapılara göre daha çok enerji tüketim kapasitesine sahip olması dikkat çekmektedir. Bunun sebebi, yüksek perde oranlı yapıların aynı tepe deplasman kapasitesine daha yüksek taban kesme kuvvetlerinde ulaşabilmesidir. Ancak perde oranı %2.10' u geçen yapılar bu çalışma kapsamında değildir. Perde oranı arttıkça (örneğin %5.00) enerji tüketebilme kapasitesinin azalacağı öngörülmektedir.

- "Link Hysteresis Energy" değerinin yüksek olması, yapısal taşıyıcı sistemdeki doğrusal olmayan şekil değiştirme yapan elemanların/kesitlerin oranının yüksek olduğunu ifade etmektedir. Link Hysteresis Energy, doğrusal olmayan malzeme tanımlanmış betonarme elemanlardaki plastikleşme veya kayma davranışı ile enerji yutmasını tariflemektedir. Bir çeşit "Plastikleşme Enerjisi" de denilebilir. Nitekim bu değer ne kadar yüksekse yapı o kadar enerji tüketebildiğinden, bu yapıların DEKAP değeri de yüksek olmaktadır. Bu parametrenin en yüksek olduğu yapılar yine SWR(0.00) ve SWR(2.10) olan yapılardır.

- "Potential Energy" değeri, yapının deprem gibi dış etkiler nedeniyle uğradığı yer değiştirmelerden kaynaklanan depolanmış enerjiyi tariflemektedir. Bu değer yüseldikçe, yapıda depolanan enerji artmaktadır. Yapının süneklik seviyesi arttıkça, içinde tutadağı hareket enerjisi azalacağından, sünek yapılarda bu değerin oranı daha düşük olacaktır. Nitekim yapılan analizlerde DEKAP değerininin ve Link Hysteresis Energy değerinin yüksek olduğu SWR(0.00) ve SWR(2.10) yapılarında, potansiyel enerji değeri diğer yapılara göre daha düşüktür.

8.2. Güçlendirme Analizlerine Ait Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında "KasetSistem-SWR(0.00)" modeli çeşitli güçlendirme yöntemlerine tabi tutulmuştur. Bu yapının seçilme sebebi, kapasite eğrisinin diğer tüm yapıladın altında kalmasıdır. Ayrıca perdesiz olması sebebiyle, tahkik edilecek güçlendirme yönteminin yapısal davranışa etkisi ve sonuçları daha belirgin olarak irdelenebilecektir.

Aşağıda güçlendirmesiz modelin referans alındığı, güçlendirmeli modellere ait analiz sonuçlarının özet bir tablosu sunulmaktadır. Bu tablodaki sonuçlar üzerinden yorumlar geliştirilecektir.

Comparison Parameter	Unit	Seismic Retrofitting Analysis Models Results							
		RM	GY-SW_T1	GY-SW_T2	GY-BRB_T1	GY-BRB_T2	GY-BRB_T3	GY-BRB_T4	GY-ISO_T1
Conc.Fib.Str.-T150$_{AVG}$	-	-0.0080	-0.0040	-0.0045	-0.0028	-0.0032	-0.0054	-0.0054	-0.0029
Ste.Fib.Str.-T150$_{AVG}$	-	0.0188	0.0122	0.0116	0.0081	0.0059	0.0188	0.0112	0.0084
Top.St.Disp.3R$_{MAX}$	mm	514.1	316.3	354.2	260.4	298.4	264.2	307.1	431.4
Top.St.Disp.3R$_{AVG}$	mm	248.6	246.8	230.9	132.2	162.6	203.4	218.9	252.0
St.Drifts.3R$_{MAX}$	-	4.55%	1.33%	1.72%	1.41%	1.45%	1.37%	1.64%	2.53%
St.Drifts.3R$_{AVG}$	-	1.22%	0.95%	1.00%	0.58%	0.70%	0.86%	0.97%	1.52%
LinkHyst.En.Rat.3R$_{MAX}$	%	32.00%	20.37%	19.81%	55.27%	53.44%	36.76%	23.36%	47.53%
LinkHyst.En.Rat.3R$_{AVG}$	%	14.92%	15.90%	12.50%	52.84%	51.66%	35.27%	16.00%	22.77%
Period, Tx	sn	2.063	1.48	1.694	1.1	1.337	1.502	1.743	11.192
Period, Ty	sn	2.052	1.474	1.687	1.1	1.335	1.471	1.742	11.19
MMPR-UX	-	0.803	0.680	0.746	0.812	0.817	0.819	0.817	1.000
MMPR-UY	-	0.806	0.726	0.754	0.812	0.817	0.821	0.817	1.000
MMPR-RZ	-	0.813	0.699	0.764	0.823	0.829	0.837	0.834	1.000

Şekil 8.6: Yapıların performans karşılaştırma parametreleri

Yapısal güçlendirme analizlerinin performansını kıyaslayabilmek için oluşturulan tabloda, her bir satırdaki en iyi 4 değer yeşil renge, en kötü 4 değer ise kırmızı renge boyanmıştır. Bu tablo doğrultusunda aşağıdaki yorumlar geliştirilmiştir.

Aşağıda yapıların performans kriterlerinde kullanılan parametrelerin açıklamaları sunulmaktadır.

Conc.Fib.Str.-T150AVG (Concrete Fiber Strain - Top 150 Average): Kolon elemanlarındaki beton malzemesinin toplam fiber sayısının (1500) en küçük (-) yüzde onluk kısmının (150) ortalamasını ifade eder.

