



T.C. ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE
İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI



GFDRR
Global Facility for Disaster Reduction and Recovery



Administered by
THE WORLD BANK
IBRD • IDA | WORLD BANK GROUP



YENİLİKÇİ GÜÇLENDİRME UYGULAMALARI İLE TASARLANMIŞ VAKA ÇALIŞMALARINI EL KİTABI



Proje Ekibi

Dr. Timurhan Timur

Prof. Dr. Uğurhan Akyüz

İnş. Yük. Müh. Caner Soydaş

Dr. Cem Haydaroğlu

İnş. Yük. Müh. Sebla Çınar

Mimar Elif Senel Münir

Mak. Müh. Burç Güneri

Elk. Elkt. Müh. Emine Kazanç

İnş. Yük. Müh. Berkant Doğan

İnş. Yük. Müh. Enescan Sarıkaya

Grafik Tasarım

Yük. Şhr. Pln. Tuğçe Gürleyen

Uluslararası Finans Kaynaklı Sismik Güçlendirme Daire Başkanlığı

Proje Uygulama Birimi

Daire Başkanı Önder Yurdakul

AR-GE Şube Müdürü Dr. Duygu Özkır

İnş. Müh. Utku Özden

Dr. Ozan Demirel

Elk. Elkt. Müh. Özlem Erdem Yüksel

İnş. Yük. Müh. Zeynep Ünsal

Yapı İşleri Genel Müdürlüğü

Genel Müdür Murat Oral

Genel Müdür Yardımcısı Namık Güver

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı

Mustafa Kemal Mahallesi 2082. Cadde No:52 Çankaya / Ankara

Telefon: +90 312 410 10 00

Bu kitap, Japon Hükümeti adına faaliyet gösteren GFDRR (Küresel Afet Azaltma ve Yeniden Yapılanma Kurumu)'ın doğrudan desteği ve Dünya Bankası'nın finansmanı ile Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Yapı İşleri Genel Müdürlüğü, Uluslararası Finans Kaynaklı Sismik Güçlendirme Daire Başkanlığı tarafından yönetilen "WB/CS-TA-02" kodlu "İleri Mühendislik Uygulamaları ve Kapasite Geliştirme için Teknik Destek Danışmanlık Hizmetleri" projesi kapsamında ARUP tarafından hazırlanmıştır.

Bu kitapta yer alan bilgiler danışman firmanın araştırmaları ve güvenilir kaynaklardan derlenmiştir. Bu bilgiler genel rehber niteliği taşımakta olup, bina özelinde yapılacak çözümlerde doğrudan kullanılmadan önce gerekli mühendislik hizmetinin alınması gerekmektedir.

Kitabın içeriği, yasal, akademik veya mali tavsiye niteliği taşımaz. Kitapta yer alan görüşler uzman görüşleridir ve kurumları bağlamaz.

Bu kitapta kullanılan kaynaklar ve görseller ilgili sahiplerine aittir. Telif hakkı ihlali durumunda, lütfen bizimle iletişime geçiniz.

Bu çalışma telif hakkına tabidir. Dünya Bankası, bilgi yayılımını teşvik ettiği için, bu çalışma ticari olmayan amaçlarla, kaynak gösterildiği sürece, kısmen veya tamamen çoğaltılabilir.

Lütfen bu çalışmaya şu şekilde atıfta bulunun: Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2025). *Yenilikçi Güçlendirme Uygulamaları ile Tasarlanmış Vaka Çalışmaları El Kitabı*. Ankara.

ARUP

İçindekiler

İÇİNDEKİLER	i
TABLolar	iv
ŞEKİLLER	v
KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ	1
2. KAPSAM	3
3. İNCELENEEN BİNALARIN TAŞIYICI SİSTEM ÖZELLİKLERİ VE MEVCUT YAPI PERFORMANSLARI	5
3.1 Bina A	5
3.2 Bina B	8
3.3 Bina C	11
3.4 Bina D	15
4. DIŞARIDAN GÜÇLENDİRMELER	19
4.1 Bina A	19
4.1.1 Güçlendirme Tasarımı için Denenen Çalışmalar	19
4.1.2 Seçilen Güçlendirme Sistemi	21
4.1.3 Seçilen Güçlendirme Yönteminin Binanın Performansına Etkisi	23
4.2 Bina B	24
4.2.1 Güçlendirme Tasarımı için Denenen Çalışmalar	24
4.2.2 Seçilen Güçlendirme Sistemi	27
4.2.3 Seçilen Güçlendirme Yönteminin Binanın Performansına Etkisi	28
4.3 Bina C	29
4.3.1 Güçlendirme Tasarımı için Denenen Çalışmalar	29
4.3.2 Seçilen Güçlendirme Sistemi	31
4.3.3 Binanın Performansına Etkisi	34
4.4 Bina D	35
4.4.1 Güçlendirme Tasarımı için Denenen Çalışmalar	35
4.4.2 Seçilen Güçlendirme Sistemi	41
4.4.3 Seçilen Güçlendirme Yönteminin Binanın Performansına Etkisi	43
4.5 Güçlendirme Tasarımının Uygulanmasındaki Zorluklar	43
4.6 Bakım Gereksinimleri	44
4.7 Diğer Afetlere ve İklim Değişikliğine Karşı Dayanıklılığı	44
4.8 Güçlendirmenin Temel Sistemine Etkisi	44
4.9 Güçlendirme Sırasında Alınması Gereklİ Tedbirler	45



5.	SÖNÜMLEYİCİ İLE GÜÇLENDİRMELER	47
5.1	Bina A	47
5.1.1	Güçlendirme Tasarımı için Denenen Çalışmalar	47
5.1.2	Seçilen Güçlendirme Sistemi	50
5.1.3	Seçilen Güçlendirme Yönteminin Binanın Performansına Etkisi	52
5.2	B Blok Binası	53
5.2.1	Güçlendirme Tasarımı için Denenen Çalışmalar	53
5.2.2	Seçilen Güçlendirme Sistemi	53
5.2.3	Seçilen Güçlendirme Yönteminin Binanın Performansına Etkisi	55
5.3	Bina C	55
5.3.1	Güçlendirme Tasarımı için Denenen Çalışmalar	55
5.3.2	Seçilen Güçlendirme Sistemi	59
5.3.3	Seçilen Güçlendirme Yönteminin Binanın Performansına Etkisi	63
5.4	Bina D	64
5.4.1	Güçlendirme Tasarımı için Denenen Çalışmalar	64
5.4.2	Seçilen Güçlendirme Sistemi	66
5.4.3	Seçilen Güçlendirme Yönteminin Binanın Performansına Etkisi	69
5.5	Güçlendirme Tasarımının Uygulanmasındaki Zorluklar	70
5.6	Bakım Gereksinimleri	71
5.7	Diğer Afetlere ve İklim Değişikliğine Karşı Dayanıklılığı	71
5.8	Güçlendirmenin Temel Sistemine Etkisi	71
5.9	Güçlendirme Sırasında Alınması Gerekli Tedbirler	72
6.	BÖÇ İLE GÜÇLENDİRMELER	73
6.1	Bina A	73
6.1.1	Güçlendirme Tasarımı için Denenen Çalışmalar	73
6.1.2	Seçilen Güçlendirme Sistemi	74
6.1.3	Seçilen Güçlendirme Yönteminin Binanın Performansına Etkisi	76
6.2	B Blok Binası	77
6.2.1	Güçlendirme Tasarımı için Denenen Çalışmalar	77
6.2.2	Seçilen Güçlendirme Sistemi	79
6.2.3	Seçilen Güçlendirme Yönteminin Binanın Performansına Etkisi	80
6.3	Bina C	81
6.3.1	Güçlendirme Tasarımı için Denenen Çalışmalar	81
6.3.2	Seçilen Güçlendirme Sistemi	82
6.3.3	Seçilen Güçlendirme Yönteminin Binanın Performansına Etkisi	85
6.4	Güçlendirme Tasarımının Uygulanmasındaki Zorluklar	86
6.5	Bakım Gereksinimleri	86



6.6	Diğer Afetlere ve İklim Değişikliğine Karşı Dayanıklılığı	86
6.7	Güçlendirmenin Temel Sistemine Etkisi	87
6.8	Güçlendirme Sırasında Alınması Gerekli Tedbirler	87
7.	YAKLAŞIK GÜÇLENDİRME MALİYETLERİ	89
8.	YÖNTEMLERİN GENEL DEĞERLENDİRMESİ VE ÖNERİLER	91
8.1	Dışarıdan Güçlendirmeler.....	91
8.2	Sönümleyici Cihazlar	92
8.3	BÖÇ.....	95
9.	YÖNTEMLERİN KARŞILAŞTIRMASI	99
10.	SONUÇ	101

Tablolar

Tablo 1.1:	Vaka Çalışmaları Kapsamında İncelenen Binaların Genel Özellikleri	2
Tablo 3.1:	Bina Bilgileri	5
Tablo 3.2:	Bina Bilgileri	8
Tablo 3.3:	Bina Bilgileri	12
Tablo 3.4:	Mevcut Kiriş Kesitleri Lejantı	14
Tablo 3.5:	Bina Bilgileri	16
Tablo 4.1:	Mantolanan Kolon Kesitleri.....	20
Tablo 4.2:	Mantolanan Kolon Kesitleri.....	22
Tablo 4.3:	Mantolanan Kolon Kesitleri.....	28
Tablo 4.4:	Mevcut ve Betonarme ile Sargılanan Kolon Kesitleri Lejantı.....	32
Tablo 4.5:	Mevcut ve Betonarme ile Sargılanan Kiriş Kesitleri Lejantı.....	33
Tablo 4.6:	Mevcut ve Betonarme ile Sargılanan Kolon Kesitleri	42
Tablo 5.1:	Mantolanan Kolon Kesitleri.....	51
Tablo 5.2:	Mevcut ve Sargılı Kolon Kesitleri.....	55
Tablo 5.3:	Mevcut ve Betonarme ile Sargılanan Kolon Kesitleri Lejantı.....	61
Tablo 5.4:	Mevcut ve Betonarme ile Sargılanan Kiriş Kesitleri Lejantı.....	62
Tablo 5.5:	Mantolanan ve FRP ile Sargılanan Kolon Kesitleri, BÖÇ ve Sönümleyici Lejantı	67
Tablo 5.6:	Mantolanan ve FRP ile Sargılanan Kiriş Kesitleri Lejantı	69
Tablo 6.1:	Mantolanan Kolon Kesitleri.....	75
Tablo 6.2:	Mantolanan Kolon Kesitleri.....	80
Tablo 6.3:	Mantolanan Kolon Kesitleri.....	83
Tablo 6.4:	Mevcut ve Betonarme ile Sargılanan Kolon Kesitleri Lejantı.....	85
Tablo 7.1:	Kabul Edilen Birim Fiyatlar	89
Tablo 7.2:	Yapıların Toplam Kapalı Alanları	89
Tablo 7.3:	Bina A Güçlendirme Maliyetleri	89
Tablo 7.4:	Bina B Güçlendirme Maliyetleri	89
Tablo 7.5:	Bina C Güçlendirme Maliyetleri	89
Tablo 7.6:	Bina D Güçlendirme Maliyetleri	90
Tablo 9.1:	Performans Kıyaslaması	99
Tablo 9.2:	Bina Temeline Etkilerinin Kıyaslaması.....	99
Tablo 9.3:	Uygulama Zorluklarının Kıyaslaması	99
Tablo 9.4:	Maliyetlerin Kıyaslaması.....	99

Şekiller

Şekil 3.1:	Yapı 3D Görüntüsü	5
Şekil 3.2:	Bina Tip Kolon Yerleşim Planı	6
Şekil 3.3:	Bina Tip Kiriş Yerleşim Planı	6
Şekil 3.4:	TBDY 2018 X Yönü Modal Kapasite Eğrisi ve Kapasite Spektrum Eğrileri.....	7
Şekil 3.5:	TBDY-2018 Y Yönü Modal Kapasite Eğrisi ve Kapasite Spektrum Eğrileri.....	7
Şekil 3.6:	Mevcut Yapı Elemanlarının Performans Seviyesi	8
Şekil 3.7:	Bina 3D Görüntüsü.....	9
Şekil 3.8:	Bina Tip Kolon Yerleşim Planı	9
Şekil 3.9:	Bina 25x50cm Tip Kiriş Yerleşim Planı	9
Şekil 3.10:	ATC-40 X Yönü Modal Kapasite Eğrisi ve DD-1 Kapasite Spektrum Eğrileri.....	10
Şekil 3.11:	ATC-40 Y Yönü Modal Kapasite Eğrisi ve DD-1 Kapasite Spektrum Eğrileri.....	10
Şekil 3.12:	BINA B Mevcut Yapı Kolonların Performansı	11
Şekil 3.13:	BINA B Mevcut Yapı Kirişlerin Performansı.....	11
Şekil 3.14:	Yapı 3D Görüntüsü	12
Şekil 3.15:	Kolon Kesitlerine Göre Yerleşim Gösterimi.....	12
Şekil 3.16:	Çatı Katı Kiriş Yerleşim Planı	13
Şekil 3.17 2:	Kat Kiriş Yerleşim Planı.....	13
Şekil 3.18 1:	Kat Kiriş Yerleşim Planı.....	13
Şekil 3.19:	Zemin Kat Kiriş Yerleşim Planı	13
Şekil 3.20:	Bodrum Kat Kiriş Yerleşim Planı	13
Şekil 3.21:	DD-1 Deprem Yer Hareketi Düzeyi için TBDY-2018 ve ATC-40'a göre Belirlenen İtme Hedef Deplasmanları	14
Şekil 3.22:	DD-1 Deprem Yer Hareketi Düzeyi için TBDY-2018 ve ATC-40'a göre Belirlenen İtme Hedef Deplasmanları	15
Şekil 3.23:	Bina C Mevcut Yapı Elemanlarının Performans Seviyesi	15
Şekil 3.24:	Yapı 3D Görüntüsü	16
Şekil 3.25:	Bina Tip Kolon Yerleşim Gösterimi.....	16
Şekil 3.26:	Bina Tip Kolon Yerleşim Gösterimi.....	16
Şekil 3.27:	TBDY 2018 X Yönü Modal Kapasite Eğrisi ve Kapasite Spektrum Eğrileri.....	17



Şekil 3.28:	TBDY-2018 Y Yönü Modal Kapasite Eğrisi ve Kapasite Spektrum Eğrileri.....	18
Şekil 3.29:	Bina D Mevcut Yapı Performansı	18
Şekil 4.1:	Bina A Betonarme Sargı ile Güçlendirme (1. Deneme)	19
Şekil 4.2:	Bina A Betonarme Sargı ile Güçlendirilen Kolonların Yerleşim Planı (1. Deneme)	19
Şekil 4.3:	Bina A FRP ile Sargılanan ve Dilatasyon Aksında Mantolanan Kirişler (1. Deneme).....	20
Şekil 4.4:	Bina A Güçlendirilmiş Çerçeve Elemanlarının Performans Seviyesi (1. Deneme).....	20
Şekil 4.5:	Bina A Çelik Çapraz ve Güçlendirilmiş Çerçeve (2. Deneme).....	21
Şekil 4.6:	Bina A Çelik Çaprazlar ile Güçlendirme 3D Görünüm 1.....	21
Şekil 4.7:	Bina A Çelik Çaprazlar ile Güçlendirme 3D Görünüm 2.....	21
Şekil 4.8:	Bina A Mantolu Kolon Tipleri ve Çelik Çapraz Yerleşimi.....	22
Şekil 4.9:	Bina A FRP ile Sargılanan ve Dilatasyon Aksında Mantolanan Kirişler.....	23
Şekil 4.10:	Bina A Dışarıdan Çelik Çaprazlar ile Güçlendirilme Sonrası Yapı Elemanlarının Performans Seviyesi	23
Şekil 4.11:	Bina B Dışarıdan Güçlendirme 1. Alternatifi İzometrik Görünümü	24
Şekil 4.12:	Bina B Dışarıdan Güçlendirme 1. Alternatifi İzometrik Cephe Görünümü	24
Şekil 4.13:	Bina B Dışarıdan Güçlendirme 2. Alternatifi İzometrik Cephe Görünümü	25
Şekil 4.14:	Bina B Dışarıdan Güçlendirme 2. Alternatifi İzometrik Görünümü	25
Şekil 4.15:	Bina B Dışarıdan Güçlendirme 3. Alternatifi İzometrik Cephe Görünümü	25
Şekil 4.16:	Bina B İlave Elemanların Yerleşimi (3. Alternatifi).....	26
Şekil 4.17:	Bina B İlave Betonarme Çerçeve ve Perde Elemanlar İzometrik Görüntüsü (3. Alternatifi)	26
Şekil 4.18:	Bina B Betonarme Çerçeve ve Perde İle Güçlendirme Modeli Plan Görüntüsü (3. Alternatifi)	26
Şekil 4.19:	Bina B Dışarıdan İle Güçlendirme Modeli X-Z Görüntüsü (3. Alternatifi).....	26
Şekil 4.20:	Bina B İlave Betonarme Çerçeve ve Perde İle Güçlendirilmiş Yapı Performansı (3. Deneme).....	27
Şekil 4.21:	Bina B Çelik Çapraz ve Perde İle Güçlendirme Modeli İzometrik Görüntüsü.....	27



Şekil 4.22:	Bina B Çelik Çapraz ve Perde İle Güçlendirme Modeli X-Z Görüntüsü	27
Şekil 4.23:	Bina B Çelik Çapraz ve Perde ile Güçlendirme Modeli Y-Z Görüntüsü	28
Şekil 4.24:	Bina B Mantolanmış ve Mevcut Elemanlarının Yerleşimi.....	28
Şekil 4.25:	Bina B Betonarme Perde ve Çelik Çaprazlar ile Güçlendirme Sonrası Yapı Performans Seviyesi.....	29
Şekil 4.26:	Bina C Dışarıdan Çelik Kuleler ile Güçlendirme (1. Deneme).....	29
Şekil 4.27:	Bina C Dışarıdan Çelik Kuleler ile Güçlendirme (2. Deneme).....	29
Şekil 4.28:	Bina C Dışarıdan Çelik Kuleler ile Güçlendirme (3. Deneme).....	30
Şekil 4.29:	Bina C Dışarıdan Çelik Kuleler ile Güçlendirme (4. Deneme).....	30
Şekil 4.30:	Bina C Dışarıdan Çelik Kuleler ile Güçlendirme (5. Deneme).....	30
Şekil 4.31:	Bina C Bina Çevresine Eklenen Çelik Kulelerin Yerleşimi	31
Şekil 4.32:	Bina C Bina Dışına Eklenen Çelik Kulelerle Güçlendirme Modeli 3D Görünümü	31
Şekil 4.33:	Bina C Kolonlar ve Çelik Kulelerin Yerleşimi	32
Şekil 4.34:	Bina C Çatı Katı Kiriş Yerleşim Planı.....	32
Şekil 4.35:	Bina C 2. Kat Kiriş Yerleşim Planı	33
Şekil 4.36:	Bina C 1. Kat Kiriş Yerleşim Planı	33
Şekil 4.37:	Bina C Zemin Kat Kiriş Yerleşim Planı	33
Şekil 4.38:	Bina C Bodrum Kat Kiriş Yerleşim Planı.....	33
Şekil 4.39:	Bina C Bodrum Katta Bulunan Kısa Kolonlar.....	34
Şekil 4.40:	Bina C Transfer Kolonları, Mesnetlendiği Kirişler ve Kolonlar	34
Şekil 4.41:	Bina C Dışarıdan Çelik Kuleler ile Güçlendirilmiş Yapı Kolon ve Kiriş Performansları	35
Şekil 4.42:	Bina C Dışarıdan Çelik Kuleler ile Güçlendirilmiş Yapı Çelik Kule Elemanlarının Performansları.....	35
Şekil 4.43:	Bina D Dışarıdan BÖÇ ile Güçlendirme (1. Deneme).....	36
Şekil 4.44:	Bina D Dışarıdan BÖÇ ile Güçlendirme Sonrası Yapısal Elemanlar Performans Seviyesi (1. Deneme).....	36
Şekil 4.45:	Bina D Dışarıdan Çelik Çapraz ile Güçlendirme (2. Deneme)	36
Şekil 4.46:	Bina D Dışarıdan Çelik Çapraz ile Güçlendirilen Yapı Performansı (2. Deneme).....	37
Şekil 4.47:	Bina D Dışarıdan Betonarme Perdeler ile Güçlendirme (3. Deneme)	37
Şekil 4.48:	Bina D Dışarıdan Betonarme Perdeler ile Güçlendirme Sonrası Yapısal Elemanların Performans Seviyesi (3. Deneme).....	37
Şekil 4.49:	Bina D Dışarıdan Betonarme Perdeler ile Güçlendirme (4. Deneme)	38



Şekil 4.50:	Bina D Dışarıdan Betonarme Perdeler ile Güçlendirme Sonrası Yapısal Elemanların Performans Seviyesi (4. Deneme).....	38
Şekil 4.51:	Bina D Çelik Çaprazlar ile Güçlendirme (5. Deneme).....	39
Şekil 4.52:	Bina D Çelik Çaprazlar ile Güçlendirilen Yapı Performansı (5. Deneme).....	39
Şekil 4.53:	Bina D Çelik Çaprazlar ile Güçlendirilen Yapı Performansı (7. Deneme).....	39
Şekil 4.54:	Bina D Çelik Çaprazlar ve Güçlendirilmiş Çerçeve (6. Deneme).....	40
Şekil 4.55:	Bina D Çelik Çaprazlar ve Güçlendirilmiş Çerçeve Performansı (6. Deneme).....	40
Şekil 4.56:	Bina D Betonarme Perdeler, ile Çelik Çaprazlar Eklenmesi ve Güçlendirilmiş Çerçeve (7. Deneme).....	40
Şekil 4.57:	Bina D Betonarme Perdeler, ile Çelik Çaprazlar Eklenmesi ve Güçlendirilmiş Çerçeve Durumunda Yapısal Elemanların Performans Seviyesi (7. Deneme).....	41
Şekil 4.58:	Bina D Betonarme Perdeler, Çelik Çaprazlar ve Güçlendirilmiş Çerçeve (8. Deneme).....	41
Şekil 4.59:	Bina D Betonarme Perdeler, Çelik Çaprazlar ve Güçlendirilmiş Çerçeve.....	42
Şekil 4.60:	Bina D Kolon, Perde ve Çelik Çapraz Yerleşim Planı.....	42
Şekil 4.61:	Bina D Kiriş Yerleşim Planı.....	43
Şekil 4.62:	Bina D Dışarıdan Betonarme Perdeler ile Güçlendirilme Sonrası Yapısal Elemanların Performans Seviyesi.....	43
Şekil 5.1:	Bina A Sönümleyici Cihaz ile Güçlendirilmiş Yapı Modeli 3D Görüntüsü (1. Deneme).....	47
Şekil 5.2:	Bina A Sönümleyici Cihaz ile Güçlendirilmiş Yapı Modeli 3D Görüntüsü (2. Deneme).....	47
Şekil 5.3:	Bina A Sönümleyici Cihaz ile Güçlendirilmiş Yapı Modeli 3D Görüntüsü (3. Deneme).....	48
Şekil 5.4:	Bina A Sönümleyici Cihaz ile Güçlendirilmiş Yapı Modeli 3D Görüntüsü (4. Deneme).....	48
Şekil 5.5:	Bina A Sönümleyici Cihaz ile Güçlendirilmiş Yapı Modeli 3D Görüntüsü (5. Deneme).....	48
Şekil 5.6:	Bina A Sönümleyici Cihaz ile Güçlendirilmiş Yapı Modeli 3D Görüntüsü (6. Deneme).....	49
Şekil 5.7:	Bina A Sönümleyici Cihaz ile Güçlendirilmiş Yapı Modeli 3D Görüntüsü (7. Deneme).....	49
Şekil 5.8:	Bina A Sönümleyici Cihaz ile Güçlendirilmiş Yapı Modeli 3D Görüntüsü (8. Deneme).....	49
Şekil 5.9:	Bina A Sönümleyici Cihaz ile Güçlendirilmiş Yapı Modeli 3D Görüntüsü (9. Deneme).....	50



Şekil 5.10:	Bina A Sönümleyici Cihazlar ve Güçlendirilmiş Çerçeve Sistem 3D Görüntüsü.....	50
Şekil 5.11:	Bina A Sönümleyici Cihaz ile Güçlendirilmiş Yapı X-Z Kesiti.....	50
Şekil 5.12:	Bina A Sönümleyici Cihaz ile Güçlendirilmiş Yapı Y-Z Kesiti.....	51
Şekil 5.13:	Bina A Sönümleyici Cihaz ile Güçlendirilmiş Yapı Mantolu Kolon ve Sönümleyici Cihaz Yerleşimi.....	51
Şekil 5.14:	Bina A FRP ile Salgılanan ve Dilatasyon Aksında Mantolanan Kirişler.....	52
Şekil 5.15:	Bina A Sönümleyici ile Güçlendirilmiş Yapı Performansı.....	52
Şekil 5.16:	Bina B Sönümleyici Cihaz ile Güçlendirilmiş Yapı (1. Deneme).....	53
Şekil 5.17:	Bina B Sönümleyici Cihaz ile Güçlendirilmiş Yapı (2. Deneme).....	53
Şekil 5.18:	Bina B Sönümleyici Cihaz ile Güçlendirilmiş Yapı Modeli 3D Görüntüsü.....	54
Şekil 5.19:	Bina B Sönümleyici Cihaz ile Güçlendirilmiş Yapı X-Z Kesiti.....	54
Şekil 5.20:	Bina B Sönümleyici Cihaz ile Güçlendirilmiş Yapı Y-Z Kesiti.....	54
Şekil 5.21:	Bina B Sönümleyici Cihaz ile Güçlendirilmiş Yapı Mantolu Kolon ve Sönümleyici Cihaz Yerleşimleri.....	54
Şekil 5.22:	Bina B Sönümleyici Cihazlar ile Güçlendirilmiş Yapı Performansı.....	55
Şekil 5.23:	Bina C Sönümleyici Cihazlar ile Güçlendirilen Yapı (1. Deneme).....	56
Şekil 5.24:	Bina C Sönümleyici Cihaz Yerleşimi (1. Deneme).....	56
Şekil 5.25:	Bina C Sönümleyici Cihaz ile Güçlendirilmiş Yapı A Aksı X-Z Kesiti (1. Deneme).....	56
Şekil 5.26:	Bina C Sönümleyici Cihaz ile Güçlendirilmiş Yapı Y-Z Kesiti 16 Aksı (1. Deneme).....	56
Şekil 5.27:	Bina C Sönümleyici Cihaz ile Güçlendirilme Sonrası Yapısal Elemanların Performans Seviyesi (1. Deneme).....	57
Şekil 5.28:	Bina C Dışarıdan Betonarme Perdeler ve Sönümleyici Cihazlar ile Güçlendirme (2. Deneme).....	57
Şekil 5.29:	Bina C Dışarıdan Betonarme Perdeler ve Sönümleyici Cihazlar ile Güçlendirme Sonrası Yapısal Elemanların Performans Seviyesi (2. Deneme).....	57
Şekil 5.30:	Bina C Dışarıdan Çelik Kuleler ve Sönümleyici Cihazlar ile Güçlendirme (3. Deneme).....	58
Şekil 5.31:	Bina C Dışarıdan Çelik Kuleler ve Sönümleyici Cihazlar ile Güçlendirme (4. Deneme).....	58
Şekil 5.32:	Bina C Dışarıdan Çelik Kuleler ve Sönümleyici Cihazlar ile Güçlendirme (5. Deneme).....	58
Şekil 5.33:	Bina C Dışarıdan Çelik Kuleler ve Sönümleyici Cihazlar ile Güçlendirme (6. Deneme).....	59



Şekil 5.34:	Bina C Dışarıdan Çelik Kuleler ve Sönümleyici Cihazlar ile Güçlendirme (7. Deneme).....	59
Şekil 5.35:	Bina C Güçlendirme Çalışması Kapsamında Bina Çevresine Eklenen Çelik Kulelerin Plan Görüntüsü.....	59
Şekil 5.36:	Bina C Bina Dışına Eklenen Çelik Kuleler ve Sönümleyici Cihazlar.....	60
Şekil 5.37:	Bina C Bina Dışına Eklenen Çelik Kuleler ve Sönümleyici Cihazlar ile Güçlendirme Modeli 3D Görünümü.....	60
Şekil 5.38:	Bina C Kolon ve Çelik Kulelerin Yerleşim Planı.....	60
Şekil 5.39:	Bina C Çatı Katı Kiriş Yerleşim Planı.....	61
Şekil 5.40:	Bina C 2. Kat Kiriş Yerleşim Planı.....	61
Şekil 5.41:	Bina C 1. Kat Kiriş Yerleşim Planı.....	61
Şekil 5.42:	Bina C Zemin Kat Kiriş Yerleşim Planı.....	62
Şekil 5.43:	Bina C Bodrum Kat Kiriş Yerleşim Planı.....	62
Şekil 5.44:	Bina C Bodrum Katta Bulunan Kısa Kolonlar.....	62
Şekil 5.45:	Bina C Transfer Kolonları, Mesnetlendiği Kirişler ve Kolonlar.....	63
Şekil 5.46:	Bina C Dışarıdan Çelik Kuleler ve Sönümleyici Cihazlar ile Güçlendirilmiş Yapı Kolon ve Kiriş Performansları.....	63
Şekil 5.47:	Bina C Dışarıdan Çelik Kuleler ve Sönümleyici Cihazlar ile Güçlendirilmiş Yapı Çelik Kule Elemanlarının Performansları.....	64
Şekil 5.48:	Bina D Sönümleyici Cihazlar ve BÖÇ ile Güçlendirme (1. Deneme).....	64
Şekil 5.49:	Bina D Sönümleyici Cihazlar ve BÖÇ ile Güçlendirme Sönümleyici ve BÖÇ Yerleşimleri (1. Deneme).....	65
Şekil 5.50:	Bina D Sönümleyici Cihazlar ve BÖÇ ile Güçlendirme X-Z Görüntüsü (1. Deneme).....	65
Şekil 5.51:	Bina D Sönümleyici Cihazlar ve BÖÇ ile Güçlendirme Y-Z Görüntüsü (1. Deneme).....	65
Şekil 5.52:	Bina D Sönümleyici Cihazlar ve BÖÇ ile Güçlendirme Sonrası Yapısal Elemanların Performans Seviyesi (1. Deneme).....	66
Şekil 5.53:	Bina D Sönümleyici Cihazlar ve BÖÇ ile Güçlendirme Yapı Performansı (2. Deneme).....	66
Şekil 5.54:	Bina D Sönümleyici Cihazlar ve BÖÇ ile Güçlendirme Yapı Performansı (3. Deneme).....	66
Şekil 5.55:	Bina D BÖÇ ve Sönümleyici Cihaz ile Güçlendirilmiş Yapı Modeli 3D Görüntüsü.....	67
Şekil 5.56:	Bina D Kolon, BÖÇ ve Sönümleyici Yerleşim Planı.....	67
Şekil 5.57:	Bina D Çatı Katı Kiriş Yerleşim Planı.....	68
Şekil 5.58:	Bina D 2. Kat Kiriş Yerleşim Planı.....	68
Şekil 5.59:	Bina D 1. Kat Kiriş Yerleşim Planı.....	68
Şekil 5.60:	Bina D Zemin Kat Kiriş Yerleşim Planı.....	68



Şekil 5.61:	Bina D Bodrum Kat Kiriş Yerleşim Planı.....	68
Şekil 5.62:	Bina D BÖÇ ve Sönümleyici Cihaz ile Güçlendirilmiş Yapı X-Z Kesiti.....	69
Şekil 5.63:	Bina D BÖÇ ve Sönümleyici Cihaz ile Güçlendirilmiş Yapı Y-Z Kesiti.....	69
Şekil 5.64:	Bina D Sönümleyici Cihazlar ile Güçlendirilme Sonrası Yapısal Elemanlarının Performans Seviyesi.....	70
Şekil 6.1:	Bina A BÖÇ ile Güçlendirme 1. Alternatifi İzometrik Görünümü.....	73
Şekil 6.2:	Bina A BÖÇ ile Güçlendirme 2. Alternatifi İzometrik Cephe Görünümü.....	74
Şekil 6.3:	Bina A BÖÇ İle Güçlendirme Modeli İzometrik Görüntüsü.....	74
Şekil 6.4:	Bina A BÖÇ İle Güçlendirme Modeli X-Z Görüntüsü.....	74
Şekil 6.5:	Bina A BÖÇ İle Güçlendirme Modeli Y-Z Görüntüsü.....	75
Şekil 6.6:	Bina A Betonarme Sargı ile Güçlendirilen Kolonların Yerleşim Planı.....	75
Şekil 6.7:	Bina A FRP ile Salgılanan ve Dilatasyon Aksında Mantolanan Kirişler.....	76
Şekil 6.8:	Bina A BÖÇ ile Güçlendirilme Sonrası Yapısal Elemanların Performans Seviyesi.....	76
Şekil 6.9:	Bina B BÖÇ ile Güçlendirme 1. Alternatifi İzometrik Görünümü.....	77
Şekil 6.10:	Bina B BÖÇ ile Güçlendirme 1. Alternatifi İzometrik Cephe Görünümü.....	77
Şekil 6.11:	Bina B BÖÇ ile Güçlendirme 2. Alternatifi İzometrik Görünümü.....	78
Şekil 6.12:	Bina B BÖÇ ile Güçlendirme 2. Alternatifi İzometrik Cephe Görünümü.....	78
Şekil 6.13:	Bina B BÖÇ ile Güçlendirme 3. Alternatifi Yapı Modeli İzometrik Görüntüsü.....	78
Şekil 6.14:	Bina B BÖÇ ile Güçlendirilme 3. Alternatifi Yapı X-Z Kesiti.....	78
Şekil 6.15:	Bina B BÖÇ ile Güçlendirilme 3. Alternatifi Yapı Y-Z Kesiti.....	79
Şekil 6.16:	Bina B BÖÇ ile Güçlendirme Modeli İzometrik Görüntüsü.....	79
Şekil 6.17:	Bina B BÖÇ ile Güçlendirme Modeli X-Z Görüntüsü.....	79
Şekil 6.18:	Bina B BÖÇ ile Güçlendirme Modeli Y-Z Görüntüsü.....	80
Şekil 6.19:	Bina B Mantolanmış Kolonların Yerleşimi.....	80
Şekil 6.20:	Bina B BÖÇ ile Güçlendirilme Sonrası Yapısal Elemanlarının Performans Seviyesi.....	81
Şekil 6.21:	Bina C BÖÇ İle Güçlendirme 1. Alternatifi Çerçeve Sistem Performansı.....	81
Şekil 6.22:	Bina C BÖÇ İle Güçlendirme 2. Alternatifi Modeli İzometrik Görüntüsü.....	82



Şekil 6.23:	Bina C BÖÇ İle Güçlendirme 2. Alternatifi Çerçeve Sistem Performansı	82
Şekil 6.24:	Bina C BÖÇ ile Güçlendirme Modeli İzometrik Görüntüsü	82
Şekil 6.25:	Bina C BÖÇ İle Güçlendirme Modeli X-Z Görüntüsü	83
Şekil 6.26:	Bina C BÖÇ ile Güçlendirme Modeli Y-Z Görüntüsü	83
Şekil 6.27:	Bina C Mantolama ile Güçlendirilen ve Mevcut Kolonların Yerleşim Planı	83
Şekil 6.28:	Bina C Çatı Katı Kiriş Yerleşim Planı	84
Şekil 6.29:	Bina C 2. Kat Kiriş Yerleşim Planı	84
Şekil 6.30:	Bina C 1. Kat Kiriş Yerleşim Planı	84
Şekil 6.31:	Bina C Zemin Kat Kiriş Yerleşim Planı	84
Şekil 6.32:	Bina C Bodrom Kat Kiriş Yerleşim Planı	84
Şekil 6.33:	Bina C BÖÇ ile Güçlendirme Sonrası Yapısal Elemanların Performans Seviyesi	85

Kısaltmalar

Bakanlık	Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı
BÖÇ	Burkulması Önlenmiş Çapraz
BRB	Buckling Restrained Brace (Burkulması Önlenmiş Çelik Çapraz)
TASK 2	Bina Saha Çalışmaları TASK 2 Raporu.
TASK 3	Bina Mevcut Durum Değerlendirme TASK 3 Raporu.



1. GİRİŞ

KADEV kapsamında geliştirilen ve Arup tarafından yürütülen “İleri Mühendislik Uygulamaları ve Kapasite Geliştirme için Teknik Destek Danışmanlık (WB/CS-TA-02)” projesi, Türkiye’deki kamu binalarının deprem güvenliğinin artırılmasında ve aynı zamanda enerji verimli hale getirilmesinde uygun yenilikçi yöntemlerin belirlenmesini amaçlamaktadır.

Proje temel olarak üç aşamadan oluşmaktadır:

- **Araştırma Aşaması** Bu aşamada alt başlıklar halinde aşağıdaki konularda araştırma yapılması ve sonuçların raporlanması istenmiştir:
 - Türkiye’de binaların güçlendirilmesi ve enerji verimliliğinin artırılması alanlarındaki güncel uygulamalar
 - Dünyada binaların güçlendirilmesi ve enerji verimliliğinin artırılması alanlarındaki yenilikçi uygulamalar
 - Sürdürülebilir, afete dayanıklı ve enerji verimli yeni bina tasarımı için yenilikçi yaklaşımlar
 - Binaların deprem güvenliğinin hızlı ve düşük maliyetle belirlenebilmesi için kullanılacak küresel en iyi yöntemler
 - Araştırma safhası sonunda bir çalıştay organize edilerek yenilikçi yöntemler hakkındaki araştırma bulgularının değerlendirilmesi
- **Geliştirme Aşaması:** Bu aşamada aşağıdaki görevlerin tamamlanması hedeflenmektedir:
 - Çalıştay sonucu Türkiye kamu bina stoğunda kullanılmaya en elverişli minimum üç yenilikçi güçlendirme yönteminin beş farklı binanın detaylı analizlerinde kullanılarak değerlendirilmesi
 - Değerlendirme sonucu öne çıkan iki farklı yenilikçi güçlendirme yönteminin iki farklı kamu binasında uygulanması amacı ile detaylı projelerinin hazırlanması (Arup bu aşamada tasarımcı firmaya Bakanlık adına danışmanlık yapacaktır)
 - Uygulama projeleri hazırlanan bu iki binanın güçlendirme tasarımlarının yerinde uygulanması (Arup bu aşamada uygulamacı firmaya Bakanlık adına teknik destek verecektir)
- **Paylaşım Aşaması:** Bu aşamada proje çerçevesinde yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları sonucundaki bulguların geniş kitlelere yayılması amacı ile seminerler ve eğitimler düzenlenmesi, kitaplar ve kılavuzlar hazırlanması planlanmaktadır.

Projenin geliştirme safhasının ilk aşamasında, belirlenen üç farklı yenilikçi güçlendirme yöntemi ile beş farklı kamu binasının güçlendirilmesi ve böylece yöntemlerin tasarım aşamasındaki etkinliklerinin kıyaslanması planlanmıştır. Bu kapsamda Türkiye’deki kamu bina stoğunu yansıtan birbirinden farklı beş gerçek bina seçilmiştir. Yüksek depremsellikte

farklı taşıyıcı sistem karakteristiklerine sahip olması amaçlanan bu binalar ve temel özellikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Bu noktada özellikle belirtilmelidir ki, binalarla ilgili verilen bilgiler tam anlamıyla mevcut durumu yansıtmamaktadır. Kitapta yer alan bazı bina verileri, kavramsal güçlendirme yaklaşımının daha geniş bir kamu binası stoğunu temsil etmesi amacıyla değiştirilmiştir. Mevcut bina bilgilerinin, geometri dahil olmak üzere, kullanılan bilgilerle birebir aynı olmayacağı göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle, ilgili binaların deprem güvenliği için bu çalışmalar sonucunda elde edilen bilgilerin doğrudan değerlendirme amacıyla kullanılması uygun değildir ve güçlendirme gereksinimi olduğu sonucuna ulaşamaz. Çalışmada adı geçen binalar ile ilgili bilgiler, kamu binası stoğunda benzer özellikler taşıyan çok sayıda binayı temsil edecek şekilde seçilmiş olup, doğrudan ilgili binaların deprem güvenliğini göstermemektedir. Ayrıca, bu binaların isimleri, olası yanlış anlamaların veya tereddütlerin önüne geçilmesi amacıyla çalışmada belirtilmemiş, bunun yerine kod adları kullanılmıştır.

Yapılardan dördü betonarme biri ise yığma taşıyıcı sisteme sahiptir. Betonarme taşıyıcı sisteme sahip yapıların ikisi çerçeve sistem, diğer ikisi ise perdeli çerçeve sistem ile teşkil edilmiştir.

Bu rapor kapsamında daha önce mevcut durum değerlendirme ve güçlendirme çalışmaları yapılmış ve detaylı "Vaka Çalışması" teknik raporları ile sunulmuş olan binalar hakkında yapılan çalışmalar özetlenecek, karşılaştırılacak ve genel değerlendirmeler yapılacaktır.

Tablo 1.1: Vaka Çalışmaları Kapsamında İncelenen Binaların Genel Özellikleri

Bina İsmi	Vaka Raporu	Taşıyıcı Sistem Türü	Öngörülen 475 Yıllık En Büyük Yatay İvme Değeri (PGA ₄₇₅ -g-)	Yapım Yılı	Beton Kalitesi	Donatı Kalitesi	Kolonlarda Sıklaştırma
Bina A	296413_TA-02_Rep_006_01_Vaka Calismasi-Bina_A	Betonarme Çerçeve	0.449	1970	22.3 MPa	S220	Yok
Bina B	296413_TA-02_Rep_007_01_Vaka Calismasi-Bina_B	Betonarme Çerçeve	0.496	1999	28.8 MPa	S420	Var
Bina C	296413_TA-02_Rep_008_01_Vaka Calismasi-Bina_C	Betonarme Perdeli Çerçeve	0.307	1963	17.2 MPa	S220	Yok
Bina D	296413_TA-02_Rep_009_01_Vaka Calismasi-Bina_D	Betonarme Perdeli Çerçeve	0.393	1990	11.4 MPa	S220	Var
Bina E	296413_TA-02_Rep_010_01_Vaka Calismasi-Bina_E	Yığma	0.355	1960	3.04 MPa	-	-

2. KAPSAM

Bu rapor TA-02 projesinin “Mevcut Binaların Güçlendirilmesi ve Yeni Binaların Tasarımı İçin Yenilikçi ve Enerji Verimli Mühendislik Yaklaşımlarını Belirlemek” başlıklı ikinci görevi kapsamında istenen; “Vaka Çalışmalarının Geliştirilmesi” aşamasına ilişkin yapılan çalışmaların bir özeti niteliğindedir.

Çalışma kapsamında dört betonarme binaya seçilen üç yenilikçi güçlendirme yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemler:

- **Dışarıdan Güçlendirmeler:** Dışarıdan güçlendirme anlam itibari ile oldukça geniştir. Dışarıdan klasik yöntemlerle güçlendirme çözümleri geliştirilebileceği gibi, binaya dışarıdan betonarme çerçeve ekleme, , binaların dışında teşkil edilecek rijit kuleler ile binayı güçlendirme veya dışarıdan ilave bir kabuk tasarlama gibi farklı uygulamalar da yapılabilmektedir. Bu çalışma kapsamında incelenen beş farklı kamu binasının her biri için o binaya en uygun olduğu değerlendirilen dışarıdan güçlendirme çözümü incelenmiştir.
- **Sönümleyiciler ile Güçlendirme:** Farklı sönümleyici tipleri mevcuttur. Bunlardan bazıları titreşim hızına bağlı olarak etkinlik göstermekte bazıları ise titreşim anında oluşacak deplasman etkisi ile çalışmaktadır. Proje kapsamında, hıza bağlı çalışan ve piston prensibine dayanan viskoz sönümleyiciler tercih edilmiştir. Sönümleyiciler ile yapılacak güçlendirmelerde yerleşim mümkünse binanın dış çerçevelerine müdahale edilecek şekilde tasarım yapılmıştır. Ancak bu yerleşim ile çözüm bulunamayan sistemlerde binanın iç akslarına da sönümleyiciler yerleştirilmek gerekmiştir. Öte yandan birçok durumda sadece sönümleyicilerin kullanılması özellikle yüksek performans beklenen, ancak mevcut deprem performansı da düşük olan binalar için yeterli olmamaktadır. Bu durumda da sönümleyiciler, kolonların sargılanması gibi geleneksel güçlendirme yöntemleri ile birlikte kullanılmıştır.
- **Burkulması Önlenmiş Çaprazlar (BÖÇ’ler) ile Güçlendirme:** Burkulması önlenmiş çaprazlar mevcut betonarme çerçevelerin arasında kullanılarak binaya ilave bir rijitlik ve dayanım katabilirler. Ayrıca hem basınç hem de çekme etkileri altında benzer ve stabil bir davranış sergilediği için tasarımcılar tarafından daha güvenilir görülebilirler. Yapılan çalışma kapsamında BÖÇ’lerin güçlendirilmiş sistemdeki yerleşimleri de öncelikle bina dış akslarında, mümkün mertebe bina içerisine müdahalede bulunmadan yapılmaya çalışılmıştır. Ancak bunun mümkün olmadığı hallerde binanın iç akslarında da BÖÇ kullanılması durumunda kalınmıştır. Bununla birlikte BÖÇ’ler bağlandıkları düğüm noktalarında kolon elemanlarında ilave etkilere sebep olmaktadır. Bu nedenle çoğu durumda BÖÇ’lerin bağlandığı çerçeve kolonlarının sargılanması gerekmektedir.

Çalışma kapsamında ayrıca yığma taşıyıcı sisteme sahip bir bina da değerlendirilmiş ve güçlendirilmiştir. Bina E için yapılan bu çalışmalar “296413_TA-02_Rep_010_00_Vaka Calismasi-Bina_E” raporunda detaylıca anlatılmıştır. Farklı bir taşıyıcı sisteme sahip olması sebebi ile güçlendirme sonuçları diğer binalar ile karşılaştırılmamıştır. Bu özet raporda diğer binalardan farklı taşıyıcı sisteme sahip bu yapı ile ilgili ilave bir bilgi verilmemiştir.



Rapor kapsamında öncelikle incelenen binaların her birinin genel taşıyıcı sistem özellikleri ve mevcut sistemin deprem güvenliği açısından yetersizlikleri özetlenmiştir. Sonrasında seçilen her bir güçlendirme yöntemi başlığı altında dört bina için önerilen çözümler sunulmuştur. Böylece her bir yöntemin binanın performansına etkisinden maliyet kıyaslamasına kadar farklı parametreler altındaki etkinliği bina bazında kıyaslanabilmiştir.

“Yöntemlerin Genel Değerlendirmesi ve Öneriler” başlığı altında önerilen güçlendirme yöntemleri bir önceki bölümde yer alan detaylı karşılaştırmalar dikkate alınarak değerlendirilmiş, genel olarak hangi tip binalarda daha etkin oldukları incelenmiştir.

Son olarak incelenen yöntemlerin belirlenen anahtar parametreler altında karşılaştırması yapılarak “Vaka Çalışmaları”nın sonuçları paylaşılmıştır.

3. İncelenen Binaların Taşıyıcı Sistem Özellikleri ve Mevcut Yapı Performansları

3.1 Bina A

Yapının taşıyıcı sistemi betonarme çerçevelerden oluşmuştur. . Döşeme sistemi tek doğrultuda tali kirişlerle güçlendirilmiş kirişli plak döşemedir. Uzun ve kısa doğrultuda sırasıyla 12 ve 3 açıklıktan oluşmaktadır. Yapı kısa doğrultusuna paralel 12 aksında dilatasyon derzi ile ayrılmaktadır ve 2 bloktan oluşmaktadır. Bu bloklar sırasıyla 1. ve 2. blok olarak isimlendirilmiştir. Blokların uzun doğrultudaki açıklık sayıları sırasıyla 5 ve 7'dir. Her iki blok da 3 katlıdır. Kat yükseklikleri bodrumdan itibaren sırasıyla 3.7, 4.9 ve 5.3 metredir.

Yapıların bodrum katında çevre betonarme perde bulunmadığı için yapıda rijit bodrum katı olmadığı kabul edilmiştir.

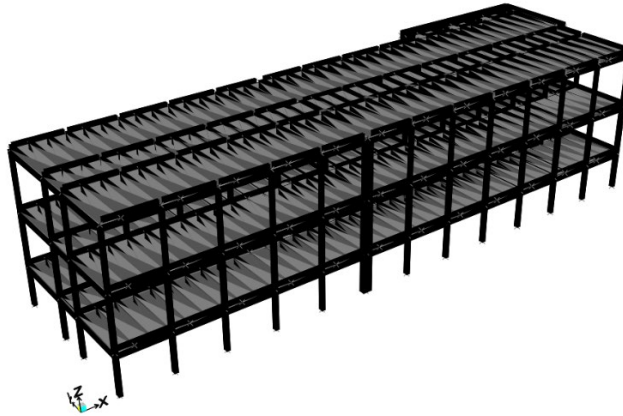
Yapıların temel sistemi ile ilgili bir bilgi bulunmamaktadır.

Yapı 1970 yılında inşa edilmiş olup bu tarihten önce yürürlükte olan 1968 deprem yönetmeliği kullanılarak tasarlandığı düşünülmektedir. Fakat, yapının tasarım belgeleri mevcut değildir.

Binanın taşıyıcı sistemine ilişkin temel bilgiler aşağıdaki tabloda sunulmuş olup, taşıyıcı elemanların boyutları ve yerleşim planları Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'de gösterilmiştir.