Ste.Fib.Str.-T300AVG (Steel Fiber Strain - Top 150 Average): Kolon elemanlarındaki donatı malzemesinin toplam fiber sayısının (3000) en büyük (+) yüzde onluk kısmının (150) ortalamasını ifade eder.

Top.St.Disp.3RMAX (Top (Roof) Story Displacement - Max. of 3 Records): En üst kat deplasmanının 3 deprem kaydı arasından en büyüğünü ifade eder.

Top.St.Disp.3RAVG (Top (Roof) Story Displacement - Avg. of 3 Records): En üst kat deplasmanının 3 deprem kaydının ortalamasını ifade eder.

St.Drifts.3RMAX (Story Drifts - Max. of 3 Records): Göreli kat ötelenme oranlarının 3 deprem kaydına göre en büyüğünü ifade eder.

St.Drifts.3RAVG (Story Drifts -Avg. of 3 Records): Göreli kat ötelenme oranlarının 3 deprem kaydına göre ortalamasını ifade eder.

LinkHyst.En.Rat.3RMAX (Link Hysteresis Energy Ratio - Max. of 3 Records): Link elemanlarının histeretik enerji sönümleme oranının, üç farklı deprem kaydına göre hesaplanan değerleri arasından en büyüğünü ifade eder.

LinkHyst.En.Rat.3RAVG (Link Hysteresis Energy Ratio - Avg. of 3 Records): Link elemanlarının histeretik enerji sönümleme oranının, üç farklı deprem kaydına göre hesaplanan değerlerinin ortalamasını ifade eder.

Period, Tx (X-Direction Modal Period): X doğrultusunda yapının modal periyodunu ifade eder.

Period, Ty (Y-Direction Modal Period): Y doğrultusunda yapının modal periyodunu ifade eder.

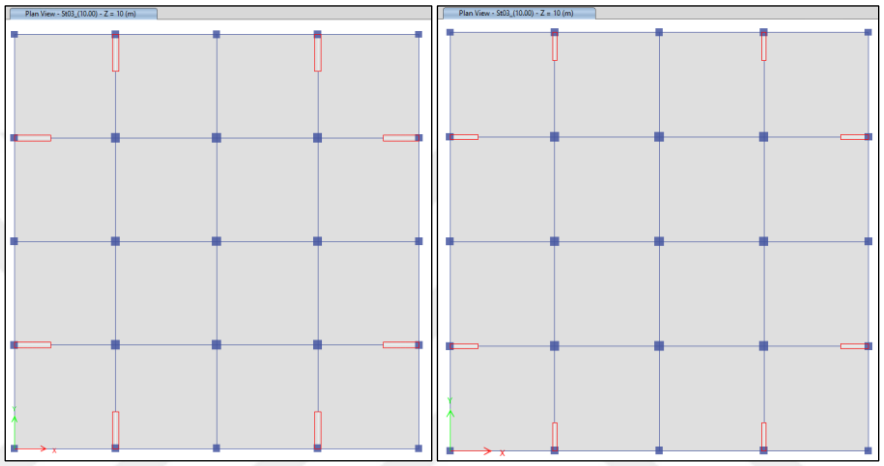
MMPR-UX (Modal Mass Participation Ratio in UX): X yönündeki modal kütle katılım oranı

MMPR-UY (Modal Mass Participation Ratio in UY): Y yönündeki modal kütle katılım oranı

MMPR-RZ (Modal Mass Participation Ratio in RZ): Z ekseni etrafındaki dönme (burulma) yönünde modal kütle katılım oranı

8.2.1. Perdeli Güçlendirme Yöntemlerine Ait Yorumlar

GY-SW_T1 modelinde her iki doğrultuda 4 adet ve toplamda her katta 8 adet olmak üzere 40x240 perdeler (Her bir doğrultudaki perde oranı %0.53 dür.) yerleştirilmiştir. GY-SW_T2 modelinde ise her iki doğrultuda 4 adet ve toplamda her katta 8 adet olmak üzere 30x180 perdeler (Her bir doğrultudaki perde oranı %0.30 dur.) yerleştirilmiştir. Bu yöntemlerin sonuçları ile güçlendirmesiz referans modeline ait sonuçlar aşağıda kıyaslanacaktır.



Şekil 8.7: Perdeli güçlendirme, Solda GY-SW_T1, Sağda GY-SW_T2

- Betonarme perdeli güçlendirme yöntemleri beton ortalama birim kısalma oranlarını ~%50 kadar düşüşmüştür.Donatı ortalama birim uzama oranlarını ise ~%35 kadar düşürmüştür.

- Perdeli güçlendirme yöntemleri en üst katın maksimum ötelenme miktarını ~%35 civarında düşürmüş ancak en üst katın ortalama maksimum ötelenme miktarında bir avantaj sağlayamamıştır. Maksimum göreli ötelenme oranı miktarında ise ~%60 kadar bir düşüş sağlamış ve ortalama göreli ötelenme oranında ise ~%15 bir düşüş sağlamıştır.

- Sistemin rijitliği arttığından, maksimum link hysteresis enerji tüketimlerinde ~%35 bir azalma olmasına karşın, ortalama link hysteresis enerji tüketiminde kayda değer bir değişiklik gözlemlenmemiştir.