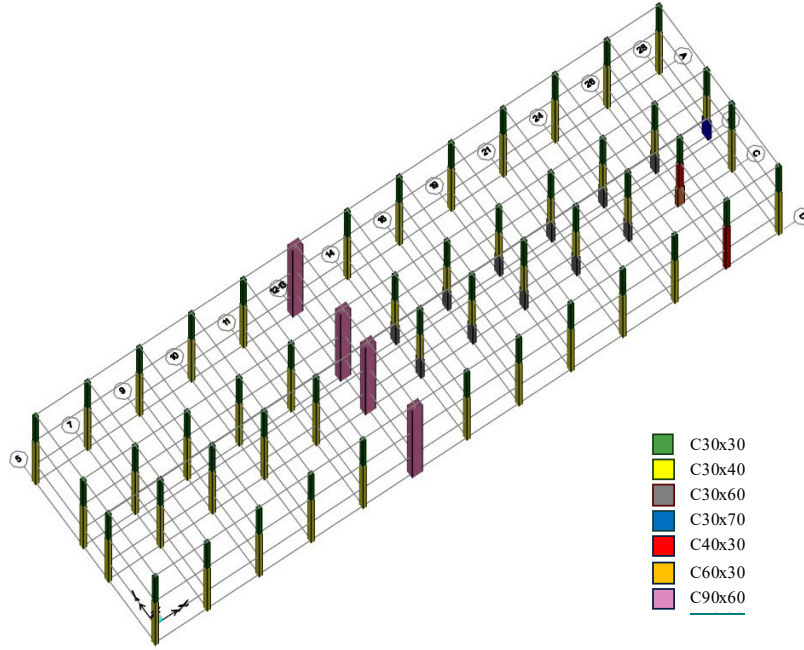
Tablo 3.1: Bina Bilgileri

Bina A Fen Fakültesi Binası	
Açıklık Sayıları	12-3
Tipik Açıklıklar	4.5 m X 5.8 m
Kat Yükseklikleri	B: 3.7m, Z: 4.9m, 1 Kat: 5.3m
Döşeme Tipi	Tali Kirişli Plak Döşeme
Döşeme Kalınlığı	8 cm
Tipik Kolon Kesitleri	30/30 cm, 30/40 cm, 30/60 cm
Tipik Kiriş Kesitleri	25/70 cm, 25/95 cm
Temel Tipi	Bilinmiyor

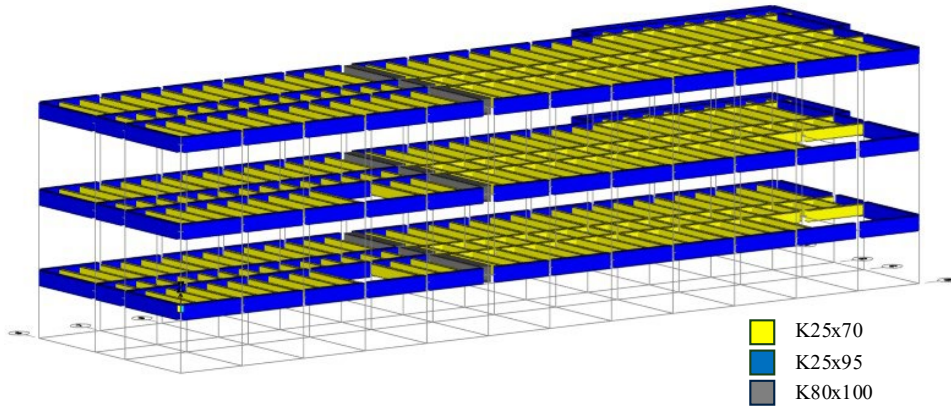


Şekil 3.1: Yapı 3D Görüntüsü

Yapının mevcut durum analizinde tespit edilen temel sorunlar, rijitlik eksikliği ve plastik mafsallık mekanizmasının kirişlerden önce kolonlarda oluşması nedeniyle deprem enerjisinin etkin bir şekilde sönmelenememesidir. Kat yüksekliklerinin ve kat rijitliklerinin farklı olması nedeniyle yapının 1. katında kolonların alt ve üst uçları plastik hasar almakta ve yapı stabilitesini kaybetmektedir. Bu nedenle bina "Kontrollü Hasar" hedef performansını sağlamamaktadır.



Şekil 3.2: Bina Tip Kolon Yerleşim Planı

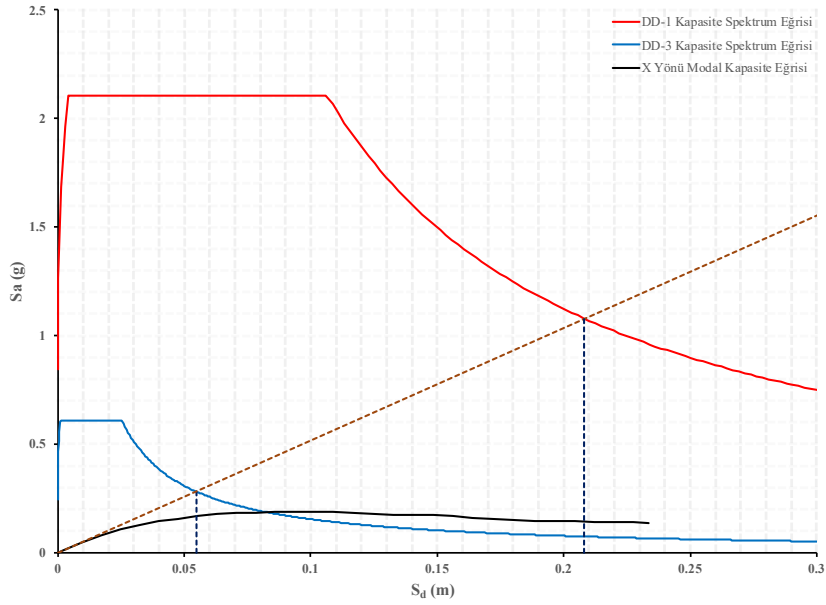


Şekil 3.3: Bina Tip Kiriş Yerleşim Planı

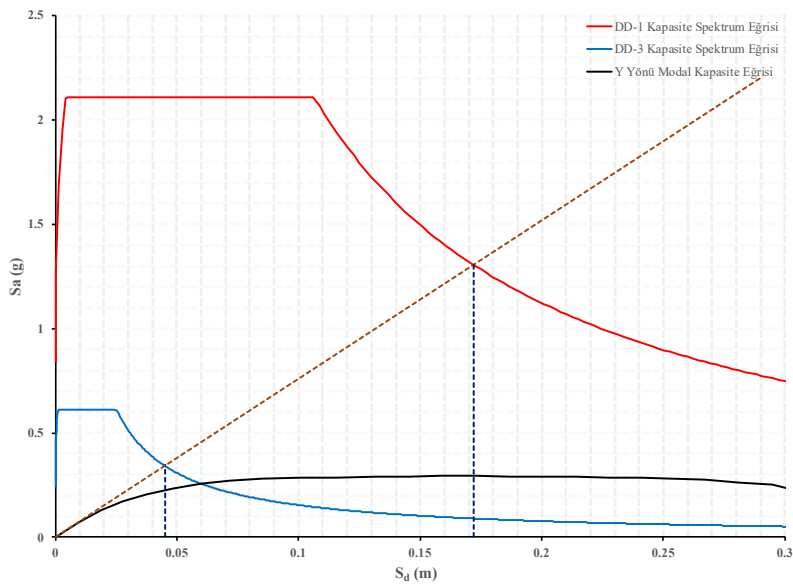
Mevcut durum, statik itme ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerle değerlendirilmiş; kat ötelemeleri, yapısal elemanların hasar seviyeleri incelenmiştir. Plastik mafsalların beklenen şekilde kirişlerde oluşmaması, yapının sünek davranış sergilemesini engellemiş ve kontrolsüz bir göçme mekanizmasının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Analiz sonuçları, yapının hem X hem de Y doğrultularında rijitlik ve dayanım açısından yetersiz olduğunu ve stabilite kaybı nedeniyle hedeflenen enerji sönmleme kapasitesine ulaşamadığını ortaya koymuştur.

Şekil 3.4 ve Şekil 3.5, her iki doğrultu için yapının modal kapasite eğrisi ve kapasite spektrum eğrilerini göstermektedir. Yapının rijitlik ve dayanım eksikliği, modal kapasite eğrilerinden açıkça görülebilmektedir. Hedef performans düzeyi kriterlerinin sağlanması için, yapı elemanlarının şekil değiştirme kapasitelerinin ve dayanımlarının artırılması, aynı zamanda yapı rijitliğinin artırılarak hedef yer değiştirme taleplerinin azaltılması gerekmektedir.

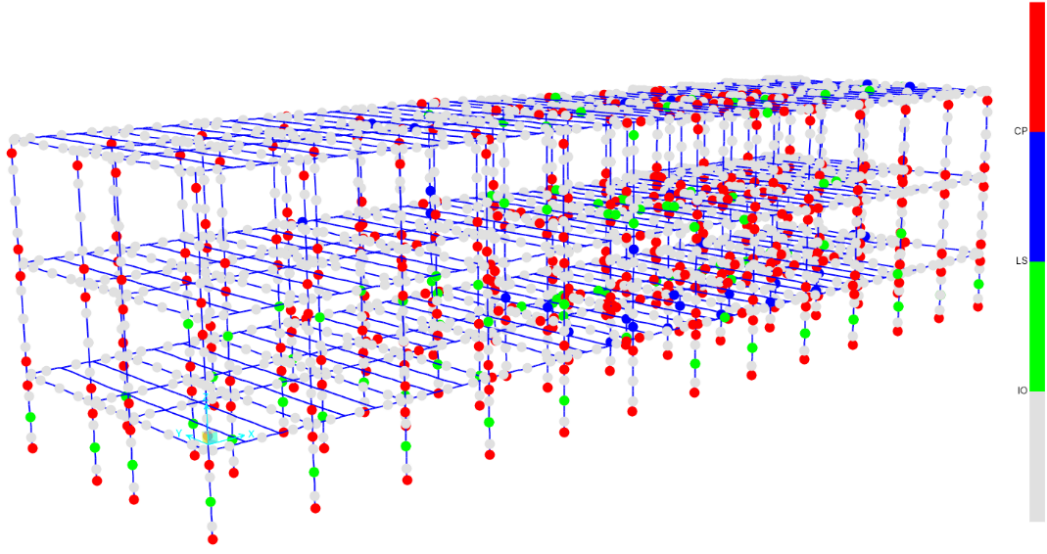
Mevcut yapı elemanlarının performansı Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.4: TBDY 2018 X Yönü Modal Kapasite Eğrisi ve Kapasite Spektrum Eğrileri



Şekil 3.5: TBDY-2018 Y Yönü Modal Kapasite Eğrisi ve Kapasite Spektrum Eğrileri



Şekil 3.6: Mevcut Yapı Elemanlarının Performans Seviyesi

3.2 Bina B

Yapının taşıyıcı sistemi betonarme çerçevelerden oluşturulmuştur. . Döşeme sistemi tek yönde dişli döşemedir. Uzun doğrultuda 6, kısa doğrultuda ise 3 açıklığa sahiptir. 2 kattan oluşan yapının, her bir kat yüksekliği 3.5 metredir. Yapının taşıyıcı sistemi ise tüm katlarda aynıdır.

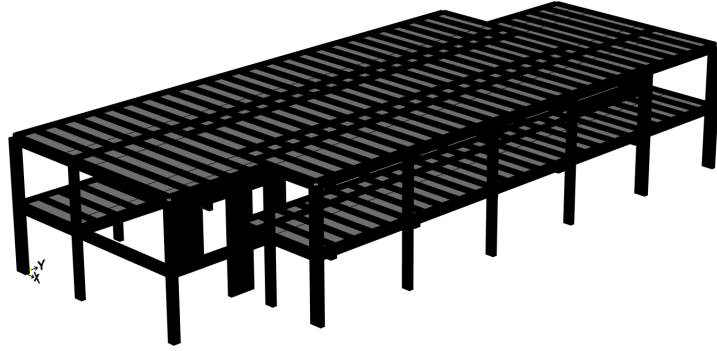
Yapının temel sistemi ile ilgili bir bilgi bulunmamaktadır.

Yapı 1999 yılında imal edilmiş olup Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik-1975 (ABYYHY-1975) şartlarına uygun olarak tasarlandığı düşünülmektedir. Yapının tasarım belgelerine ulaşılammıştır.

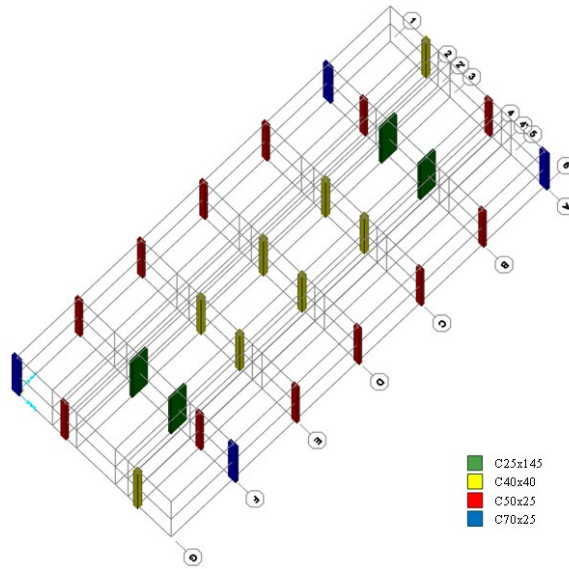
Binanın taşıyıcı sistemine ilişkin temel bilgiler aşağıdaki tabloda sunulmuş olup, taşıyıcı elemanların boyutları ve yerleşim planları Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'te gösterilmiştir.

Tablo 3.2 Bina Bilgileri

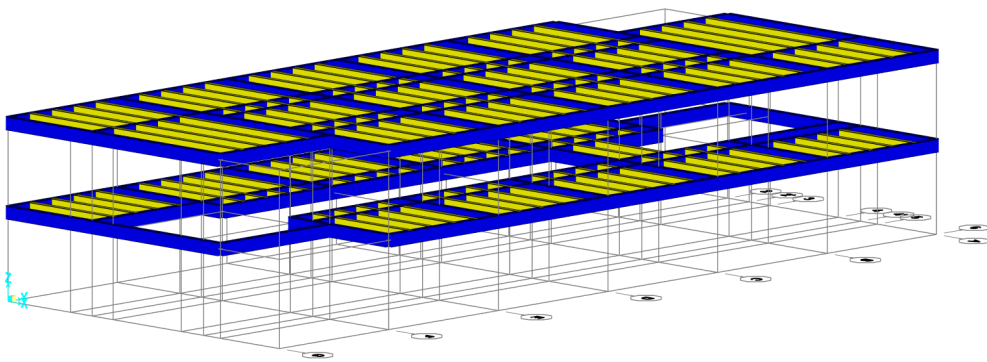
Bina B	
Açıklık Sayıları	3-6
Tipik Açıklıklar	5.75 m X 6.00 m
Kat Yükseklikleri	3.50 m
Döşeme Tipi	Tali Kirişli Plak Döşeme
Döşeme Kalınlığı	10 cm
Tipik Kolon Kesitleri	25/145cm, 40/40cm, 50/25cm, 70/25cm
Tipik Kiriş Kesitleri	25/50 cm
Temel Tipi	Bilinmiyor



Şekil 3.7: Bina 3D Görüntüsü



Şekil 3.8: Bina Tip Kolon Yerleşim Planı

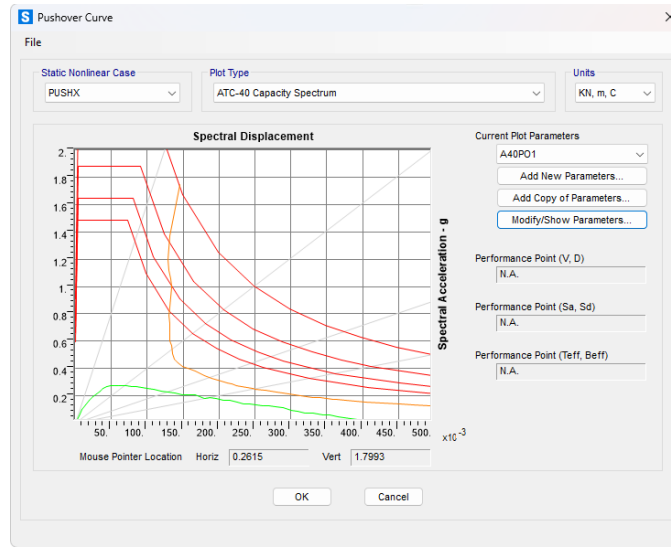


Şekil 3.9: Bina 25x50cm Tip Kiriş Yerleşim Planı

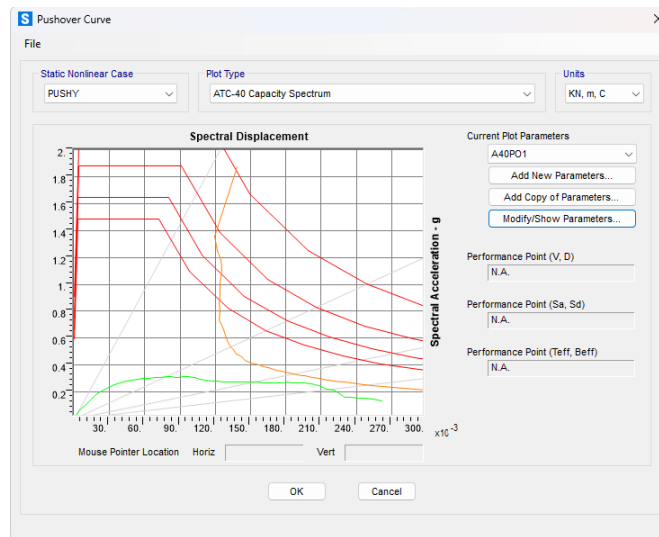
Yapının mevcut durum değerlendirilmesinde, en önemli yapısal sorunlar rijitlik yetersizliği ve plastik mafsall mekanizmasının beklenen aksine kirişlerden önce kolonlarda oluşmasıdır. Bu durum, deprem enerjisinin etkin bir şekilde sönmülmesini engellemekte ve plastik mafsalların kolonların alt ve üst uçlarında yoğunlaşması ile yapısal elemanlarda aşırı hasara yol açarak yapı stabilitesinin kaybına sebep olmaktadır. Sonuç olarak, yapı "Kontrollü Hasar" hedef performans seviyesini sağlayamamakta ve beklenen sünek davranışı sergileyememektedir.

Mevcut yapının deprem performansı, statik itme analizi (non-linear pushover analysis) ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizlerle değerlendirilmiştir. Bu analizlerde, kat ötelemeleri, taban kesme kuvvetleri ve modal analiz sonuçları ayrıntılı bir şekilde incelenmiş; elde edilen veriler, yapının X ve Y doğrultularında rijitlik ve dayanım açısından yetersiz olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, yukarıda açıklandığı gibi yapının hedeflenen enerji sönümlenme kapasitesine ulaşamadığı belirlenmiştir.

Şekil 3.10 ve Şekil 3.11, her iki doğrultu için yapının modal kapasite eğrisi ve kapasite spektrum eğrilerini göstermektedir. Buna göre, yapının rijitlik ve dayanım eksikliği, modal kapasite eğrilerinden açıkça görülebilmektedir. Hedef performans düzeyi kriterlerinin sağlanması için, yapı elemanlarının şekil değiştirme kapasitelerinin ve dayanımlarının artırılması, aynı zamanda yapı rijitliğinin artırılarak yer değiştirme taleplerinin azaltılması gerekmektedir.

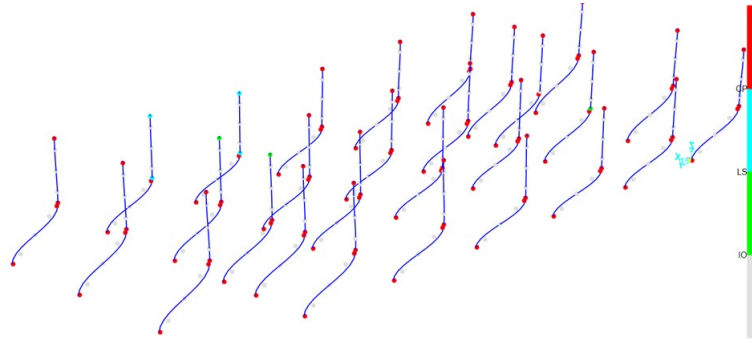


Şekil 3.10: ATC-40 X Yönu Modal Kapasite Eğrisi ve DD-1 Kapasite Spektrum Eğrileri

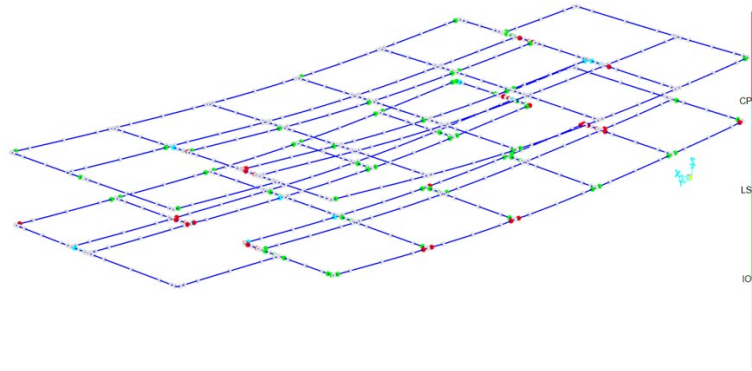


Şekil 3.11: ATC-40 Y Yönu Modal Kapasite Eğrisi ve DD-1 Kapasite Spektrum Eğrileri

Şekil 3.12 ve Şekil 3.13, mevcut yapısal elemanların performanslarını kırışler göstermektedir.



Şekil 3.12: BINA B Mevcut Yapı Kolonların Performansı



Şekil 3.13: BINA B Mevcut Yapı Kirişlerin Performansı

3.3 Bina C

Yapının taşıyıcı sistemi betonarme çerçeve ve perdelerden oluşmaktadır. Döşeme sistemi tali kirişli plak döşeme olarak teşkil edilmiştir. Uzun doğrultuda 20 kısa doğrultusunda ise 3 açıklıktan oluşmaktadır. Ek olarak, yapı kısa doğrultusuna paralel 2 dilatasyon derzi ile ayrılarak 3 bloktan oluşmaktadır. Bu bloklar sırasıyla 1., 2. ve 3. blok olarak isimlendirilmiştir. Dilatasyon derz boşluklarının yetersiz olması nedeniyle yapıların güçlendirme aşamasında birleştirileceği kabul edilmiştir. Blokların uzun doğrultudaki açıklık sayıları sırasıyla 5, 1 ve 14'tür. Zemin kotu farkı nedeniyle 1. blok 4 katlı olup diğer bloklar 5 katlıdır. Kat yükseklikleri 3. kat dışındaki tüm katlar için 3.8m olup, 3. kat yüksekliği 3.2 metredir. Yapıların en alt katlarında 25 cm kalınlığında kısmi rijit bodrum perdeleri bulunmaktadır. Betonarme kolonlar 30x30cm, 30x40cm, 30x45cm, 30x60cm, 40x40cm, 45x45cm gibi çeşitli boyutlarda dikdörtgen ve kare şeklindedir. Bu çalışma kapsamında blokların birleştirileceği kabul edildiğinden, dilatasyon derzi yanındaki komşu kolonların boyutları büyütülerek 70x70cm olarak kabul edilmiştir. Kirişler ise 20x55cm, 30x30cm, 30x45cm, 40x55cm, ve 50x55cm boyutlarında teşkil edilmiştir. Yapının 3. katının yalnızca küçük bir bölümünde betonarme çerçeve ve döşeme sistemi bulunmaktadır. Bu bölümde 30x120cm ve 45x120cm boyutlarında yüksek kirişler vardır ve çerçeve süreksizlikleri bulunmaktadır. 3. katın geri kalanında ise betonarme kolonların üzerine oturan çelik kirişlerle bir çatı kaplaması oluşturulmuştur. Üzerinde çelik çatı bulunan kolonlar deprem etkileri altında konsol olarak çalışacaklardır.

Yapının en üst katında (3. kat) betonarme kirişlerin üzerine oturan kolonlar düşey taşıyıcı sistem düzensizliği oluşturmaktadır.

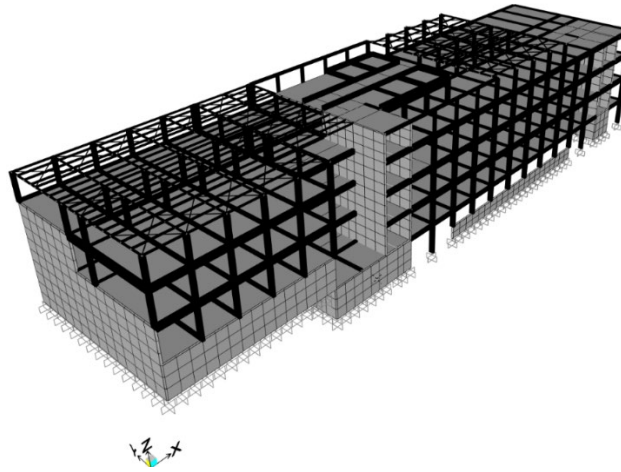
Yapıların temel sistemi ile ilgili bir bilgi bulunmamaktadır.

Yapı 1963 yılında inşa edilmiş olup o tarihte geçerli olan Deprem yönetmeliğine uygun olarak tasarlandığı kabul edilmiştir. Yapının tasarım hesap raporları bulunmamıştır.

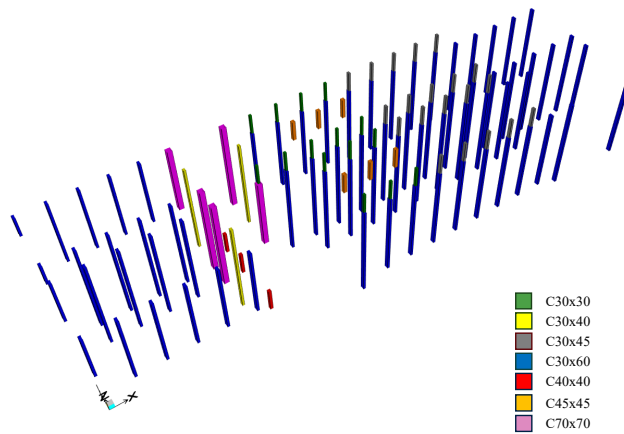
Binanın taşıyıcı sistemine ilişkin temel bilgiler Tablo 3.3'te sunulmuş olup, taşıyıcı elemanların boyutları ve yerleşim planları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.

Tablo 3.3 Bina Bilgileri

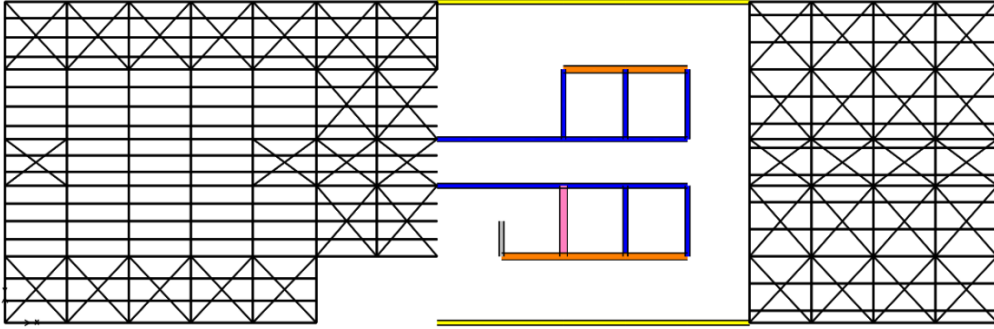
Bina C	
Açıklık Sayıları	20 - 3
Tipik Açıklıklar	4.0 m x 9.0 m
Kat Yükseklikleri	Çatı: 3.2m, Diğer Katlar: 3.8 m
Döşeme Tipi	Kirişli Plak Döşeme ve Asmolen Döşeme
Döşeme Kalınlığı	10 cm, 35 cm
Tipik Kolon Kesitleri	30/40 cm, 30/60 cm
Tipik Kiriş Kesitleri	30/45 cm, 50/55 cm
Tipik Perde Kalınlığı	25 cm, 30 cm
Temel Tipi	Bilinmiyor



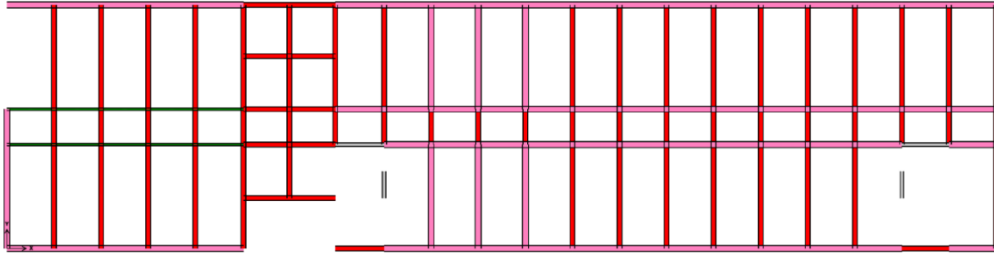
Şekil 3.14 Yapı 3D Görüntüsü



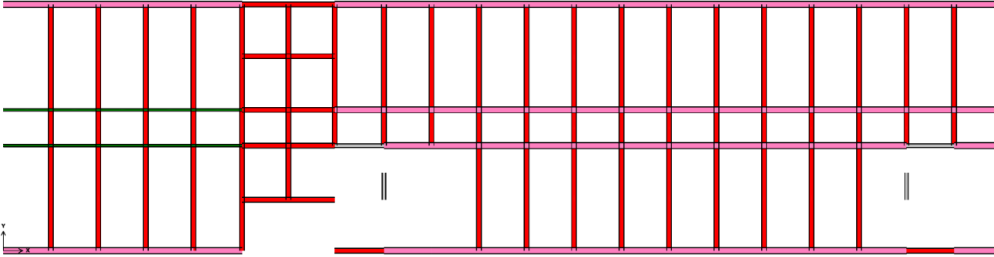
Şekil 3.15 Kolon Kesitlerine Göre Yerleşim Gösterimi



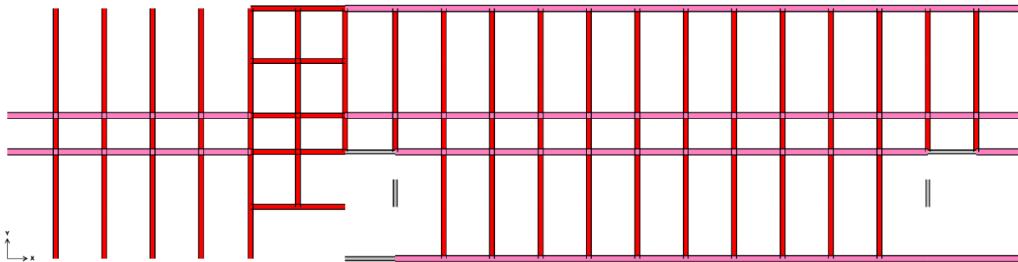
Şekil 3.16 Çatı Katı Kiriş Yerleşim Planı



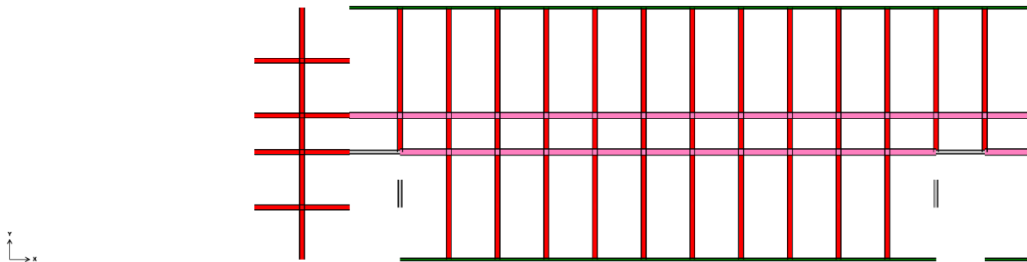
Şekil 3.17 2. Kat Kiriş Yerleşim Planı



Şekil 3.18 1. Kat Kiriş Yerleşim Planı



Şekil 3.19 Zemin Kat Kiriş Yerleşim Planı



Şekil 3.20 Bodrum Kat Kiriş Yerleşim Planı

Tablo 3.4 Mevcut Kiriş Kesitleri Lejanti

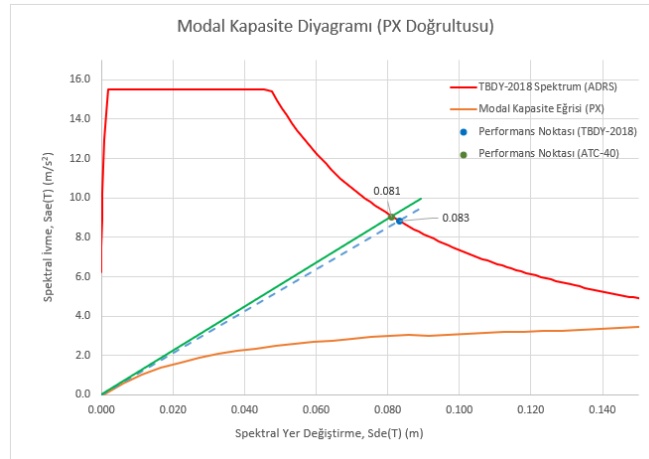
Mevcut Kesitler	Renk
K20x55	Yeşil
K30x30	Sarı
K30x45	Gri
K30x120	Mavi
K40x55	Kırmızı
K45x120	Altın
K50x55	Pembe

Her iki doğrultuda DD-1 yer hareketi düzeyi için yapılan analizler sonucunda çok sayıda taşıyıcı sistem elemanın hasar seviyesinin “Göçme” bölgesinde olduğu tespit edilmiştir. Gevrek hasar kontrollerinde kolonların kesme kapasiteleri genel olarak yeterli bulunmasına rağmen 7 adet kolonda gevrek hasar meydana geldiği tespit edilmiştir. Ayrıca toplamda 105 adet kirişin kesme kapasitesinin yetersiz olduğu görülmüştür. Perdelerde de durum benzer olup kesme kapasitelerinde yetersizlikler tespit edilmiştir.

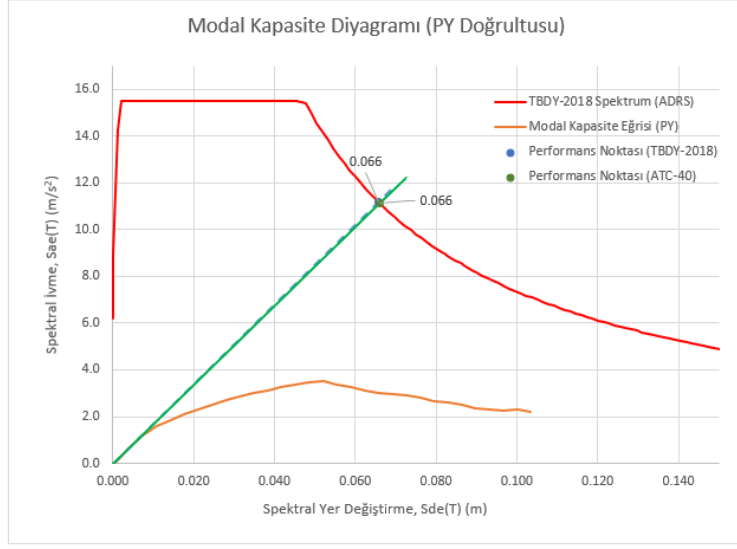
Yapılan, doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizleri neticesinde birçok kolonun “Göçmenin Önlenmesi” hasar seviyesini aştığı tespit edilmiştir. Özellikle binanın orta kısmında bulunan kolon eksenel yük kapasitelerinin yetersiz olduğu ve binanın bu kısımdan çökmeye başladığı görülmüştür. Bu sonuca göre binanın orta akslarındaki kolonların taşıma kapasitesinin artırılması bir gerekmektedir.

Yapının mevcut durum analizinde tespit edilen temel sorunlar, rijitlik yetersizliği, kolon eksenel yük oranlarının izin verilen limitlerin üzerinde olması ve kesitlerde etriye sıklaştırması bulunmamasıdır. Eksenel yük oranlarının yüksek olması ve etriye sıklaştırmasının olmaması, kolonların süneklik seviyesini kısıtlamaktadır. Yapının uzun doğrultusunda yeteri kadar perde bulunmadığından performans hedefini sağlamak için yeterli rijitlik sağlanamamaktadır. Yapının kısa doğrultusunda bulunan paralel perdeler arası uzaklıkların çok fazla olması sebebiyle, bu aralıkta yer değiştirmelerin eleman kapasitelerinin üzerinde olduğu görülmüş olup bulunan hedef yer değiştirmeler için belirlenen performans hedefi sağlanamamaktadır.

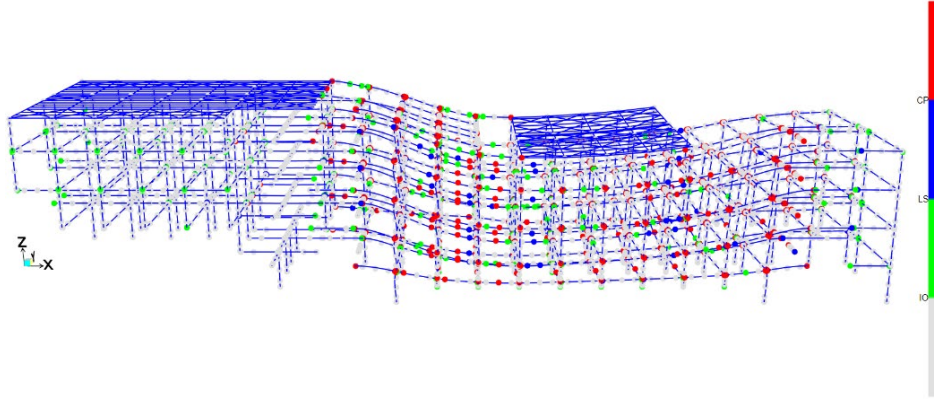
Mevcut yapı elemanlarının performans seviyesi Şekil 3.23'te verilmiştir.



Şekil 3.21: DD-1 Deprem Yer Hareketi Düzeyi için TB DY-2018 ve ATC-40'a göre Belirlenen İtme Hedef Deplasmanları



Şekil 3.22: DD-1 Deprem Yer Hareketi Düzeyi için TBDY-2018 ve ATC-40'a göre Belirlenen İtme Hedef Deplasmanları



Şekil 3.23: Bina C Mevcut Yapı Elemanlarının Performans Seviyesi

3.4 Bina D

Yapı taşıyıcı sistemi betonarme çerçeve-perde karma sistemden oluşmaktadır. Döşeme sistemi kirişli plak döşeme olarak teşkil edilmiştir. Uzun doğrultuda 17 ve kısa doğrultuda 3 açıklıktan oluşmaktadır. Ek olarak, yapı kısa doğrultusuna paralel bir dilatasyon derzi ile ayrılmakta ve 2 bloktan oluşmaktadır. Bu bloklar sırasıyla 1. ve 2. blok olarak isimlendirilmiştir. Blokların uzun doğrultudaki açıklık sayıları sırasıyla 7 ve 10'dur. Her iki blok 5 kattan oluşmaktadır. Kat yükseklikleri 3.05 metredir. Yapının taşıyıcı sistemi tüm katlarda aynı olup katlar arasında yapısal sistem ile ilgili bir farklılık bulunmamaktadır.

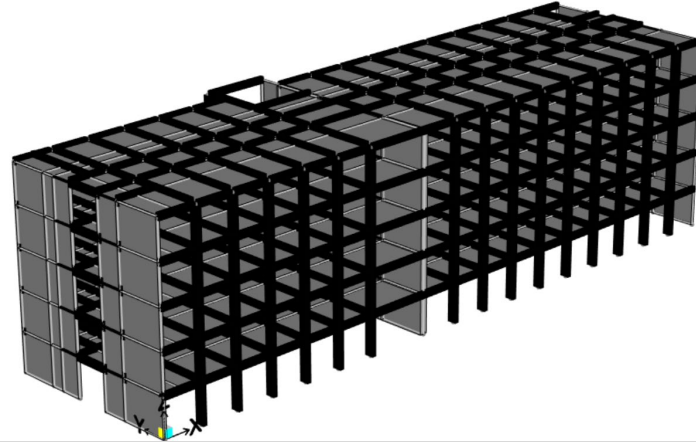
Yapıların temel sistemi ile ilgili bir bilgi bulunmamaktadır.

Yapı 1990 yılında inşa edilmiş olup Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik-1975 (ABYYHY-1975) şartlarına uygun olarak tasarlandığı düşünülmektedir. Yapının tasarım belgelerine ulaşılammıştır.

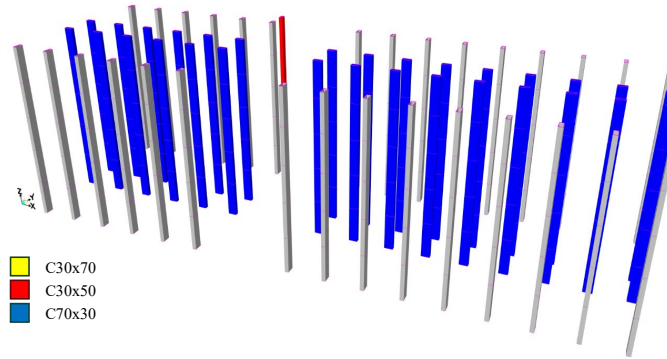
Bina taşıyıcı sistemine ilişkin temel bilgiler Tablo 3.5'te sunulmuş olup, taşıyıcı elemanların boyutları ve yerleşim planları Şekil 3.25 ve Şekil 3.26'da gösterilmiştir.

Tablo 3.5: Bina Bilgileri

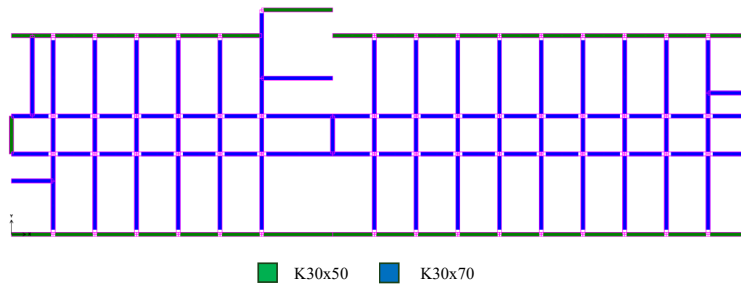
Bina D Binaları	
Açıklık Sayıları	17-3
Tipik Açıklıklar	3.1 m X 6.0 m
Kat Yüksekliği	3.05m
Döşeme Tipi	Kirişli Plak Döşeme
Döşeme Kalınlığı	15 cm
Tipik Kolon Kesitleri	30/70 cm
Tipik Kiriş Kesitleri	30/50 cm, 30/70 cm
Tipik Perde Kalınlığı	30 cm
Temel Tipi	Bilinmiyor



Şekil 3.24: Yapı 3D Görüntüsü



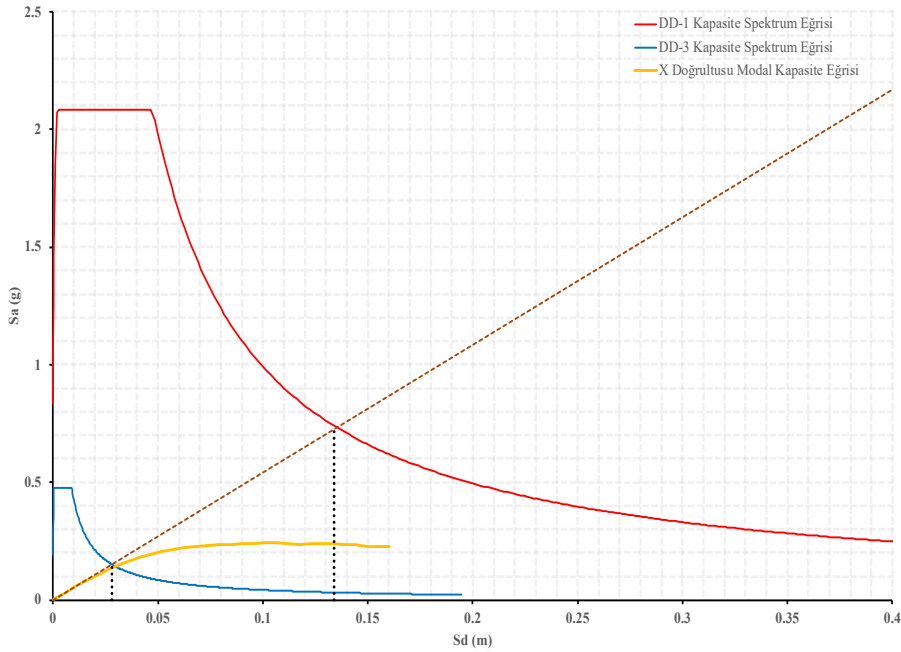
Şekil 3.25: Bina Tip Kolon Yerleşim Gösterimi



Şekil 3.26: Bina Tip Kolon Yerleşim Gösterimi

Her iki doğrultuda DD-1 yer hareketi düzeyi için yapılan analizler sonucunda çok sayıda taşıyıcı sistem elemanının hasar seviyesinin “Göçme” bölgesinde olduğu tespit edilmiştir. Gevrek hasar kontrollerinde kolonların kesme kapasiteleri yeterli bulunmakla birlikte birçok kirişin kesme kapasitesinin yetersiz olduğu görülmüştür. Perdelerde de durum benzer olup kesme kapasitesi yetersizlikleri tespit edilmiştir.

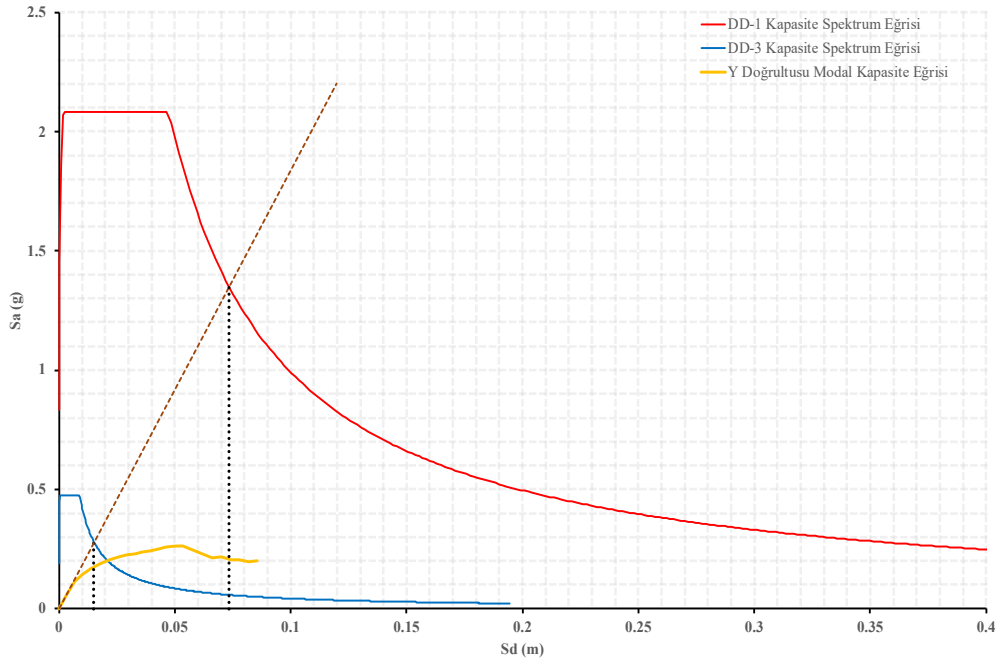
Yaptığımız, doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizlerin sonucunda da birçok kolonun “Göçmenin Önlenmesi” hasar seviyesini aştığı tespit edilmiştir. Binanın orta kısmında bulunan kolonların şekil değiştirme kapasiteleri, yüksek aksel yük oranları sebebiyle diğer kolonlara göre daha azdır ve bina bu kısımdan çökmeye başlamaktadır. Buna göre, binanın orta akslarındaki kolonların taşıma kapasitesinin artırılması gerekmektedir.



Şekil 3.27 TBDY 2018 X Yönü Modal Kapasite Eğrisi ve Kapasite Spektrum Eğrileri

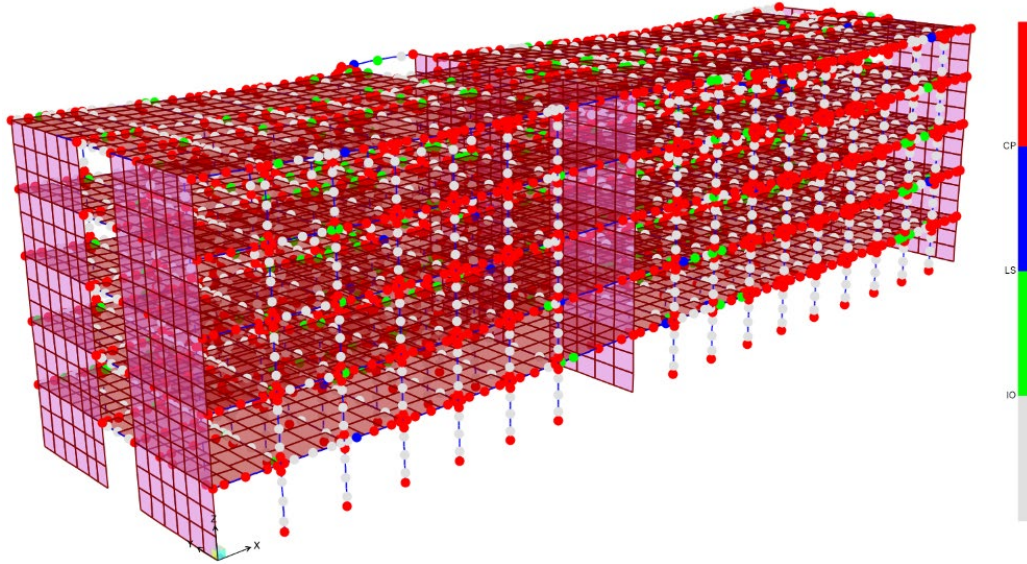
Yapının mevcut durum analizinde tespit edilen temel sorunlar; rijitlik yetersizliği, kolon aksel yük oranlarının izin verilen limitlerin üzerinde olması, beton ve donatı dayanımlarının düşük olması, “güçlü kolon-zayıf kiriş” koşulunun sağlanamaması ve elemanların yeteri kadar sünek olmamasıdır. Yapının uzun doğrultusunda perde bulunmadığından performans hedefini sağlamak için yeterli rijitlik yoktur. Yapının kısa doğrultusunda bulunan perdeler arası uzaklıkların çok fazla olması sebebiyle, bu aralıkta yer değiştirmelerin eleman kapasitelerinin üzerinde olduğu görülmüş olup bulunan hedef yer değiştirmeler için belirlenen performans hedefi sağlanamamaktadır.