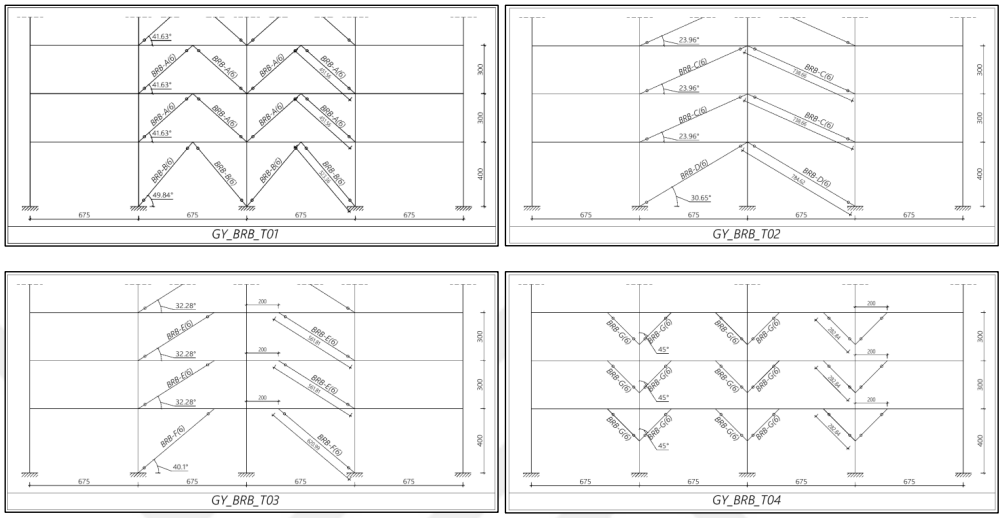
- Perde eklenmesiyle sistemin titreşim frekansı arttığından, modal periyotlarda ~%25 kadar bir düşüş ve kütle katılım oranlarında ise ~%10 kadar bir düşüş tespit

edilmiştir. Periyot ve kütle katılım oranlarındaki düşüşler gayet normal ve beklenen seviyelerde değişiklik göstermiştir.

- Bu çalışma kapsamında GY-SW_T1 yöntemiyle GY-SW_T2 yöntemi arasındaki tek farkın farklı perde oranladı olduğu göz önüne alındığında, bu güçlendirme yöntemleri arasında bariz bir farklılık tespit edilmemiştir. Yalnızca GY-SW_T1 yapısının göreli kat ötelenme oranlarının 3 deprem kaydına göre en büyüğü %1.33 iken, GY-SW_T2 yapısında bu oran %1.72 olarak hesaplanmıştır. Ancak 3 deprem kaydının ortalamasını dikkate aldığımızda bu değer her iki yapı için de ~%1.00 değerine karşılık gelmektedir. Dolayısıyla iki güçlendirme yöntemi arasında göreli kat ötelenme miktarı açısından önemli bir farklılık tespit edilmemiştir. En üst kat deplasmanı ise tahmin edileceği gibi GY-SW_T2 yapısında bir miktar daha fazladır.

8.2.2. BRB ile Güçlendirme Yöntemlerine Ait Yorumlar

BRB ile güçlendirme yöntemlerindeki temel karşılaştırma kriteri, yerleşim konfigürasyonları ve dolayısıyla BRB elemanlarının link özellikleridir. Aşağıda yerleşim konfigürasyonları tekrar sunulmuştur.



Şekil 8.8: BRB yerleşim konfigürasyonları

Aşağıda BRB ile güçlendirme yöntemlerinin hem kendi içinde kıyaslaması hem de referans modele kattığı performans avantajları listelenmiştir.

- Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi ve karşılaştırılmasında kullanılan tüm parametrelerde en iyi özellikleri gösteren güçlendirme yöntemleri "GY-BRB_T1" ve "GY-BRB_T2" yöntemleridir.

- "GY-BRB_T3" yöntemi de bir çok parametrede iyi performans göstermiştir fakat beton ve donatı malzemelerinin birim şekil değiştirme miktarında ciddi bir avantaj saylayamamıştır. Bunun en belirgin nedeni, GY-BRB_T3 yönteminin çerçeve akslarına yerleşimindeki eksantrikliği nedeniyle yapıdaki yük, gerilme ve şekil değiştirme dağılımında süreksizlik/dengesizlik meydana getirmesidir.

- "GY-BRB_T4" yöntemi ise iki farlı kat diyaframlarına birden bağlanmayıp kolon gövdesine bağlandığı için özellikle göreli ötelenme konusunda diğer BRB güçlendirme yöntemlerine göre dezavantajlı kalmıştır.

- GY-BRB_T4 yönteminin yine en ayrık özelliği, link hysteresis enerji tüketiminin diğer BRB güçlendirme yöntemlerinin neredeyse yarısı kadar olmasıdır.

- GY-BRB_T4 yöntemi ile GY-BRB_T3 yöntemlerindeki ortalama birim şekil değiştirme değerleri, diğer güçlendirme yöntemlerine göre oldukça yüksektir. Hatta perdeli güçlendirme yöntemlerinden bile daha fazla birim şekil değiştirme ortalamalarına sahiptir. Bunun sebebi de yine yapısal taşıyıcı elemanlar üzerinde oluşturduğu eksantrik-dengesiz yük dağılımlarıdır.

- GY-BRB_T1 ve GY-BRB_T2 yöntemleri hem bulundukları katlardaki alt-üst diyaframa bağlıdır, hem de kolon-kiriş gibi elemanların etkin açıklığına bağlanmayıp, birleşim bölgelerine mesnetlendiği için taşıyıcı sistemde daha dengeli yük dağılımları oluşturmaktadırlar. Bu nedenle beton ve donatı malzemelerindeki birim şekil değiştirme ortalamaları diğer yöntemlere göre oldukça düşüktür.