Söz konusu bina için belirlenen performans hedefi DD-1 yer hareketi düzeyi için “Kontrollü Hasar”, DD-3 yer hareketi düzeyi için “Sınırlı Hasar” olarak belirlenmiştir. DD-1 yer hareketi düzeyi için yapılan kontrollerde mevcut binanın “Kontrollü Hasar” performans seviyesini sağlamadığı tespit edilmiş olup, performans seviyesi “Göçme Durumu” olarak belirlenmiştir. Bu durumda binanın hedeflenen performans seviyesini sağlayabilmesi için güçlendirilmesi gerekmektedir.



Şekil 3.28 TBDY-2018 Y Yönü Modal Kapasite Eğrisi ve Kapasite Spektrum Eğrileri

Mevcut yapı elemanlarının performansı Şekil 3.29'da gösterilmiştir.



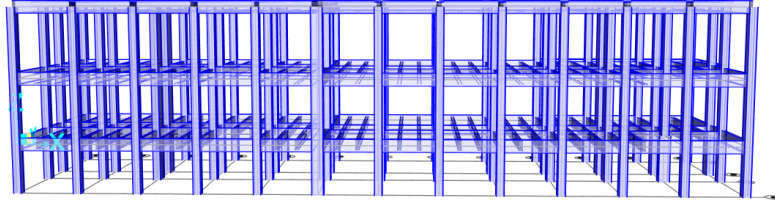
Şekil 3.29 Bina D Mevcut Yapı Performansı

4. Dışarıdan Güçlendirmeler

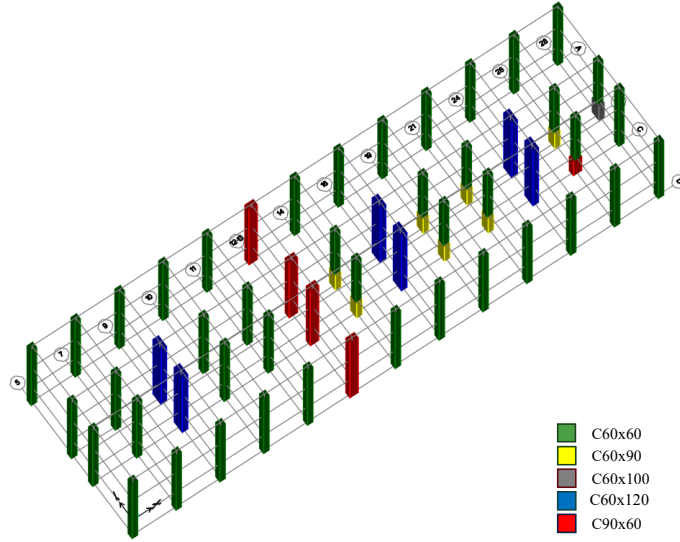
4.1 Bina A

4.1.1 Güçlendirme Tasarımı için Denenen Çalışmalar

Denenen güçlendirme alternatiflerinden biri betonarme sargı ile güçlendirme yöntemidir. Yapının mevcut halinin analizlerinde yapıldığı gibi, dilatasyon aksındaki taşıyıcı elemanlar mantolanıp birleştirilmiştir. Bununla birlikte, yapının rijitliğini artırmak ve hedeflenen performans düzeyini sağlamak için yapıda bulunan bütün kolonlar betonarme sargı ile güçlendirilmiştir. Mantolanan kolonların yerleşim planı Şekil 4.2’de gösterilmiş ve Tablo 4.1’de özetlenmiştir. Birinci ve ikinci kat kirişleri, gerekli kat sayısı hesaplanarak şekil değiştirme taleplerini karşılayacak şekilde FRP sargı ile güçlendirilmiştir. Dilatasyon aksındaki 25x70 cm boyutlarındaki kirişler, 80x100 cm olacak şekilde birleştirilip mantolanmıştır. FRP ve betonarme ile sargılanan kirişler Şekil 4.3’te gösterilmektedir.



Şekil 4.1: Bina A Betonarme Sargı ile Güçlendirme (1. Deneme)



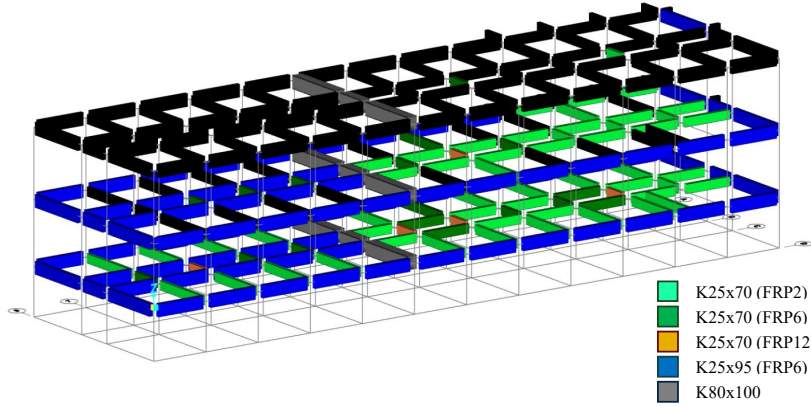
Şekil 4.2: Bina A Betonarme Sargı ile Güçlendirilen Kolonların Yerleşim Planı (1. Deneme)

Şekil 4.3’te belirtilen FRP yanında yer alan sayılar hesaplanan FRP sargı katman sayısını tarif etmektedir. Yapılan sargı katman sayısı hesaplamalarında uygulamada karşılaşılabilecek sorunlar dikkate alınmamıştır. Bununla birlikte, TBDY 2018 Ek 15B.3’e göre, FRP sargı ile kesit sünekliliğinin artırılması için kesitin uzun boyutunun kısa boyutuna oranının iki buçuktan az olması gerekmektedir. İlgili koşul 25x95 cm boyutlarındaki kirişler için dikkate alınmamıştır.

Tablo 4.1: Mantolanan Kolon Kesitleri

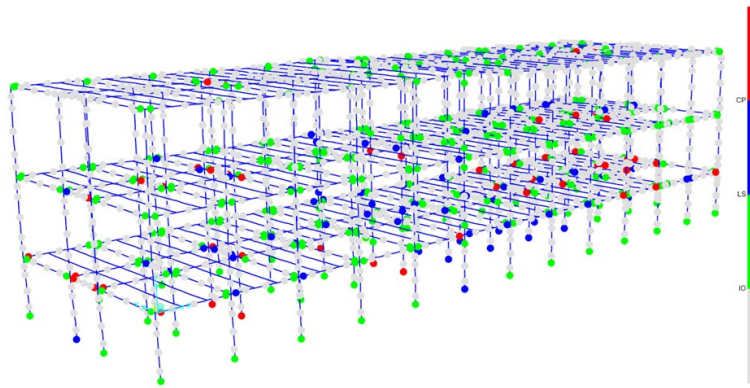
Mevcut Kesitler	Mantolu Kesitler
30x30/30x40/40x30	60x60
30x60	60x90
30x70	60x100
30x30/30x40/30x60	60x120
2*30x40 (Dilatasyon Aksı)	90x60

Üretici kataloglarına göre, bu çalışmada bulunan FRP kat sayıları uygun gibi gözükse de FRP çalışma etkinliği ve uygulamada karşılaşılabilecek sorunlar göz önüne alındığında, uygulanabilecek FRP katman sayısının genelde 3-4 katman olacak şekilde sınırlandırıldığı bilinmektedir. Bu nedenle, burada bulunan FRP katman sayıları teorik değerler olup, uygulama aşamasında detaylı hesaplar yapılarak belirlenmelidir.



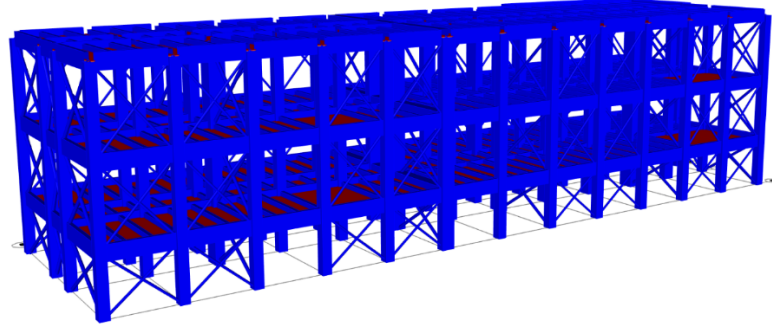
Şekil 4.3: Bina A FRP ile Sargılanan ve Dilatasyon Aksında Mantolanan Kirişler (1. Deneme)

Yapılan analizler sonucunda bu güçlendirme önerisinin, tek başına hedef performans düzeyi limitlerini karşılamadığı görülmüştür.



Şekil 4.4: Bina A Güçlendirilmiş Çerçeve Elemanlarının Performans Seviyesi (1. Deneme)

Bunun üzerine, yapıya çelik çaprazlar eklenerek yapı rijitliğini artıran bir sistem oluşturulmuştur. İlk yerleştirmede çelik çaprazlar, sönümleyici cihazlar ile güçlendirme amacıyla yapılan denemeler referans alınarak konumlandırılmıştır.

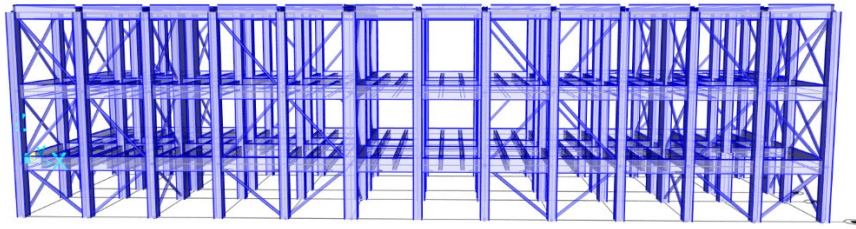


Şekil 4.5: Bina A Çelik Çapraz ve Güçlendirilmiş Çerçeve (2. Deneme)

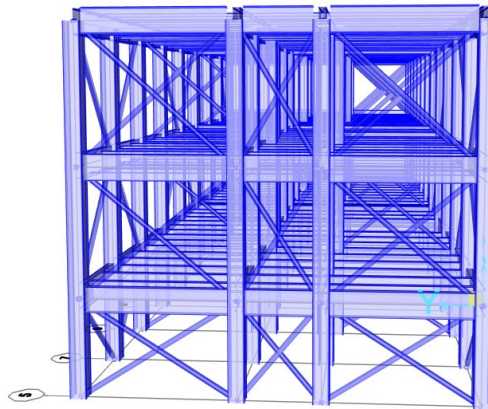
Bu denemeden sonra, çelik çapraz sayıları ve kesitleri, analiz sonuçlarına göre optimize edilmiş ve 4.1.2'de açıklanan güçlendirme alternatifine karar verilmiştir.

4.1.2 Seçilen Güçlendirme Sistemi

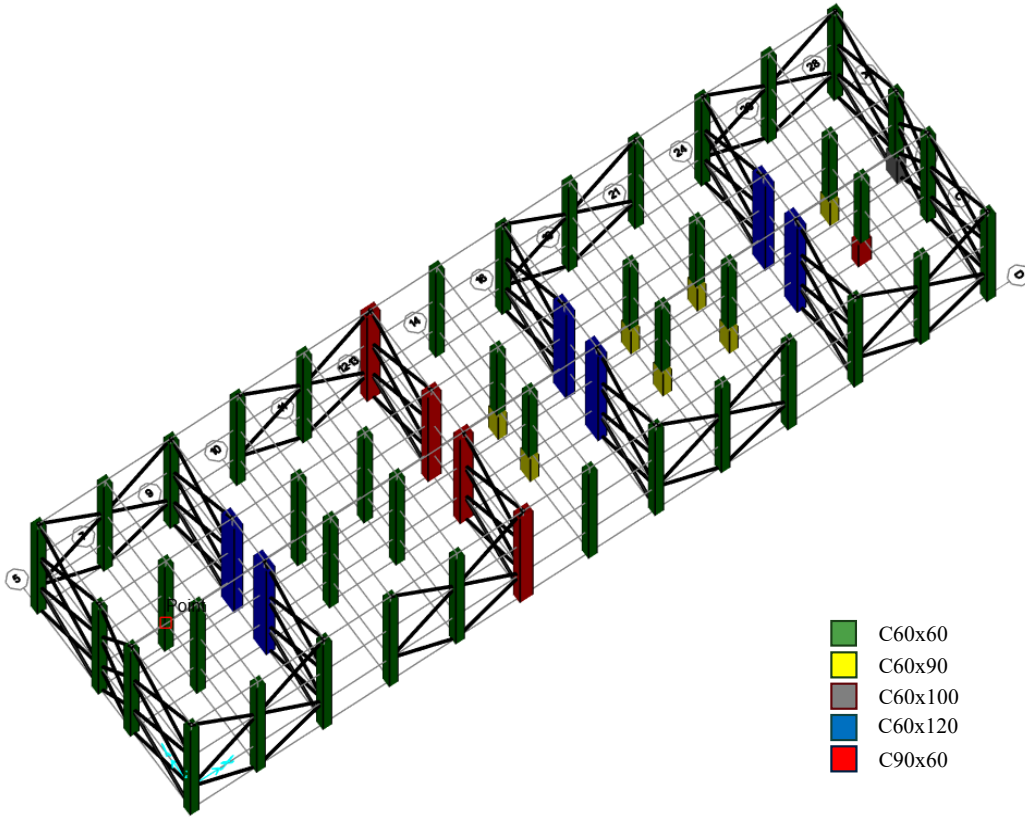
Seçilen güçlendirme yöntemi Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de gösterildiği gibi çelik çaprazlarla güçlendirme yöntemidir. Yapının mevcut halinin analizlerinde yapıldığı gibi, dilatasyon aksındaki taşıyıcı elemanlar mantolanıp birleştirilmiştir. Bununla birlikte, yapının rijitliğini artırmak, çelik çaprazların bağlandığı elemanlardaki ek talepleri karşılamak ve hedeflenen performans düzeyini sağlamak için yapıda bulunan bütün kolonlar mantolanmıştır. Mantolanan kolonların yerleşim planı Şekil 4.8'de gösterilmiş ve Tablo 4.2'de özetlenmiştir. Birinci ve ikinci kat kirişleri, gerekli katman sayısı hesaplanarak şekil değiştirme taleplerini karşılayacak şekilde FRP sargı ile güçlendirilmiştir. Dilatasyon aksındaki 25x70 cm boyutlarındaki kirişler, 80x100 cm olacak şekilde birleştirilip mantolanmıştır.



Şekil 4.6: Bina A Çelik Çaprazlar ile Güçlendirme 3D Görünüm 1



Şekil 4.7: Bina A Çelik Çaprazlar ile Güçlendirme 3D Görünüm 2



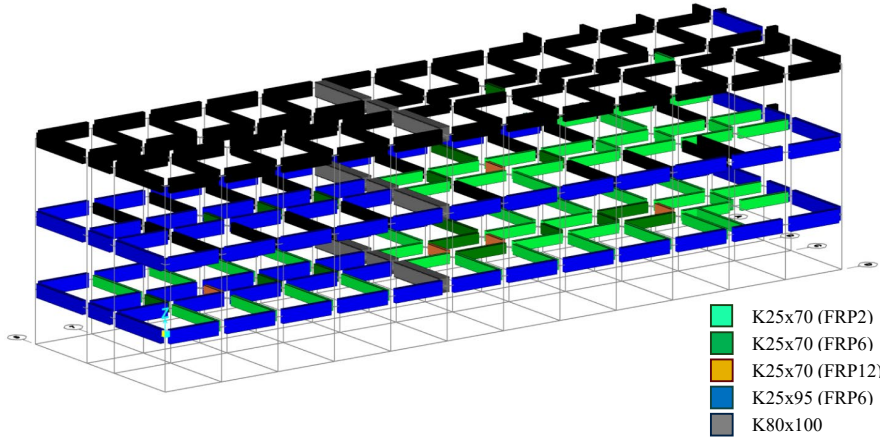
Şekil 4.8: Bina A Mantolu Kolon Tipleri ve Çelik Çapraz Yerleşimi

Tablo 4.2: Mantolanan Kolon Kesitleri

Mevcut Kesitler	Mantolu Kesitler
30x30/30x40/40x30	60x60
30x60	60x90
30x70	60x100
30x30/30x40/30x60	60x120
2*30x40 (Dilatasyon Aksı)	90x60

Şekil 4.9 FRP ile sargılanan ve dilatasyon aksında mantolanan kirişleri göstermektedir. Şekil 4.9'da belirtilen FRP yanında yer alan sayılar hesaplanan FRP sargı katman sayısını tarif etmektedir. Yapılan sargı katman sayısı hesaplamalarında uygulamada karşılaşılabilecek sorunlar dikkate alınmamıştır. Bununla birlikte, TBDY 2018 Ek 15B.3'e göre, FRP sargı ile kesit sünekliğinin artırılması için kesitin uzun boyutunun kısa boyutuna oranının iki buçuktan az olması gerekmektedir. İlgili koşul 25x95 cm boyutlarındaki kirişler için dikkate alınmamıştır.

Üretici kataloglarına göre, bu çalışmada bulunan FRP katman sayıları uygun gibi gözükse de, FRP çalışma etkinliği ve uygulamada karşılaşılabilecek sorunlar göz önüne alındığında, uygulamada FRP katman sayısının genellikle 3-4 kat mertebelerinde yapıldığı bilinmektedir. Bu nedenle, burada bulunan FRP katman sayıları teorik değerler olup, uygulama aşamasında detaylı hesaplarla tespit edileceği öngörülmüştür.



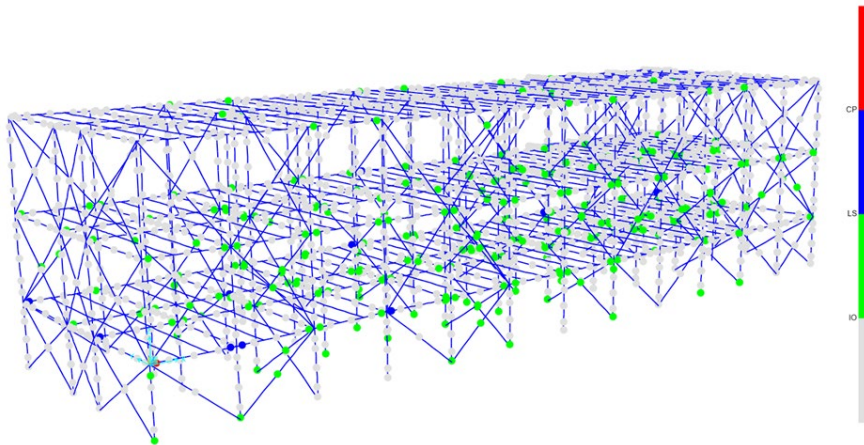
Şekil 4.9: Bina A FRP ile Sargılanan ve Dilatasyon Aksında Mantolanan Kirişler

4.1.3 Seçilen Güçlendirme Yönteminin Binanın Performansına Etkisi

Yapının rijitliğini ve deprem performansını artırmak amacıyla çelik çaprazlar kullanılarak yapılan güçlendirmede her kat için gerekli çelik çapraz adedi ve optimum yerleşim planı belirlenmiştir. Çapraz yerleşimi binanın uzun doğrultusunda sadece cephelerde teşkil edilecek şekilde düzenlenebilmektedir. Ancak binanın planda uzunluğu sebebi ile kısa doğrultuda sadece cephelere yerleştirilecek çaprazlar binanın hedeflenen performansa ulaşması için yeterli olmamaktadır.

Tavsiye edilen güçlendirme yönteminin uygunluğu ve yapıda oluşacak taban kesme kuvvetlerinin sınırlandırılması amacıyla, yapının hedef ötelemesi yaklaşık %0.7 olarak belirlenmiştir. Çalışmada kolon ve kirişlerin şekil değiştirme kapasiteleri yapının hedeflenen ötelemesi %0.7 olduğu durumu sağlayacak şekilde güçlendirilmiştir.

Statik itme ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerle hem mevcut durum hem de güçlendirme sonrası yapının kat ötelemeleri, taban kesme kuvvetleri ve modal analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlara göre, güçlendirme sonrası yapının hem X hem de Y doğrultusunda rijitliği ve dayanımının hedeflediğimiz ölçüde artması sağlanmıştır. Sonuç olarak, çelik çaprazlar ile yapılan güçlendirme, yapının deprem performansını artırarak TBDY 2018 yönetmeliğinde tanımlanan performans hedeflerine ulaştırmıştır.



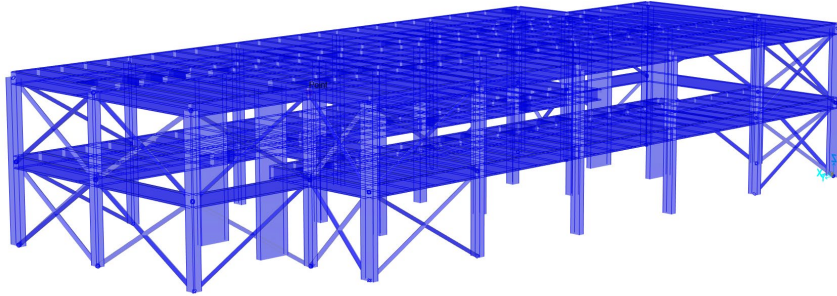
Şekil 4.10: Bina A Dışarıdan Çelik Çaprazlar ile Güçlendirilme Sonrası Yapı Elemanlarının Performans Seviyesi

4.2 Bina B

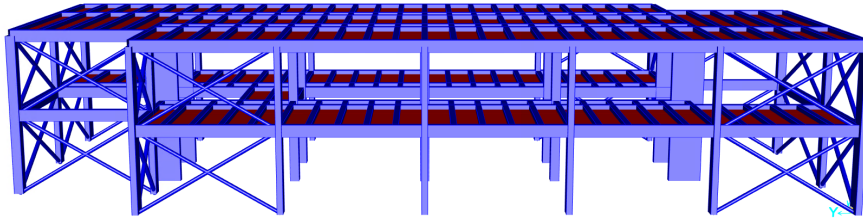
4.2.1 Güçlendirme Tasarımı için Denenen Çalışmalar

Bina B için, yapıya dışarıdan elemanlar eklenerek çeşitli güçlendirme alternatifleri geliştirilmiştir. Bu alternatifler, mevcut yapı elemanlarına yapılan müdahaleleri en aza indirmek ve yapı kullanımının kesintiye uğramasını önlemek amacıyla, hedef performans seviyesini sağlayacak uygun çözüm elde edilene kadar değerlendirilmiş ve optimize edilerek uygulanmaya devam edilmiştir.

Aşağıda sunulan güçlendirme alternatifinde, çelik çapraz elemanlar mevcut taşıyıcı sisteme doğrudan müdahale edilmeksizin, ilave çelik çerçeve sistemleri aracılığıyla yapıya dışarıdan entegre edilmiştir. Ancak yapının mevcut şekil değiştirme kapasitesinin sınırlı olması ve çelik elemanların yalnızca dış cephelerde konumlandırılması, özellikle orta açıklıklarda oluşan yatay ötelemelerin yeterince sınırlandırılmasını engellemiştir. Bu durum, sistemin hedef performans seviyesine ulaşamamasına neden olmuştur. Hedeflenen rijitliğin sağlanabilmesi için yapı iç açıklıklarına da çelik çapraz elemanların yerleştirilmesi gerekliliği, söz konusu alternatifin uygulanabilirliğini ve etkinliğini azaltmış; bu nedenle diğer güçlendirme senaryolarının değerlendirilmesi yoluna gidilmiştir. Bahsedilen güçlendirme yöntemi Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de sunulmuştur.

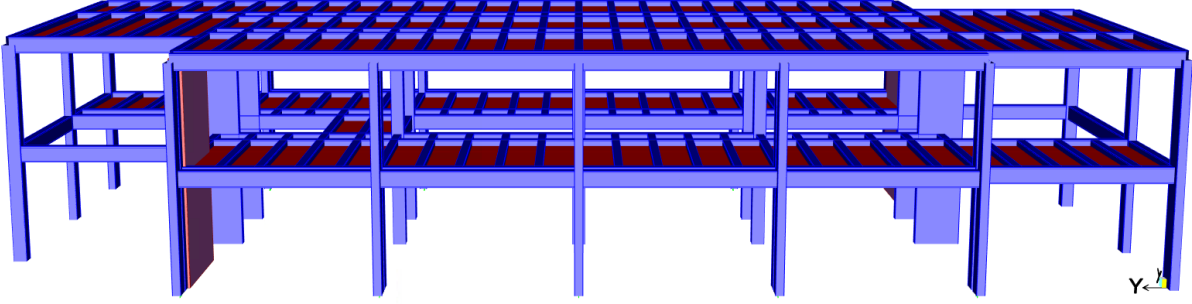


Şekil 4.11: Bina B Dışarıdan Güçlendirme 1. Alternatifi İzometrik Görünümü

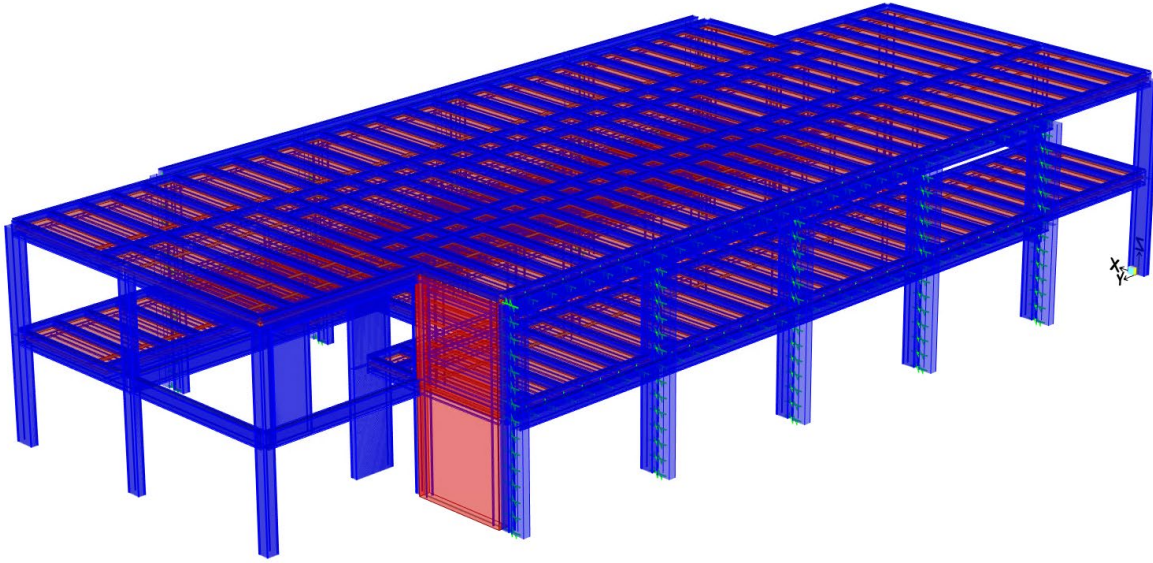


Şekil 4.12: Bina B Dışarıdan Güçlendirme 1. Alternatifi İzometrik Cephe Görünümü

Aşağıda sunulan güçlendirme alternatifi kapsamında, yapıya dışarıdan entegre edilen betonarme perde ve çerçeve sistemi, dış iskelet yaklaşımı doğrultusunda değerlendirilmiştir. Bu yöntemde, mevcut taşıyıcı sisteme doğrudan müdahale edilmeden, dış aksta bulunan çerçeve sistemin rijitlik olarak eşdeğer bir dış çerçeve sistemin ankrajlar ile eklenerek yatay yük taşıma kapasitesinin artırılması hedeflenmiştir. Kısa yönde ise gereken rijitlik ve müdahale edilebilir alanın kısıtlı olması nedeniyle prekast betonarme perde ilavesi planlanmıştır. Ancak yapının ihtiyacı olan rijitlik miktarı uzun doğrultuda bulunan çerçeve sistem ile eşdeğer bir çerçevenin ilave edilmesiyle sağlanamamıştır. Bahsedilen güçlendirme yöntemi Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'te sunulmuştur.

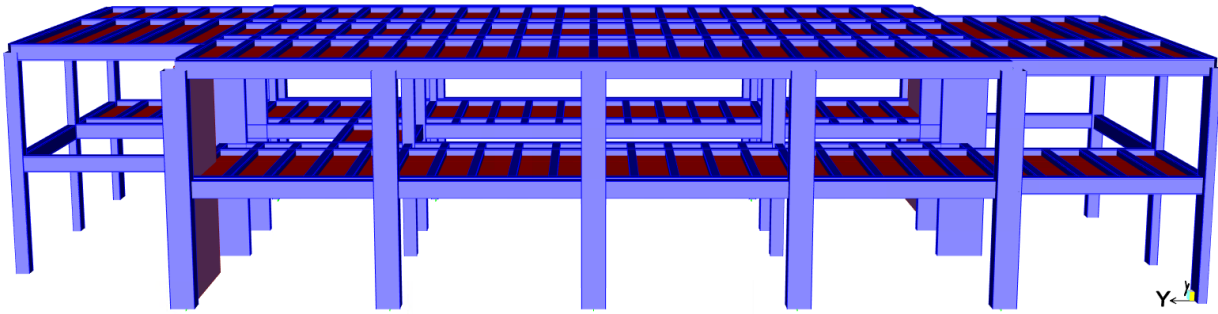


Şekil 4.13: Bina B Dışarıdan Güçlendirme 2. Alternatifi İzometrik Cephe Görünümü

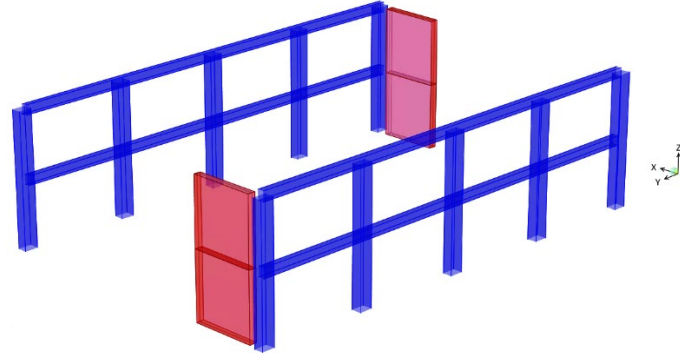


Şekil 4.14: Bina B Dışarıdan Güçlendirme 2. Alternatifi İzometrik Görünümü

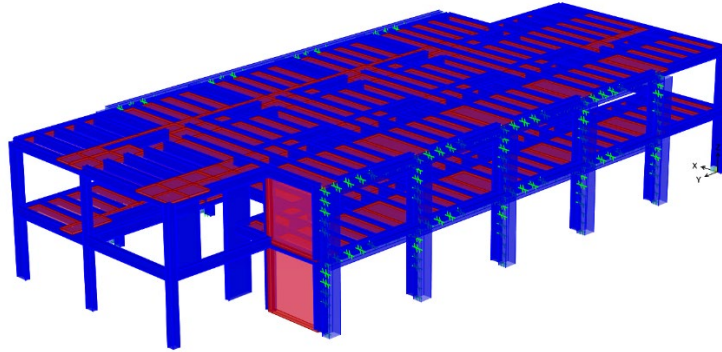
Gerekli rijitliğin sağlanabilmesi amacıyla, yapının dışına eklenen betonarme çerçeve sisteminin kesit boyutları artırılmıştır. Bu güçlendirme yöntemine ilişkin görsellere aşağıda yer verilmiştir. Ancak boyutları büyütülen bu dış çerçeve elemanları, yapının mevcut taşıyıcı sistem davranışıyla uyumlu olmamaları ve daha fazla tesir çekmeleri nedeniyle, hedeflenen öteleme seviyelerinde beklenen performans kriterlerini karşılayamamıştır.



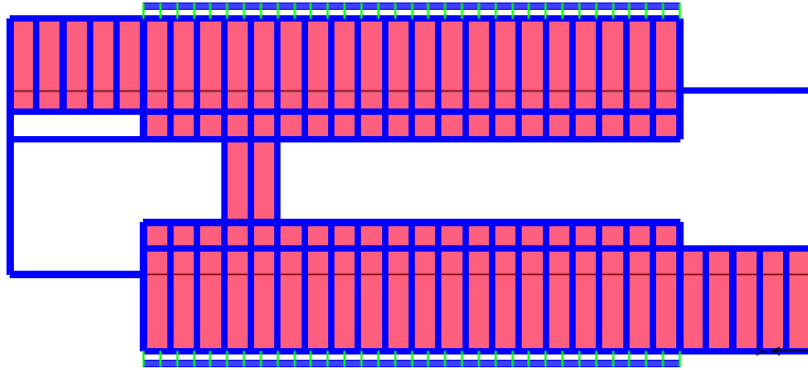
Şekil 4.15: Bina B Dışarıdan Güçlendirme 3. Alternatifi İzometrik Cephe Görünümü



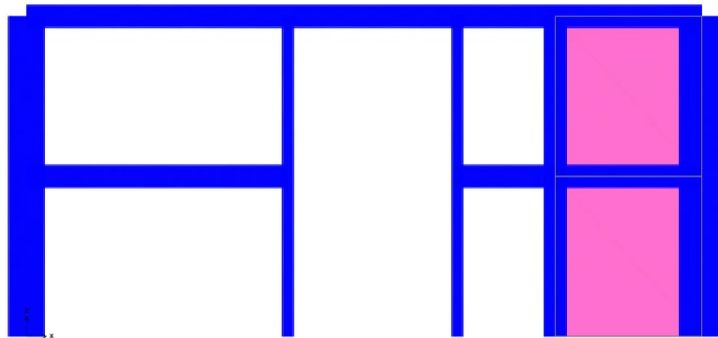
Şekil 4.16: Bina B İlave Elemanların Yerleşimi (3. Alternatifi)



Şekil 4.17: Bina B İlave Betonarme Çerçeve ve Perde Elemanlar İzometrik Görüntüsü (3. Alternatifi)

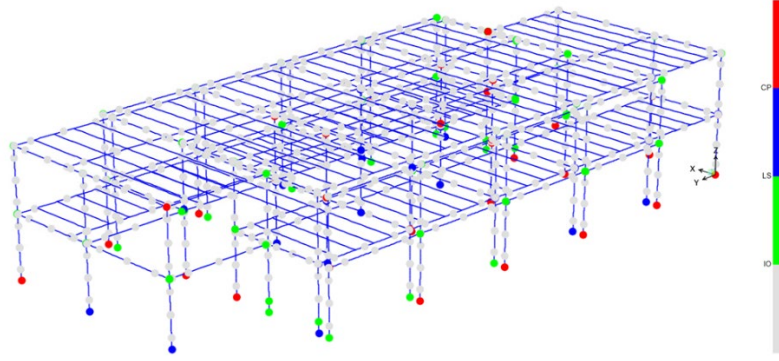


Şekil 4.18: Bina B Betonarme Çerçeve ve Perde İle Güçlendirme Modeli Plan Görüntüsü (3. Alternatifi)



Şekil 4.19: Bina B Dışarıdan İle Güçlendirme Modeli X-Z Görüntüsü (3. Alternatifi)

Bu güçlendirme yönteminin uygun olmadığı, hedef performans düzeyi limitlerini sağlamadığı yapılan analizler sonucu anlaşılmıştır. Elemanların performans seviyelerini gösteren şekil aşağıda paylaşılmıştır.

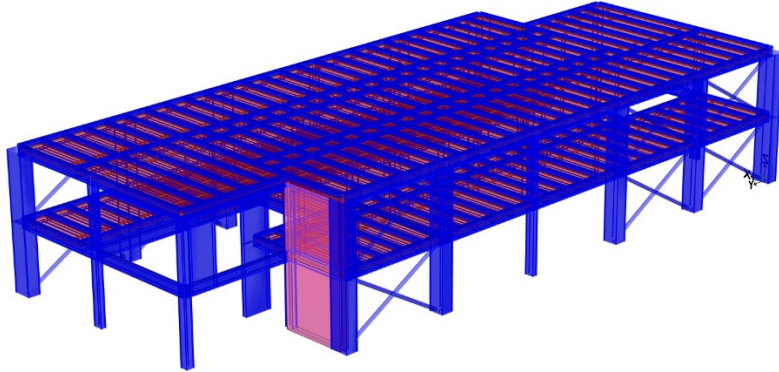


Şekil 4.20: Bina B İlave Betonarme Çerçeve ve Perde İle Güçlendirilmiş Yapı Performansı (3. Deneme)

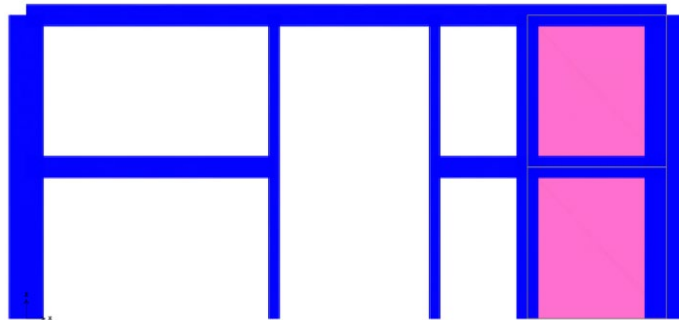
4.2.2 Seçilen Güçlendirme Sistemi

Seçilen tasarım Şekil 4.24'te gösterildiği gibi çelik çaprazlar ve betonarme perdelerle güçlendirilmesidir. Bununla birlikte, yapının rijitliğini artırmak, çelik çaprazların bağlandığı elemanlardaki ek talepleri karşılamak ve hedeflenen performans düzeyini sağlamak için çelik çaprazların bağlanacağı elemanlar mantolanmıştır. Güçlendirilen eleman kesitleri ile ilgili malzeme davranış özellikleri, ilerleyen bölümlerde sunulmuştur.

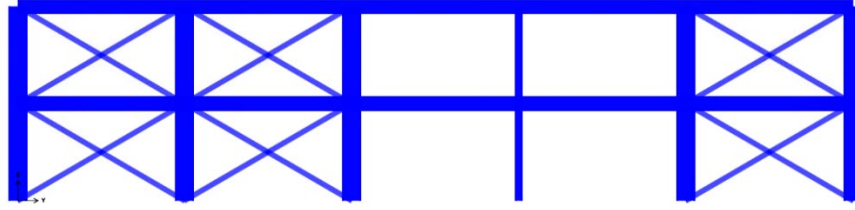
Yapıya ilave edilen elemanlar ve mantolanan mevcut elemanlar aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



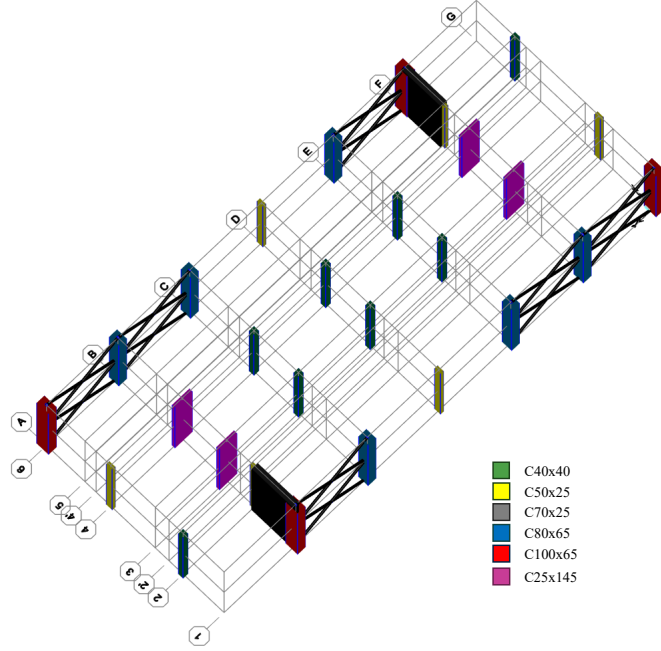
Şekil 4.21: Bina B Çelik Çapraz ve Perde İle Güçlendirme Modeli İzometrik Görüntüsü



Şekil 4.22: Bina B Çelik Çapraz ve Perde İle Güçlendirme Modeli X-Z Görüntüsü



Şekil 4.23: Bina B Çelik Çapraz ve Perde ile Güçlendirme Modeli Y-Z Görüntüsü



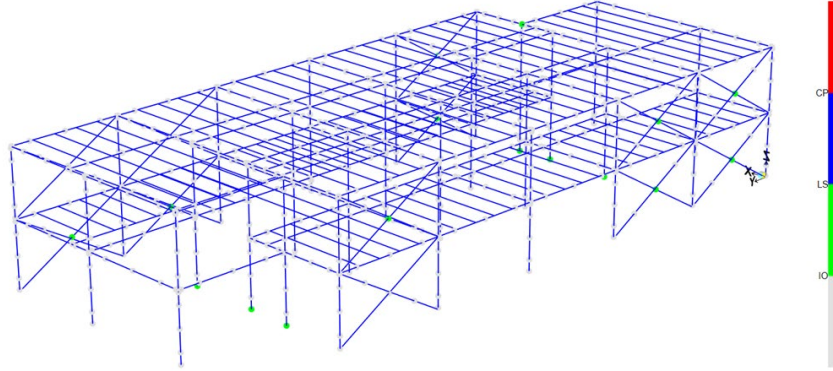
Şekil 4.24: Bina B Mantolanmış ve Mevcut Elemanlarının Yerleşimi

Tablo 4.3: Mantolanan Kolon Kesitleri

Mevcut Kesitler	Mantolu Kesitler
50x25	80x65
70x25	100x65

4.2.3 Seçilen Güçlendirme Yönteminin Binanın Performansına Etkisi

Yapının rijitliğini ve deprem performansını artırmak amacıyla taşıyıcı sisteme çelik çaprazlar eklenmiştir. Tavsiye edilen güçlendirme yönteminin uygunluğu ve yapıda oluşacak taban kesme kuvvetlerinin sınırlandırılması amacıyla, yapının hedef ötelemesi ortalama %0.7 olarak belirlenmiştir. Çalışmada kolon ve kirişlerin şekil değiştirme kapasiteleri yapının hedeflenen ötelemesi %0.7 olduğu durumu sağlayacak şekilde güçlendirilmiştir. Çaprazların yerleşimi, binanın uzun doğrultusunda yalnızca cephelerle sınırlı olacak şekilde tasarlanmıştır. Ancak, binanın plandaki uzunluğu göz önüne alındığında, kısa doğrultuda yalnızca cephelere yerleştirilen çaprazlar, yapının hedeflenen performans seviyesine ulaşması için yeterli olmamaktadır. Bu nedenle, kısa doğrultuda yapının cephesine dışarıdan betonarme perdeler eklenerek güçlendirilmesi planlanmıştır. Sonuç olarak, çelik çaprazlar ve betonarme perdeler ile yapılan güçlendirme, yapının deprem performansını iyileştirerek TBDY 2018 performans hedeflerine ulaşılması sağlanmıştır.

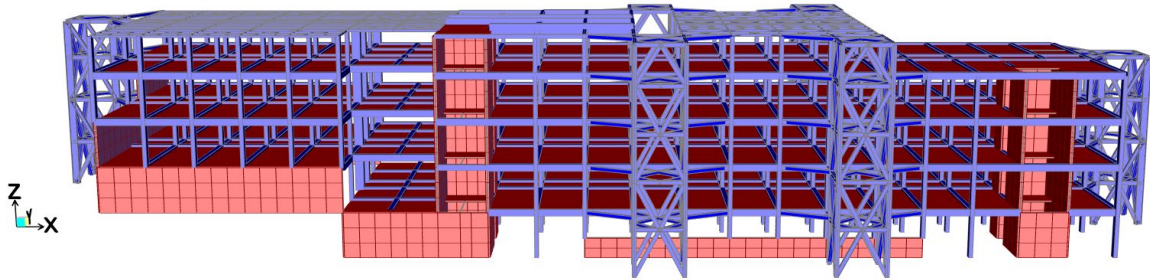


Şekil 4.25: Bina B Betonarme Perde ve Çelik Çaprazlar ile Güçlendirme Sonrası Yapı Performans Seviyesi

4.3 Bina C

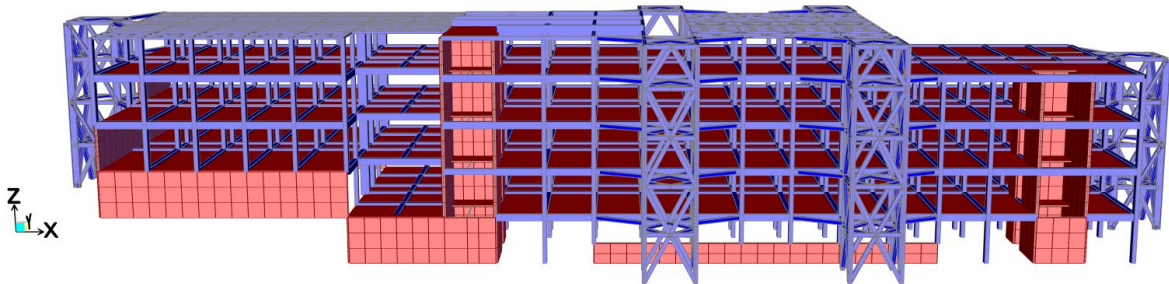
4.3.1 Güçlendirme Tasarımı için Denenen Çalışmalar

Dışarıdan güçlendirme önerileri için ilk olarak yapıya dışarıdan çelik kuleler eklenmiş, bodrum katta bulunan kısa kolon düzensizlikleri giderilmiştir. Bu güçlendirme önerisi, yüksek kolon eksenel yükleri ve hedef yer değiştirme değerlerinin yapı elemanlarının şekil değiştirme kapasitelerinden büyük olması sebebiyle hedef performans limitlerini sağlamamaktadır.



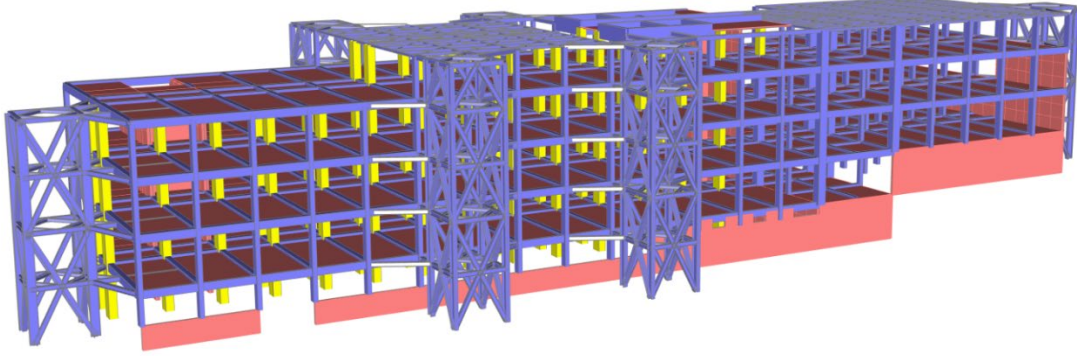
Şekil 4.26: Bina C Dışarıdan Çelik Kuleler ile Güçlendirme (1. Deneme)

Özellikle taleplerin yüksek olduğu, en üst katta bulunan 30x30 cm boyutlarındaki kolonlar, zemin katta bulunan 30x40 cm kolonlar, en üst katta bulunan 45x45 cm kolonlar ile zemin kat ve diğer katlarda bulunan dilatasyon aksındaki 70x70 cm kolonlar FRP ile sargılanmıştır. Yürütülen analizler sonucunda bu güçlendirme yönteminin uygun olmadığı tespit edilmiştir.



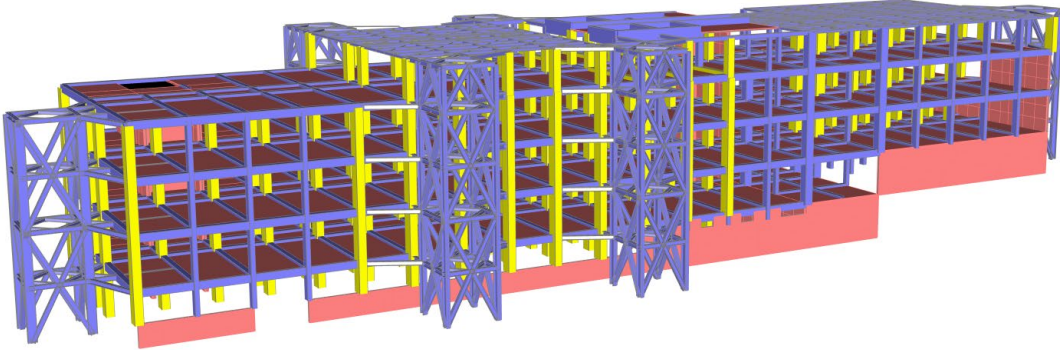
Şekil 4.27: Bina C Dışarıdan Çelik Kuleler ile Güçlendirme (2. Deneme)

Bu güçlendirme denemesinde orta akslarda bulunan kolonların tümü mantolanmıştır fakat kulelerin bağlandığı kolonlarda oluşan ek talepler dolayısıyla hedef performans kriterleri sağlanamamıştır.



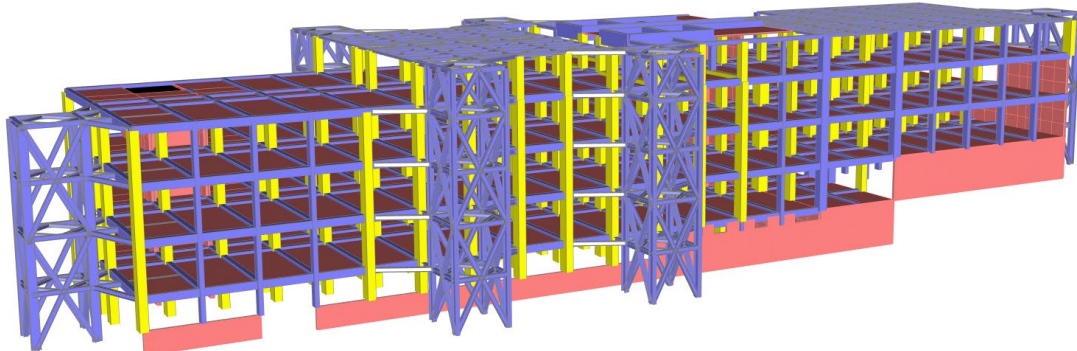
Şekil 4.28: Bina C Dışarıdan Çelik Kuleler ile Güçlendirme (3. Deneme)

Bir önceki denemeye ek olarak, çelik kulelerin bağlandığı kolonlar, transfer kolonlarının mesnetlendiği kirişler ve bu kirişlerin bağlandığı kolonlar, görselin sağında yer alan bloğun orta aksında bulunan kolonlar mantolanmıştır. Az sayıda da olsa hala gerekli performans kriterlerini sağlamayan elemanların bulunduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.29: Bina C Dışarıdan Çelik Kuleler ile Güçlendirme (4. Deneme)

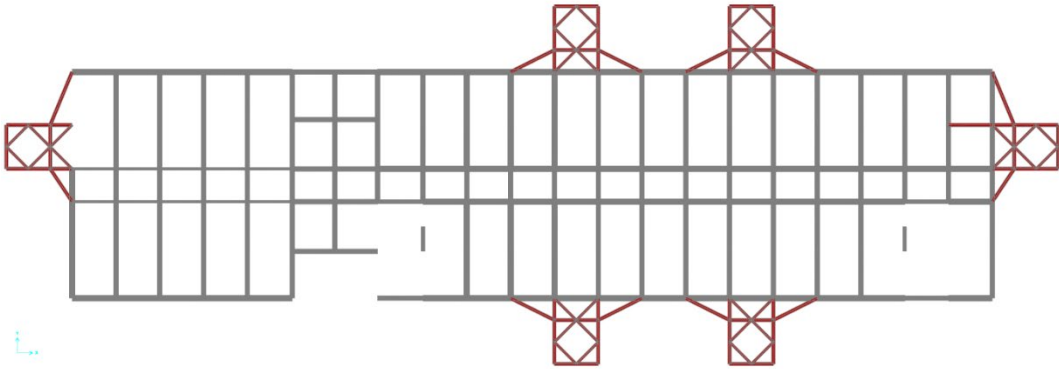
Bu denemede, önceki uygulamaya ek olarak perde ve dilatasyon aksında yer alan kolonlar mantolanmış; bu doğrultuda seçilen güçlendirme sistemi belirlenmiştir.