- GY-BRB_T1 ve GY-BRB_T2 yöntemlerinin link hysteresis enerji tüketimleri, sismik izolatör ile güçlendirme yöntemi hariç, diğer tüm güçlendirme yöntemlerinin neredeyse 2 katıdır. Aynı zamanda bu yöntemlerin göreli kat ötelenme miktarlarının da oldukça düşük olduğu analiz sonuçlarına göre gayet açıktır. Bu iki özelliğin (yüksek enerji tüketimi ve düşük göreli ötelenme oranı) aynı anda gerçekleşmesinin sebebi, BRB elemanlarının hem rijitlik artırıcı hem de süneklik sağlayıcı özellikte olmasıdır.

- GY-BRB_T3 ve GY-BRB_T4 yöntemleri her ne kadar mimari kullanım için (kapı/pencere boşlukları, koridorlar vs.) diğer yerleşim konfigürasyonlarına göre daha avantajlı görünse de, yapısal performansa olan katkısı GY-BRB_T1 ve GY-BRB_T2 yöntemlerine göre düşüktür. Ancak iyi bir statik/mimari tasarım ile GY-BRB_T1 ve GY-BRB_T2 yöntemleriyle de estetik ve fonksiyonel çözümler geliştirilebilmektedir.

- Özellikle GY-BRB_T4 yönteminde BRB elemanlar kolon-kiriş elemanlarının açıklığına mesnetlenmesi nedeniyle, yetersiz enine donatılı kesitleri bulunan ve beton kalitesi nispeten kötü olan mevcut yapılarda, bu yöntemin kullanılmasıyla oldukça riskli sonuçlar ile karşılaşılabilir.

- GY-BRB_T1 yönteminde de GY-BRB_T4 yöntemine benzer olarak elemanların bir ucu alt kolon-kiriş birleşim bölgesinde, diğer ucu da üst kat kirişinin açıklık ortasındadır. Bu tarz bir güçlendirme yönteminin kullanılması durumunda kirişlerde ilave kesme ve eksenel kuvvet artışları oluşabilmektedir. Bu durumda ilave çelik profil takviyeleri veya mevcut kirişin kesme/eğilme kapasitesinin artırılmasına yönelik başka güçlendirme yöntemleri seçilebilir.

8.2.3. Sismik İzolatör ile Güçlendirme Yöntemine Ait Yorumlar

Aşağıda sismik izolatör ile güçlendirme yönteminin hem referans model ile kıyaslaması, hem de diğer güçlendirme yöntemleriyle kıyaslaması listelenmiştir.

- Sismik izolatör ile güçlendirme yönteminde bariz olarak beton ve çelik malzemelerinin birim şekil değiştirme miktarlarının ortalamasında diğer yöntemlerin tamamına göre (GY-BRB_T1 hariç) ciddi bir düşüş gözlemlenmiştir. Bu düşüş miktarı, referans modelin ortalama birim şekil değiştirme oranlarına göre yaklaşık ~%65 kadardır. Bu durum, sismik izolatör ile bir yapının güçlendirilmesi durumunda üst katlarda ilave bir güçlendirme (FRP sargı, mantolama, çelik takviye vb.) yöntemine genellikle ihtiyaç olmayacağı anlamına gelmektedir. Ancak TBDY2018 yönetmeliği kapsamında mevcut binaların güçlendirilmesinden sonra da bir asgari performans hedefi olduğundan, üst yapıda ilave güçlendirme gerekip gerekmediğine farklı bir sürecin sonunda karar verilir.

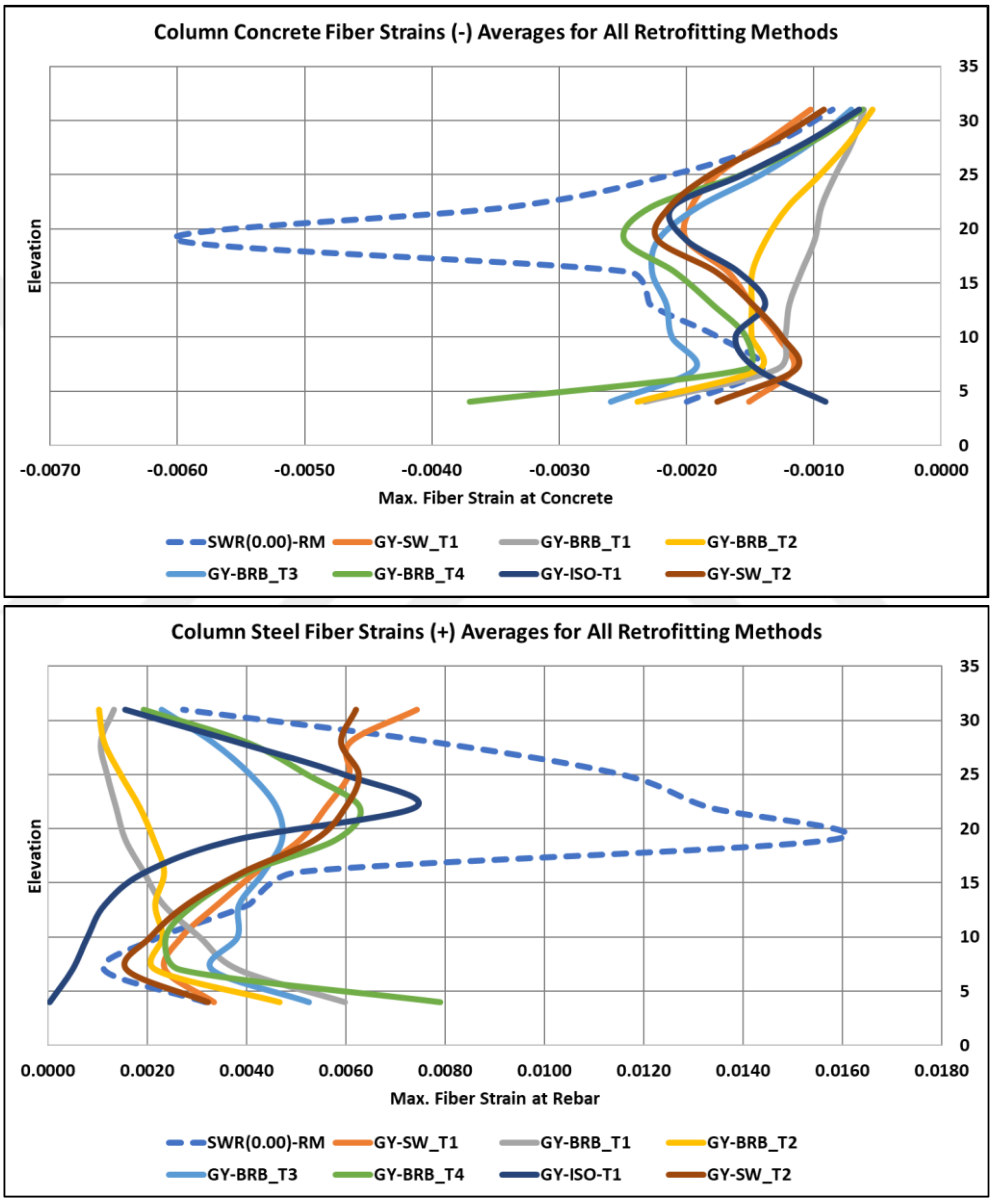
- Tepe deplasmanı ve göreli kat ötelenme kriterlerinde diğer yöntemlere göre oldukça dezavantajlı olduğu görülmektedir. Ancak bu dezavantajın sebebi bu çalışma kapsamında seçilen izolatör parametrelerinden kaynaklanabilmektedir. İleri çalışmalarda bu durum, çalışılan bina özelinde daha avantajlı sonuçlara evrilebilir.

- Sismik izolatör ile güçlendirilmiş binadaki link hysteresis enerji tüketimi de oldukça yüksektir. Bu durum, sismik izolatörlerin üst yapı rijitliğine ilave bir katkısı olmadığı ve taşıyıcı sisteme gelen dinamik etkilerin ciddi bir kısmının izolatör seviyesinde sönümlenmesinden kaynaklanmaktadır.

- Sismik izolatör ile güçlendirilen yapının periyodu referans modele göre ~5 kat artarak 11sn olarak tespit edilmiştir. Bu durum da yine bu çalışma kapsamında sismik izolasyon birimleri için kabul edilen parametrelerden kaynaklanmaktadır. Esasen gerçek bir ileri tasarımda bu seviyelerde bir periyot ile karşılaşılmayacağı düşünülmektedir.

8.2.4. Güçlendirme Yöntemlerine Ait Genel Sonuçlar

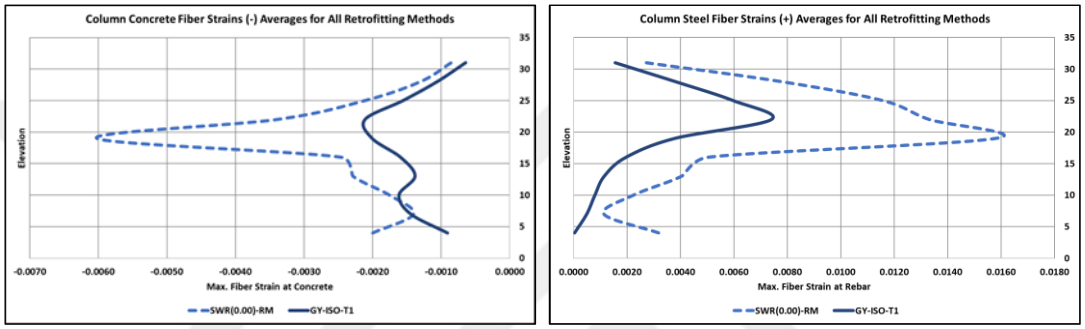
Bu bölümde güçlendirme yöntemlerinin tamamına ait sonuçlar irdelenecektir. Aşağıda referans model ve tüm güçlendirme yöntemlerinin analiz sonuçlarında, kolon elemanlarına ait beton ve çelik malzemelerinin tamamının ortalama birim şekil değiştirme değerlerinin katlar boyunca değişimini gösterir grafiklar sunulmuştur.



Şekil 8.9: Katlara göre kolonlardaki beton-çelik birim şekil değişimleri

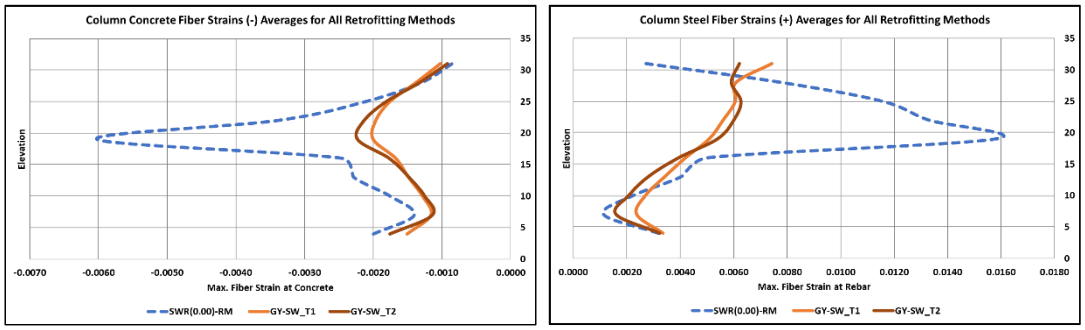
- Kolonlardaki beton ve çelik malzemelerinin birim şekil değiştirme değerlerinin katlardaki ortalamalarına göre referans modelin 15~30m kotları arasında bariz bir şekilde çok yüksek şekil değiştirmeye uğradığı görülmektedir.