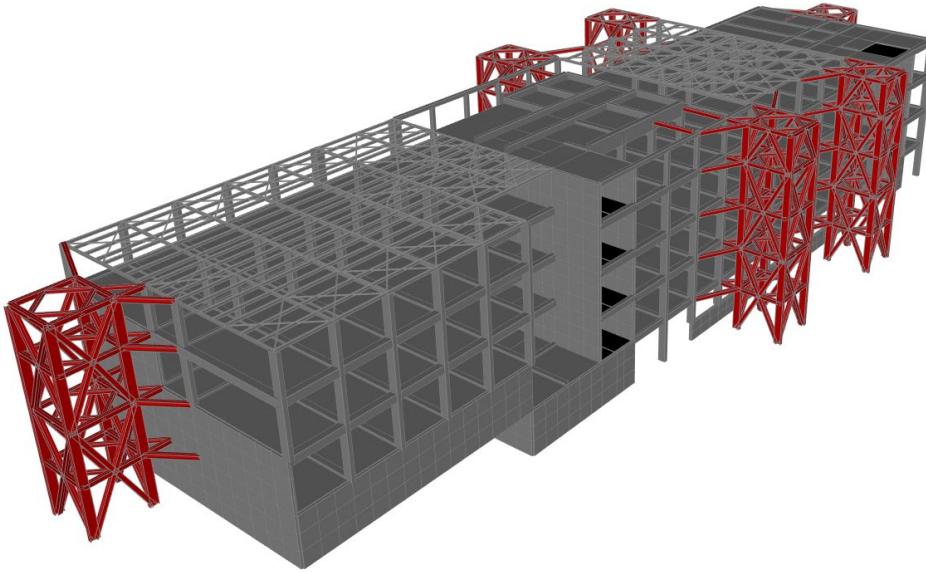
Şekil 4.30: Bina C Dışarıdan Çelik Kuleler ile Güçlendirme (5. Deneme)

4.3.2 Seçilen Güçlendirme Sistemi

Binanın çevresinde, bina cephesine 2m mesafede konumlandırılan 6 adet çelik kule oluşturulmuştur. Çelik kulelerin plan boyutları 4x4m, yükseklikleri ise bina ile aynı yüksekliktedir (14.6 ve 11.4m). Kuleler iki doğrultuda da çelik çaprazlı çerçevelerden oluşturulmuştur. Tüm kulelerde aynı eleman kesitleri kullanılmıştır. Kolonlar HEA600, kirişler ve düşey çaprazlar HEA300, kat seviyelerindeki yatay çapraz elemanlar ise HEA220 profillerden meydana gelmektedir. Çelik elemanların malzeme sınıfı S275 olarak seçilmiştir.

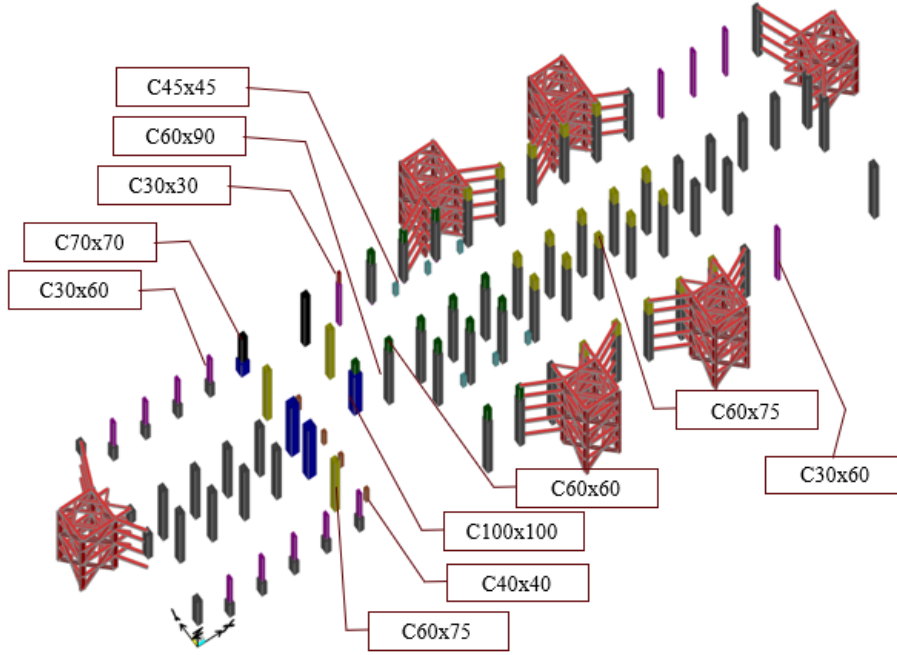


Şekil 4.31: Bina C Bina Çevresine Eklenen Çelik Kulelerin Yerleşimi



Şekil 4.32: Bina C Bina Dışına Eklenen Çelik Kulelerle Güçlendirme Modeli 3D Görünümü

Çelik kulelere ek olarak, belirlenen performans düzeyini hedefinin sağlanması için orta akslarda bulunan kolonlar, kulelerin bağlandığı kolonlar ve transfer kolonlarının mesnetlendiği kirişler ve bu kirişlerin bağlandığı kolonlar betonarme sargı ile güçlendirilmiştir. Bina'nın orta aks kolonlarının düşey yük güvenliğinin yetersiz olduğu mevcut durum analizleri sonucunda görülmektedir. Mantolanan kolon kesitleri, her iki yüzünden on beşer cm olacak şekilde her doğrultu için 30 cm artırılmıştır. Mevcut ve betonarme sargı ile güçlendirilen kolonlar Şekil 4.33'te gösterilmiş, Tablo 4.4'te özetlenmiştir.

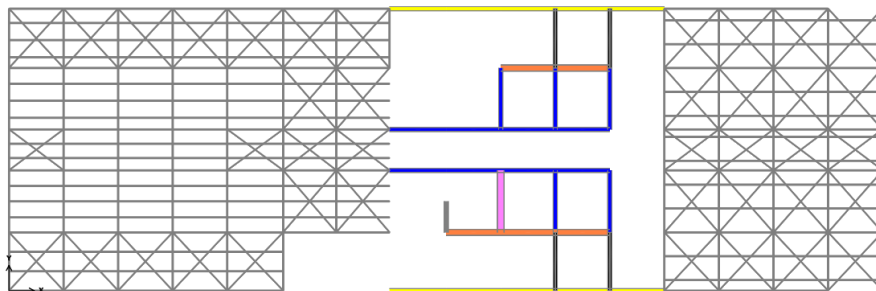


Şekil 4.33: Bina C Kolonlar ve Çelik Kulelerin Yerleşimi

Tablo 4.4: Mevcut ve Betonarme ile Sargılanan Kolon Kesitleri Lejanti

Mevcut Kesitler	Mantolu Kesitler	Renk
C30x30	-	Red
C30x30	C60x60	Green
C30x40, C30x45	C60x75	Yellow
C30x60	-	Purple
C30x60	C60x90	Grey
C40x40	-	Brown
C45x45	-	Teal
C70x70	-	Black
C70x70	C100x100	Blue

Transfer kolonlarının mesnetlendiği kirişler dışında, kiriş kesitlerinde herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Transfer kolonlarının mesnetlendiği kiriş kesitleri, "Kontrollü Hasar" performans seviyesini sağlamadığı için mantolanarak şekil değiştirme kapasitesi artırılmıştır. Şekil 4.34, Şekil 4.35, Şekil 4.36, Şekil 4.37 ve Şekil 4.38 her kat için kiriş yerleşim planlarını göstermektedir.



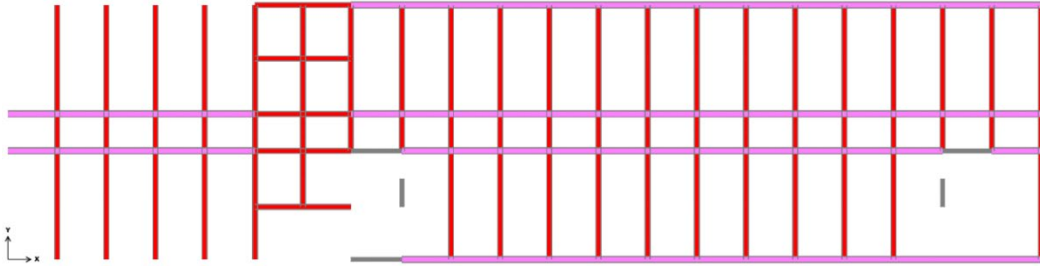
Şekil 4.34: Bina C Çatı Katı Kiriş Yerleşim Planı



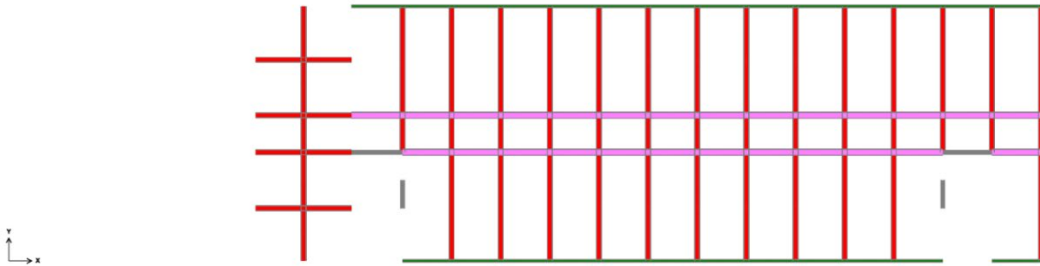
Şekil 4.35: Bina C 2. Kat Kiriş Yerleşim Planı



Şekil 4.36: Bina C 1. Kat Kiriş Yerleşim Planı



Şekil 4.37: Bina C Zemin Kat Kiriş Yerleşim Planı

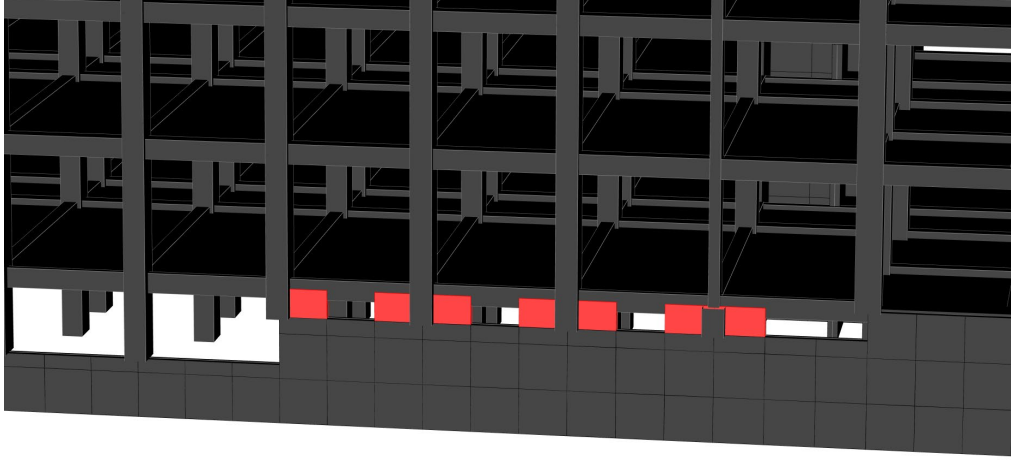


Şekil 4.38: Bina C Bodrum Kat Kiriş Yerleşim Planı

Tablo 4.5: Mevcut ve Betonarme ile Sargılanan Kiriş Kesitleri Lejanti

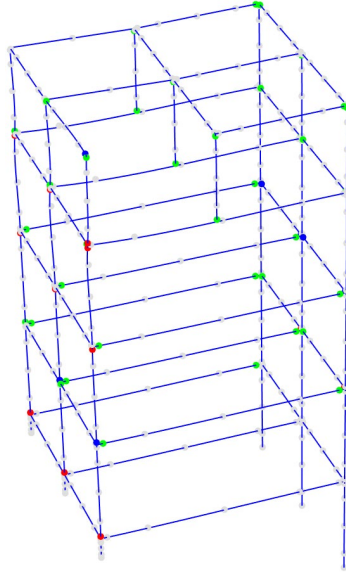
Mevcut Kesitler	Mantolu Kesitler	Renk
K40x55	-	Red
K50x55	K50x80	Black
K50x55	-	Pink
K30x45	-	Grey
K20x55	-	Green
K30X120	-	Blue
K45x120	-	Yellow
K30x30	-	Yellow

Ek olarak, yapı bodrum katında kısa kolonlar bulunmaktadır. Bu kattaki betonarme perdeler, üst kat döşemesine kadar uzatılarak kısa kolon davranışı ortadan kaldırılmıştır.



Şekil 4.39: Bina C Bodrum Katta Bulunan Kısa Kolonlar

Transfer kolonlarının mesnetlendiği kirişler ve bu kirişlerin bağlandığı kolonlar, Şekil 4.40'ta gösterildiği üzere hedef performans seviyesini sağlamamaktadır. Bu nedenle, ilgili kirişler ve bu kirişlerin bağlandığı kolonlar mantolanmak zorunda kalmıştır.

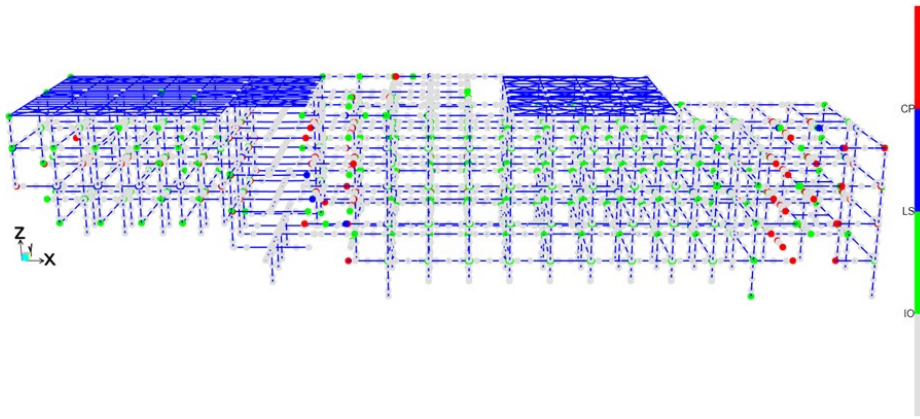


Şekil 4.40 Bina C Transfer Kolonları, Mesnetlendiği Kirişler ve Kolonlar

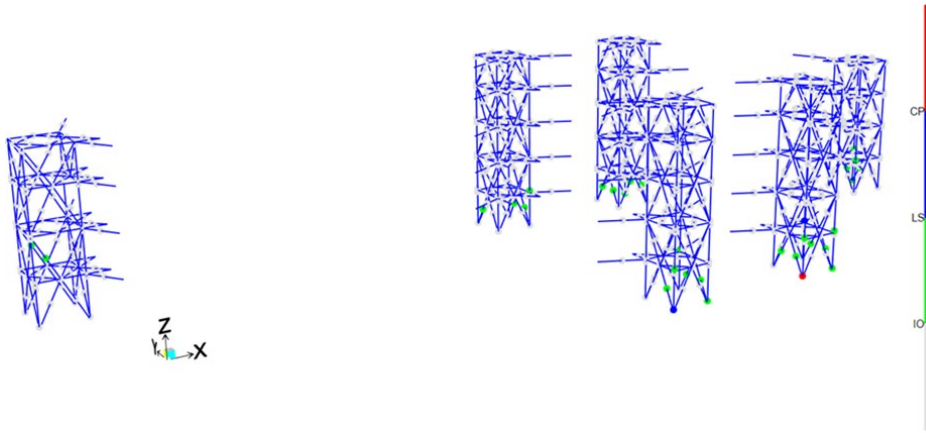
4.3.3 Binanın Performansına Etkisi

Yapı dışına uzun doğrultusunun her iki cephesine -perdeler arası mesafenin uzun olduğu bölge- ikişer tane, kısa doğrultunun her iki cephesine birer tane olmak üzere yapıya toplam 6 adet kule bağlanmıştır. Yapı uzun doğrultusu boyunca orta akslarda bulunan kolonlar mantolanarak kolonların şekil değiştirme kapasiteleri ve yapı rijitliği artırılmıştır. Bununla birlikte, lokal talepleri karşılamak üzere kulelerin bağlandığı kolonlar ayrıca mantolanmıştır. Sonuç olarak, şekil değiştirmeler ve taban kesmeleri sınırlandırmak amacıyla %0.7 olarak belirlenen öteleme değerlerine ulaşılmıştır.

Statik itme ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerle hem mevcut durum hem de güçlendirme sonrası yapının kat ötelemeleri, taban kesme kuvvetleri ve modal analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlara göre, güçlendirme sonrası yapının hem X hem de Y doğrultusunda rijitliği ve dayanımının anlamlı ölçüde arttığı gözlemlenmiştir fakat kule elemanları performanslarının TBDY 2018 “Kontrollü Hasar” performans düzeyi limit değerlerini sağlamadığı görülmüştür. Bu sebeple, bu güçlendirme tavsiyesi için kule elemanlarının büyütülmesi gerekmektedir ve “Kontrollü Hasar” performans seviyesi şartlarının sağlanması gerekmektedir.



Şekil 4.41: Bina C Dışarıdan Çelik Kuleler ile Güçlendirilmiş Yapı Kolon ve Kiriş Performansları

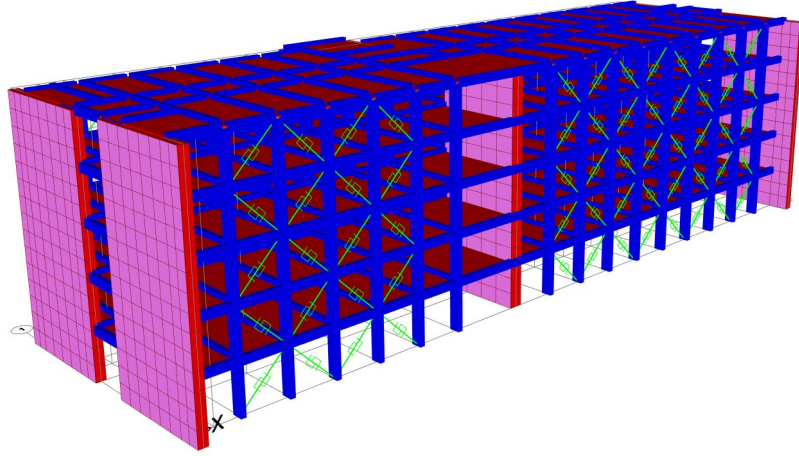


Şekil 4.42: Bina C Dışarıdan Çelik Kuleler ile Güçlendirilmiş Yapı Çelik Kule Elemanlarının Performansları

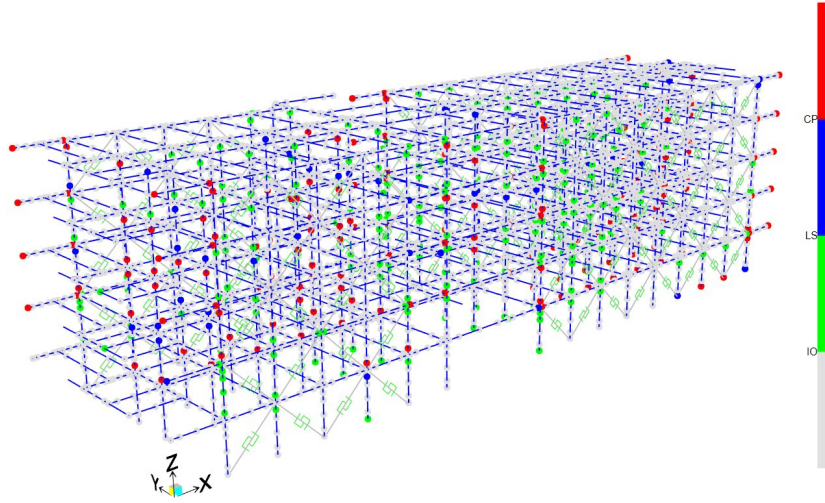
4.4 Bina D

4.4.1 Güçlendirme Tasarımı için Denenen Çalışmalar

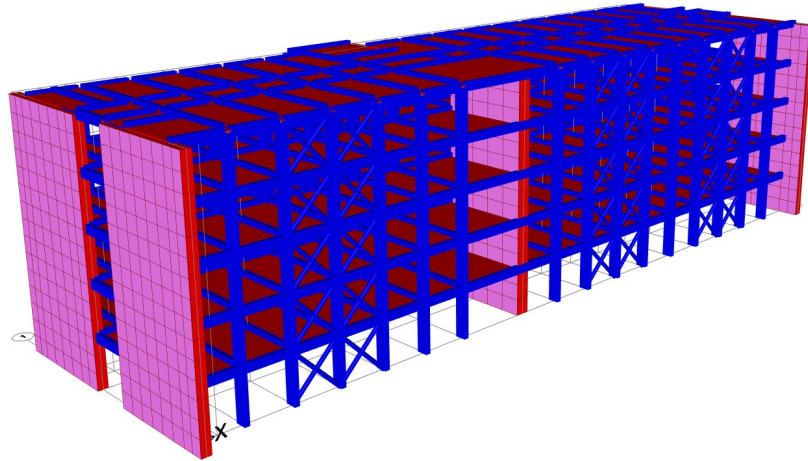
Dışarıdan güçlendirme yöntemleri için birkaç alternatif denenmiş, uygun olan güçlendirme yöntemine karar verilmiştir. Sunulan bir alternatifte, dış akslara BÖÇ elemanları eklenmesi ve mevcut perdelerin mantolanarak ikişer metre uzatılması önerilmiştir. Eksenel yük oranlarının fazla olması ve malzeme kalitesinin düşük olması nedeniyle, mevcut yapıdaki kolonlar sınırlı şekil değiştirme kapasitesi göstermiş ve hedef performans düzeyine ulaşamamıştır. Dolayısıyla bu güçlendirme önerisinin uygun olmadığı anlaşılmış ve yapısal elemanların performansı Şekil 4.44’te gösterilmiştir.



Şekil 4.43: Bina D Dışarıdan BÖÇ ile Güçlendirme (1. Deneme)

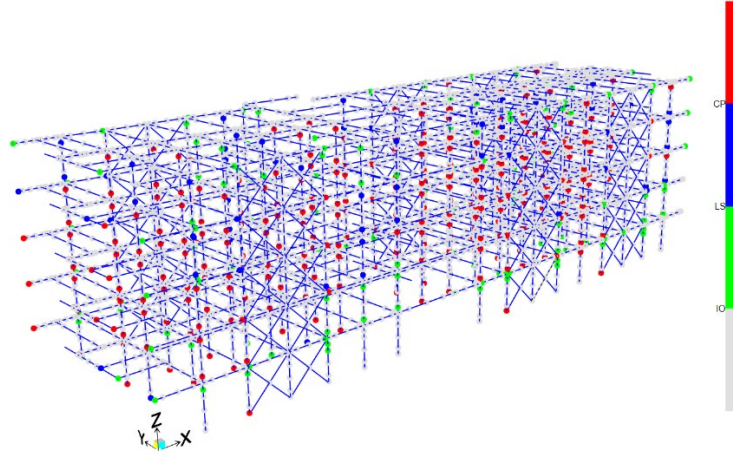


Şekil 4.44: Bina D Dışarıdan BÖÇ ile Güçlendirme Sonrası Yapısal Elemanlar Performans Seviyesi (1. Deneme)



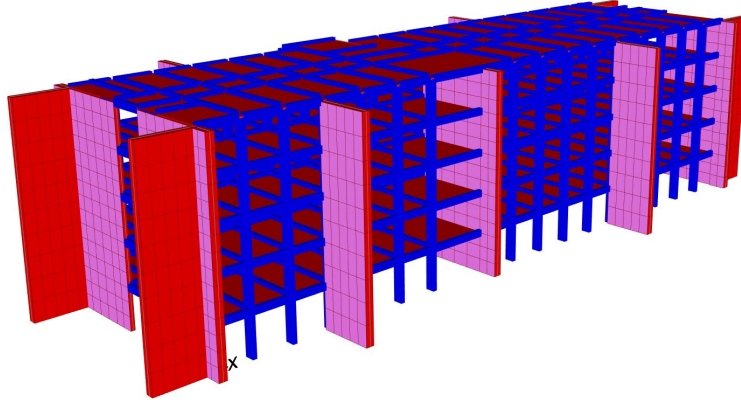
Şekil 4.45: Bina D Dışarıdan Çelik Çapraz ile Güçlendirme (2. Deneme)

Bir diğer güçlendirme önerisi olarak, birinci alternatifte yerleştirilen BÖÇ elemanlar D273/11 kesitli çelik çaprazlar ile değiştirilmiştir fakat bu güçlendirme yöntemiyle de hedef performans seviyesine ulaşamadığı Şekil 4.46'da görülebilmektedir.