- Yalnızca taban seviyesinde sismik yalıtım birimlerinin kullanıldığı sismik izolatör ile güçlendirme yönteminin birim şekil değiştirme grafiklerinin şekli, referans modelin bir miktar ölçeklenmiş/ötelenmiş şekline benzemektedir. Bu durum, sismik izolatör ile güçlendirme yönteminin, üst yapıya gelen dinamik etkileri izolatör seviyesinde sönümlemesi ve bir kısmının üst yapıya iletilmesiyle meydana gelmektedir. Nitekim daha düşük kat kuvvetleri altında, güçlendirilmemiş durumdaki referans modele göre daha düşük birim şekil değiştirmeler yapıyor olsa da yine üst yapının davranışı güçlendirilmemiş referans modelin davranışına benzemektedir.



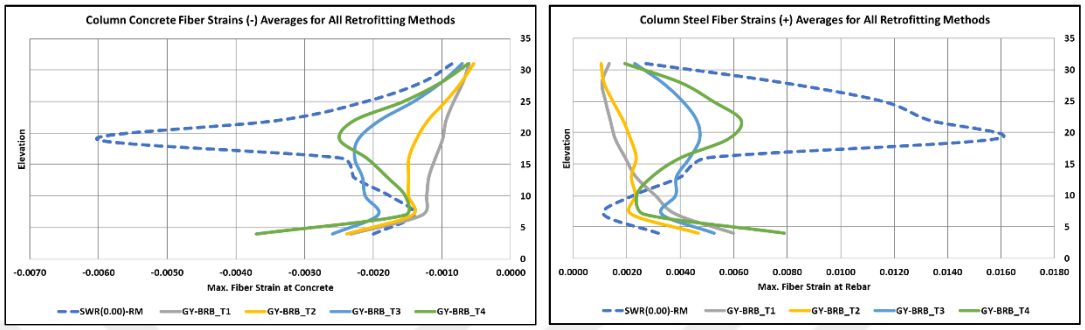
Şekil 8.10: İzolatörlü güçlendirme ile referans modelin kolon strain grafikleri

- Perde ile güçlendirme yöntemlerinde belirgin bir şekilde birim şekil değiştirme değerlerinde azalma gözlemlenmiştir. Bu durumun sebebi perdeler sayesinde yapısal rijitliğin artması ve kat ötelenmelerinin sınırlandırılmasıdır. Betonarme perde ilavesiyle yapılan güçlendirme yöntemi bu bakımdan makul bir yöntem olarak kabul edilebilir. Ancak her iki perdeli güçlendirme yöntemi de benzer sonuçlar vermektedir.



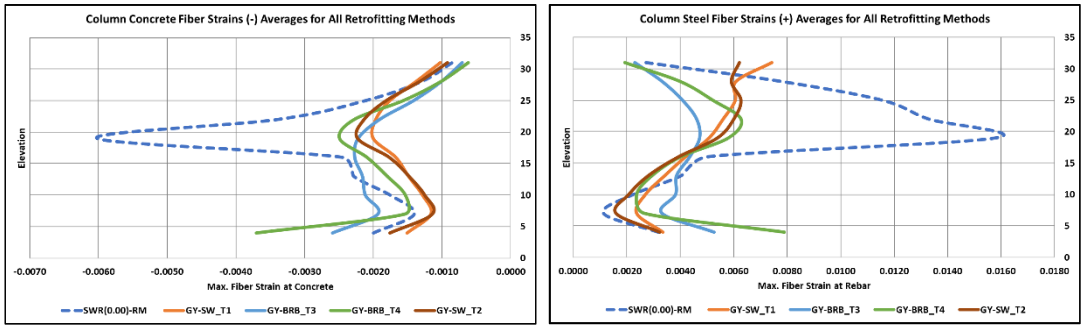
Şekil 8.11: Perdeli güçlendirme ile referans modelin kolon strain grafikleri

- BRB ile güçlendirme yöntemlerinden GY-BRB_T1 ve GY-BRB_T2 yöntemleri oldukça düşük şekil değiştirme oranlarına sahiptir. Ancak GY-BRB_T3 ve GY-BRB_T4 yöntemleri, ilk iki yönteme kıyasla daha yüksek şekil değiştirme oranlarına sahiptir.



Şekil 8.12: BRB' li güçlendirme ile referans modelin kolon strain grafikleri

- GY-BRB_T3 ve GY-BRB_T4 birim şekil değiştirme grafikleri ile GY-SW_T1 ve GY-SW_T2 birim şekil değiştirme grafikleri birbirine yakın değerlere sahiptir. Bu da BRB ile güçlendirmede konfigürasyonun ne kadar etkili olduğunun bir tespitidir. Bu çalışma kapsamında dikkate alınan yapı, GY-BRB_T3/T4 güçlendirme yöntemleri yerine GY-SW_T1/T2 yöntemleriyle güçlendirildiğinde, benzer bir yapısal performansı daha düşük maliyetler ile sağlayacaktır. Çünkü BRB ürünler bir çeşit teknolojik ve özel ürünler olduğundan üretim maliyeti daha yüksektir, yapıya özel üretilir (hazır stok bulunmamaktadır) ve kalifiye işçilik gerektirmektedir. Ancak gelenesel betonarme ilavesi yönteminin malzemesi ve işçiliği daha basit ve yaygın temin imkanına sahiptir.



Şekil 8.13: Referans, Perdeli ve BRB' li güçlendirmelerin strain grafikleri

Bu çalışma kapsamında kabul edilen kriterler, geometrik özellikler, malzeme özellikleri ve karşılaştırma kriterleri dikkate alındığında TBDY2018' e göre tasarlanmış ve imal edilmiş ancak kapasitesi yetersiz görülmüş bir betonarme binayı güçlendirmede en etkili güçlendirme yöntemleri GY-BRB_T1, GY-BRB_T2 ve GY-ISO_T1 olarak tespit edilmiştir.

Bu çalışmada, farklı döşeme tiplerine ait Statik İtme Analizi ve farklı yöntemlerle güçlendirilmiş yapılara ait Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz gerçekleştirilmiştir.Yapılar; betonarme elemanlardaki beton ve çelik fiber deformasyonları, sistemin göreli kat ötelenme oranları, enerji tüketim oranları, en üst kat maksimum deplasmanları vb. gibi birkaç kriterde değerlendirilmiştir. Ancak çalışmanın belirli kabullere ve sınırlı sayıda deprem kaydına dayanması nedeniyle, elde edilen sonuçların genellenebilmesi adına daha geniş örneklemli ve parametrik çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Gelecek çalışmalarda; farklı zemin sınıfları, alternatif güçlendirme yöntemleri, farklı BRB yerleşim konfigürasyonları, farklı beton ve donatı malzeme sınıfları, farklı etriye ve boyuna donatı kabulleri, farklı kat yükseklikleri, farklı kat adetleri, farklı depremsellikler, farklı izolatör parametreleri ve farklı mukayese kriterleri geliştirilerek benzer analizlerin yapılması, literatüre önemli katkılar sağlayabilir.

Bu çalışma gibi gerçekleştirilen parametrik analizler, özellikle yapısal tasarım süreçlerinde mühendislerin karar verme aşamalarında daha tutarlı ve bilinçli yaklaşımlar geliştirmelerine katkı sağlamaktadır. Farklı yapı türleri, analiz yöntemleri ve değerlendirme ölçütleri üzerinden yapılan karşılaştırmalar, mühendislik yorumlarının sadece sezgisel değil, aynı zamanda analitik temellere dayandırılmasına olanak tanımaktadır. Bu yönüyle çalışma, hem akademik dünyada hem de pratik mühendislik uygulamalarında yönlendirici bir referans olma potansiyeli taşımaktadır.

Bu çalışmanın ileride benzer analizler yapacak araştırmacılar ve uygulayıcı mühendisler için yol gösterici olmasını temenni ediyorum. Ayrıca, bu alanda yapılan ya da yapılacak olan her türlü bilimsel çalışmanın mühendislik bakış açısını derinleştireceği ve ülkemizin yapı güvenliğini artırmaya yönelik katkılar sunacağına inanıyorum. Bilimsel üretimin sürekliliği ve paylaşımı doğrultusunda, bu tür çalışmaların literatüre olduğu kadar toplumsal faydaya da hizmet etmesi en büyük dileğimdir.

KAYNAKLAR

[1] Zengin B., Usta P., (2021), "Farklı döşeme tiplerine sahip betonarme binaların sismik davranışı", Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Sayı 27

[2] Doğan O., Genç Y. ve Odacıoğlu O.G, "Betonarme taşıyıcı sistemlerin depreme dayanıklı tasarımında uyumlu perde-çerçeve davranışı için minimum perde oranının belirlenmesi", Politeknik Dergisi, 25(4):1561-1573, (2022)

[3] Korkmaz K.A., "Çelik çapraz elemanlarla güçlendirilen betonarme yapıların deprem davranışlarının incelenmesi", Doğuş Üniversitesi Dergisi, 8 (2) 2007, 191-201

[4] Web, https://www.aisc.org/technical-resources/speedcore/ (Erişim: Haziran 2025)

[5] Web, https://mapelse.github.io/istanbulJeoloji/ (Erişim: Haziran 2025)

[6] https://depremzemin.ibb.istanbul/tr/istanbul-ili-mikrobolgeleme-projeleri (Erişim: Haziran 2025)

[7] Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S. et al. Active fault database of Turkey. Bull Earthquake Eng 16, 3229–3275 (2018).

[8] Fatih Oktay (Fotoğrafçı), https://www.flickr.com/photos/36212287@N00/

[9] A. D. F. Hamlin College Histories of Art History of Architecture New York, NY: Longmans, Green, and Co., 1915

[10] Dr. Stelios Antoniou, https://seismosoft.com/methods-of-strengthening-of-reinforced-concrete-buildings/, (Erişim Tarihi: 28.01.2025)

[11] Dhyanom K. G., Sonya Y. S., Mohak B. B., Mahesh T. K., Mahesh M. B., Sharayu S. S. (2013-2014), "Seısmıc Performance Study Of R.C. Buıldıngs With Shear Wall", Project Report, Department Of Civil Engineering, University of Canterbury, New Zealand

[12] Dr. Stelios Antoniou, https://seismosoft.com/new-reinforced-concrete-shear-walls/, (Erişim Tarihi: 28.01.2025)

[13] Web, https://www.karadenizteknikproje.com/projeler/ (Erişim: Haziran 2025)

[14] Web, https://gkmc.com.tr/featured_item/kamu-universitesi/ (Erişim: Haziran 2025)

[15] Web, https://gkmc.com.tr/featured_item/kamu-ortaokulu-2/ (Erişim: Haziran 2025)

[16] Prof Dr. Oğuz Cem Çelik, İTÜ Vakfı We, “Etkin güçlendirme yöntemlerine örnekler”, 2024, Web: https://www.ituvakif.org.tr/etkin-guclendirme-yontemlerine-ornekler

[17] Web, https://www.lisega.de/en/vibration-control-en/tuned-mass-dampers-tmd/ (Erişim: Haziran 2025)

[18] Web, https://edition.cnn.com/style/article/symphony-shanghai-tower (Erişim: Haziran 2025)

[19] Web, https://story.item24.de/item-shanghai-tower-englisch#32293 (Erişim: Haziran 2025)

[20] Web, https://www.smartshanghai.com/articles/activities/the-shanghai-tower-has-a-fantastic-swinging-vulva-at-the-top-of-it-that-plays-avatar-music

[21] Xilin Lu, Qi Zhang, Dagen Weng, Zhiguang Zhou, Shanshan Wang, Stephen A. Mahin, Sunwei Ding, Feng Qian, “Improving performance of a super tall building using a new eddy-current tuned mass damper”, Structural Control and Health Monitoring, 2017; 24: e1882, https://doi.org/10.1002/stc.1882

[22] Web, https://en.wikipedia.org/wiki/Shinbashira (Erişim: Haziran 2025)

[23] Atsuo Konishi, 2011, “Structurel Design of Tokyo Sky Tree”, Nikken Sekkei Ltd., Tokyo, Japan

[24] Web, https://www.theb1m.com/video/tokyo-skytree-insane-engineering (Erişim: Haziran 2025)

[25] Tokyo Sky Tree (Special Issue), Steel Construction Today & Tomorrow, 2010, No.31

[26] Web, https://ikidane-nippon.com/en/features/a00159 (Erişim: Haziran 2025)

[27] Web, https://www.taipei-101.com.tw

[28] Web, https://en.wikipedia.org/wiki/Taipei_101

[29] Web, https://www.revistaconstructiilor.eu/index.php/2015/12/01/popp-asociatii-consolidarea-si-reabilitarea-cladirilor-monument/

[30] Nawrotzki P., Popp T., Siepe D., “Seismic Retrofitting of Structures with Tuned-Mass Systems”, 15th World Conference on Earthquake Engineering 2012 (15WCEE)

[31] Web, chatgpt.com

[32] A. Formisano, A. Massimilla, G. Di Lorenzo, R. Landolfo, “Seismic retrofit of gravity load designed RC buildings using externalsteel concentric bracing systems”, Engineering Failure Analysis, Volume 111, April 2020, 104485

[33] Yuya Takase, “Testing and modeling of dowel action for a post-installed anchor subjected to combined shear force and tensile force”, Engineering Structures, 2019, 195(9):551-558

[34] A. Dutta, R. O. Hamburger,”Case Study Of A 40-Storey Bucklıng-Restraıned Braced Frame Buıldıng Located In Los Angeles”, The Structural Desıgn Of Tall And Specıal Buıldıngs, 19, 77–93 (2010)

[35] Web, https://www.enr.com/articles/38103-cantilevered-cube-complicates-la-courthouse

[36] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY2018)

[37] Betonarme Yapıların Tasarım Ve Yapım Kuralları (TS500-2000)

[38] Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri (TS498-1987)

[39] Veismoradi, S. M. M. Yousefbeik, P. Zarnani, P. Quenneville,“Experimental investigation of deficient RC frames retrofitted by RSFJ-toggle bracing systems”, 2023, Structures, Volume 58

[40] M. C. Constantinou, P. Tsopelas, W. Hammel, “Toggle-Brace-Damper Seısmıc Energy Dıssıpatıon Systems”, Feb. 2001, Journal of Structural Engineering

[41] R. Astroza, H. Ebrahimian, J.P. Conte, (2015), “Material Parameter identification in Distributed Plasticity FE Models of Frame-type Structure Using Nonlinear Stochastic Filtering”, ASCE Library, 1943-7889

ÖZGEÇMİŞ

Hüseyin ÖZER, 2015 yılında T.E.B. Ataşehir Anadolu Lisesi' nden mezun oldu. 2015 yılında katıldığı Selçuk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünden, 2018 yılında Mühendislik Fakültesi' nin yeni bir üniversiteye evrilmesi sebebiyle, 2019 yılında Konya Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. 2021 yılında Gebze Teknik Üniversitesi' nde Deprem ve Yapı Mühendisliği alanında yüksek lisans öğrenimine başlamıştır.

2017 yılında İGA İstanbul Havalimanı şantiye stajıyla başladığı meslek hayatına, 2018 yılında yapısal tasarım hizmeti veren bir özel firmada stajyer mühendis olarak devam etti.

Halen özel sektörde betonarme yapılar, çelik yapılar, mevcut binaların değerlendirilmesi/güçlendirilmesi ve sismik taban yalıtımlı yapılar gibi çeşitli alanlarda hizmet veren bir Yapısal Tasarım Mühendisi olarak mesleğini icra etmektedir.

TEZ METNİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

H. ÖZER, Ü. MERT, (2024), “Betonarme Yapılarda Farklı Güçlendrme Yöntemlernn Deprem Performansına Etksnn İrdelenmesi”, 6. Uluslararası Dirençlilik Kongresi, 413-414.