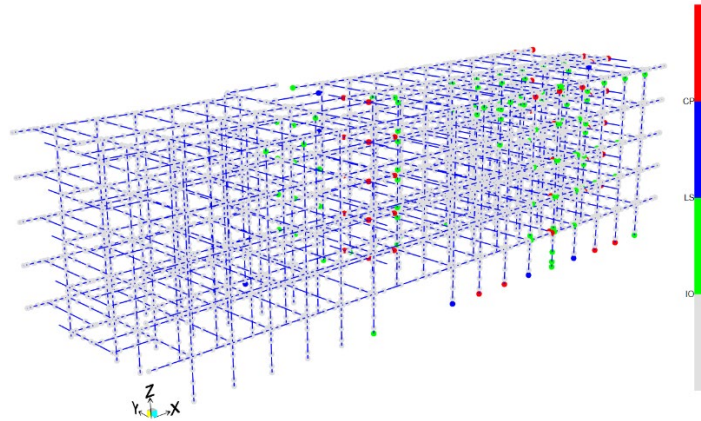
Şekil 4.46: Bina D Dışarıdan Çelik Çapraz ile Güçlendirilen Yapı Performansı (2. Deneme)

Şekil 4.47’de gösterilen güçlendirme önerisinde, önceki önerilerde yer alan mevcut perde mantoları kaldırılmış; bunun yerine, bina dış cephesine perdeler eklenerek yapı rijitliğinin artırılması ve hedef yer değiştirmelerin azaltılması amaçlanmıştır. Buna ek olarak, orta aksta bulunan kolonlara FRP sargı yapılarak şekil değiştirme kapasiteleri artırılmıştır.



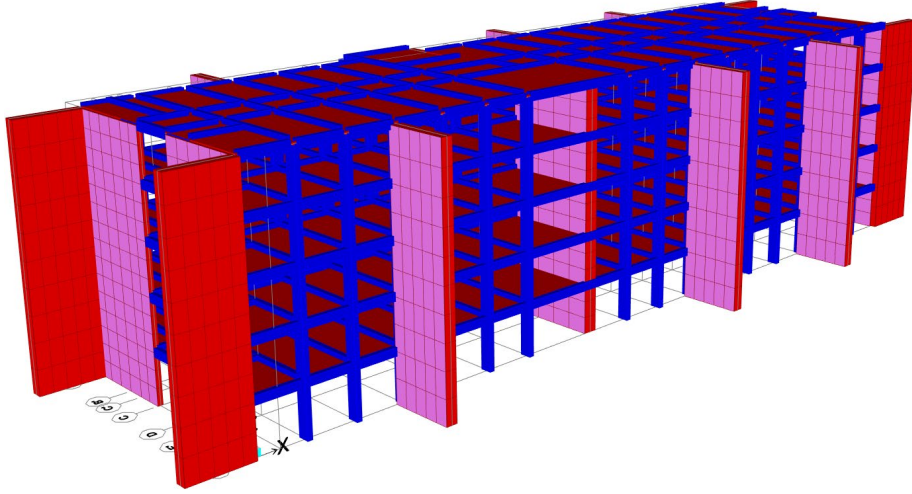
Şekil 4.47: Bina D Dışarıdan Betonarme Perdeler ile Güçlendirme (3. Deneme)

Aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi, hedef performans düzeyi limitlerini sağlamayan kolonlar ve kirişler mevcut olduğundan, bu güçlendirme yönteminin uygun olmadığı görülmüştür.

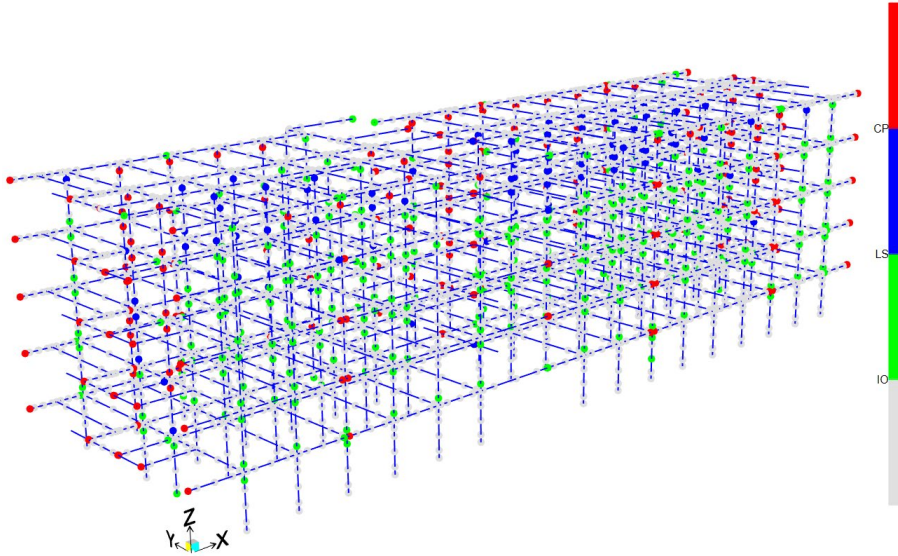


Şekil 4.48: Bina D Dışarıdan Betonarme Perdeler ile Güçlendirme Sonrası Yapısal Elemanların Performans Seviyesi (3. Deneme)

Bir diğer denemede, bir önceki güçlendirme önerisine ek olarak Şekil 4.49'da gösterildiği gibi yapı kısa doğrultusuna paralel bir aksa dışarıdan betonarme perdeler eklenmiş, mevcut perdelerle yapılan modifikasyonlar kaldırılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, bu güçlendirme yöntemiyle de hedef performans düzeyi limitlerinin sağlanamadığı görülmüştür.

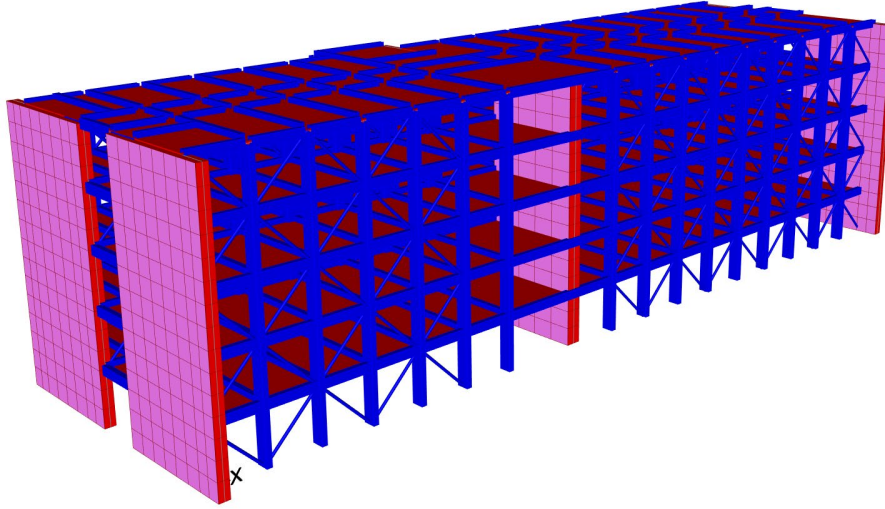


Şekil 4.49: Bina D Dışarıdan Betonarme Perdeler ile Güçlendirme (4. Deneme)

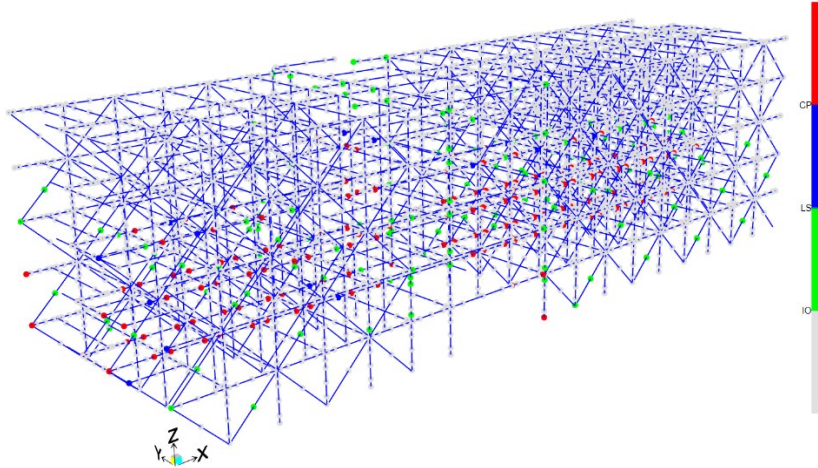


Şekil 4.50: Bina D Dışarıdan Betonarme Perdeler ile Güçlendirme Sonrası Yapısal Elemanların Performans Seviyesi (4. Deneme)

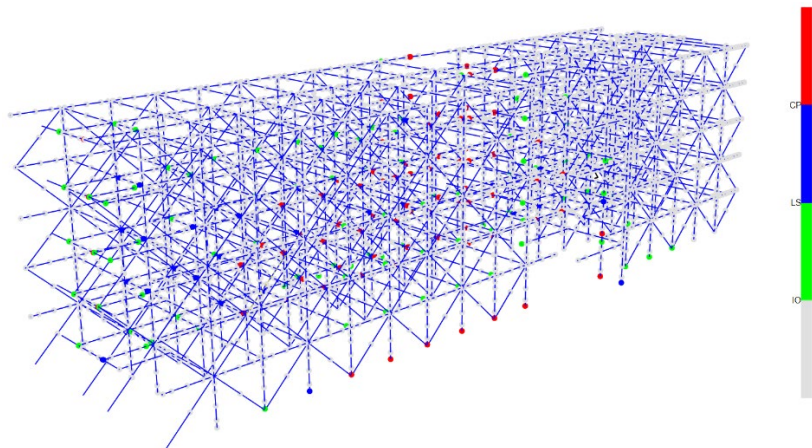
Yukarıda belirtilen güçlendirme önerileri ile mevcut yapı taşıyıcı elemanlarına müdahale edilmeden yapı dışarıdan güçlendirilmek istenmiş fakat mevcut durumdaki zafiyetler de göz önüne alındığında, elemanların aksenal yük ve şekil değiştirme kapasitelerini artırmadan dışarıdan güçlendirmenin mümkün olmadığı anlaşılmıştır. Bu nedenle, bir sonraki güçlendirme önerisi olarak, iç akslardaki kolonlar ve mevcut perdeler mantolanmış, perdelerin boyları ikişer metre uzatılmış ve çelik çaprazlar eklenmiştir. Şekil 4.52 ve Şekil 4.53'te görüldüğü üzere, bu güçlendirme yöntemiyle de hedef performans seviyesine ulaşılamamıştır.



Şekil 4.51: Bina D Çelik Çaprazlar ile Güçlendirme (5. Deneme)

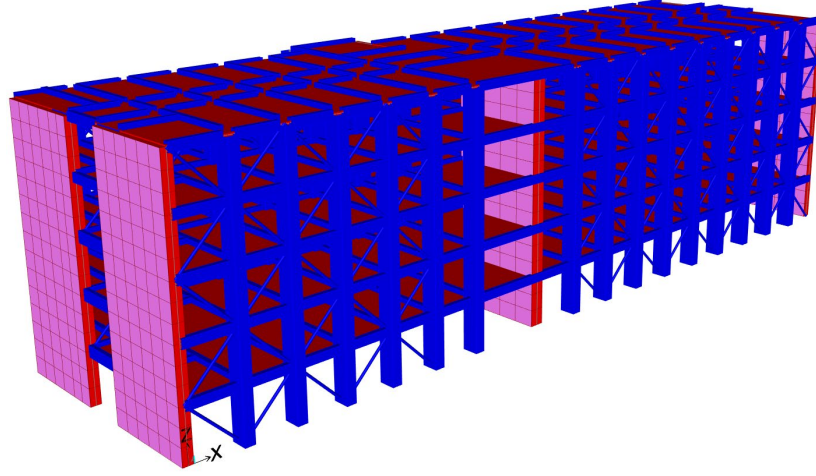


Şekil 4.52: Bina D Çelik Çaprazlar ile Güçlendirilen Yapı Performansı (5. Deneme)

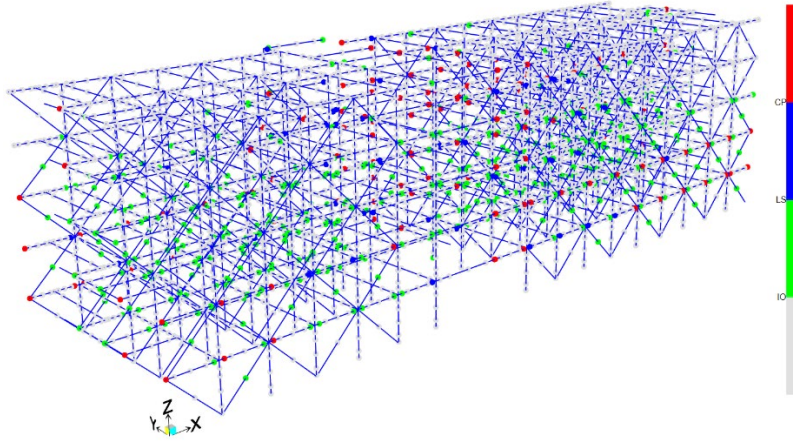


Şekil 4.53: Bina D Çelik Çaprazlar ile Güçlendirilen Yapı Performansı (7. Deneme)

Bu nedenle kenar akslarda bulunan kolonlar da mantolanmış, mevcut perdeler yapılan ekler kaldırılmıştır. Ancak, Şekil 4.55'te görüldüğü üzere, bu durumda da birçok kiriş hedef performans limitlerini sağlayamamıştır.

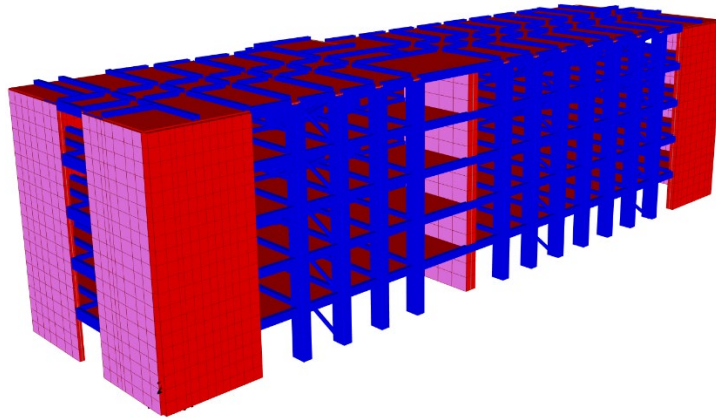


Şekil 4.54: Bina D Çelik Çaprazlar ve Güçlendirilmiş Çerçeve (6. Deneme)

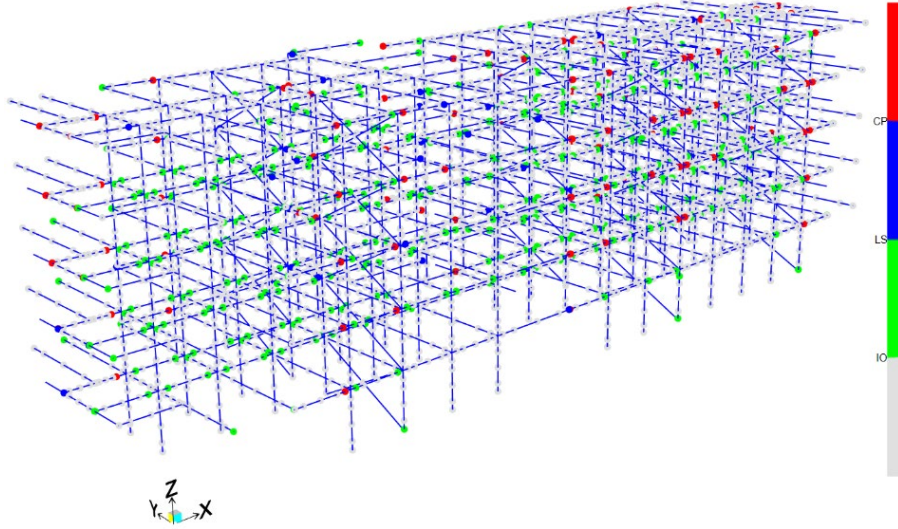


Şekil 4.55: Bina D Çelik Çaprazlar ve Güçlendirilmiş Çerçeve Performansı (6. Deneme)

Bir sonraki güçlendirme önerisi olarak yapı uzun doğrultusundaki çelik çaprazlar yerine betonarme perdelerin eklenmesine karar verilmiştir. Bununla birlikte, 4. kat orta akstaki kirişler de FRP ile sargılanmıştır. Yapı kısa doğrultusunda 3 aksa çelik çaprazlar eklenmiş, mevcut perdelerin mantosu kaldırılmıştır. Kiriş performanslarının hedef performansın altında kalması nedeniyle bu güçlendirme önerisinin uygun olmadığı anlaşılmıştır.

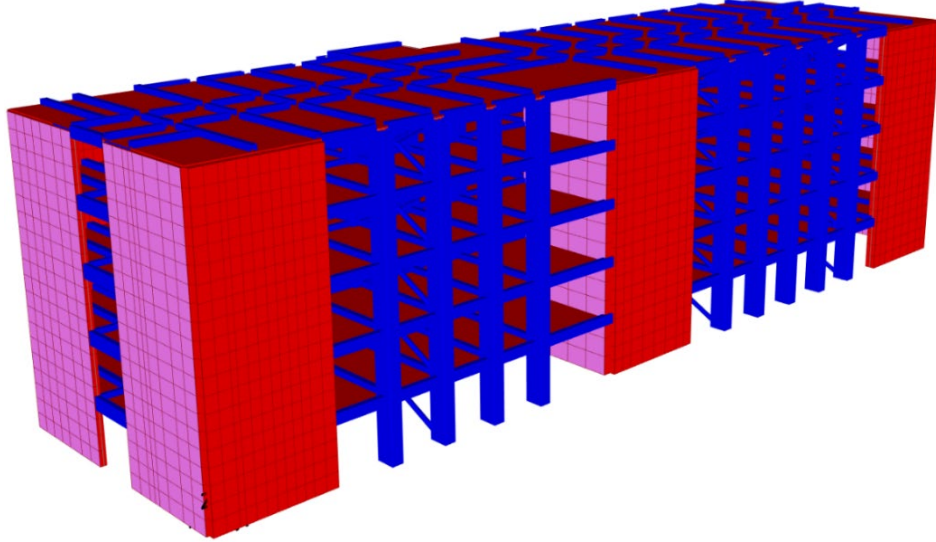


Şekil 4.56: Bina D Betonarme Perdeler, ile Çelik Çaprazlar Eklenmesi ve Güçlendirilmiş Çerçeve (7. Deneme)



Şekil 4.57: Bina D Betonarme Perdeler, ile Çelik Çaprazlar Eklenmesi ve Güçlendirilmiş Çerçeve Durumunda Yapısal Elemanların Performans Seviyesi (7. Deneme)

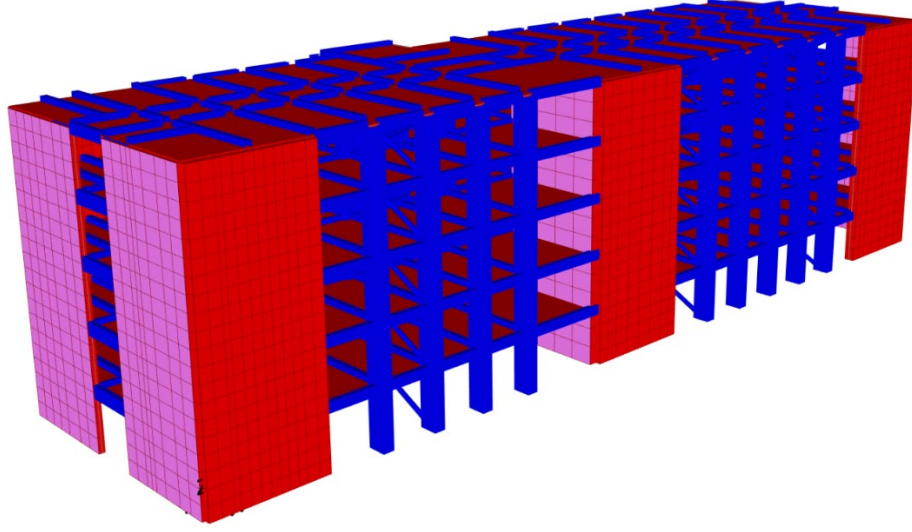
Bu sebeple, bu güçlendirme önerisine ek olarak yapı uzun doğrultusuna bir betonarme perde daha eklenmiştir. Sonuç olarak, mevcut yapı kolonları mantolanmış, yapı uzun doğrultusuna perdeler eklenmiş ve kısa doğrultuda 3 aksa çelik çaprazlar eklenmiştir. Kolon, perde ve çelik çapraz yerleşimleri Şekil 4.60'ta gösterilmiş, kesit bilgileri ise Tablo 4.6'da özetlenmiştir. Bu güçlendirme önerisinde kirişlere müdahale edilmemiştir.



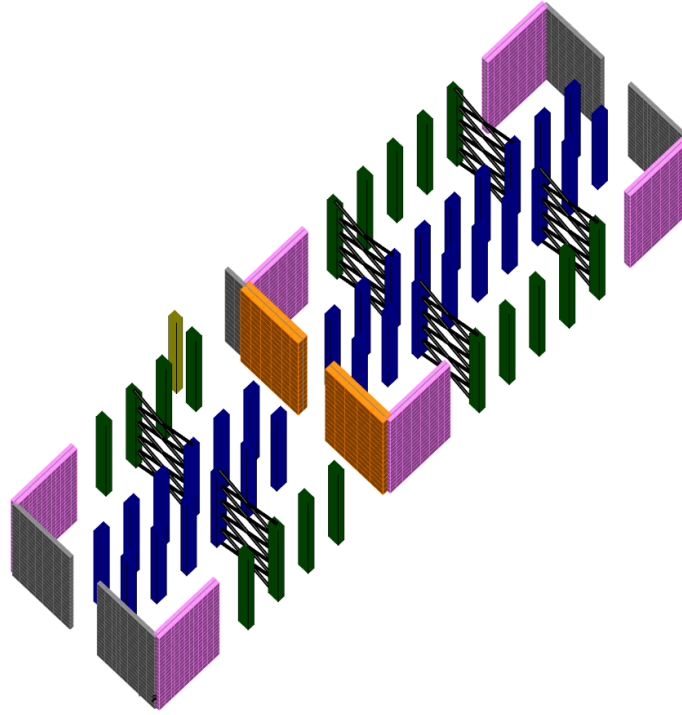
Şekil 4.58: Bina D Betonarme Perdeler, Çelik Çaprazlar ve Güçlendirilmiş Çerçeve (8. Deneme)

4.4.2 Seçilen Güçlendirme Sistemi

Denenen çalışmalardan sonra, yapıya uzun doğrultusunda Şekil 4.59'da gösterildiği gibi perdeler eklenmiş ve kolonları mantolanmıştır. Bununla birlikte, yapı kısa doğrultusunda 3 aksa çelik çaprazlar eklenmiştir. Kolon, perde ve çelik çapraz yerleşimleri Şekil 4.60'ta gösterilmiş, kesit bilgileri Tablo 4.6'da özetlenmiştir. Bu güçlendirme önerisinde kirişlere müdahale edilmemiştir. Mevcut kiriş kesitleri ve yerleşimleri Şekil 4.61'de gösterilmektedir.



Şekil 4.59: Bina D Betonarme Perdeler, Çelik Çaprazlar ve Güçlendirilmiş Çerçeve



Şekil 4.60: Bina D Kolon, Perde ve Çelik Çapraz Yerleşim Planı

Tablo 4.6: Mevcut ve Betonarme ile Sargılanan Kolon Kesitleri

Mevcut Kesitler	Mantolu/Eklenen Kesitler	Renk
C30x50	C60x80	Yellow
C30x70	C60x100	Green
C70x30	C100x60	Blue
W30	-	Grey
2*W30	W90	Orange
-	W60	Pink
-	D273/11	Black

Yapıya eklenen perdelerin döşemeye, kirişe ve temele uygun bir şekilde ankrajlanması gerekir. Bunun için doğru hesaplamalar yapılmalı ve yapılan hesaplamalara uygun detay tasarımları oluşturulmalıdır.

Çelik çaprazların betonarme elemanlarla birleşimlerinin kapasite korumalı tasarlanması gerekmektedir. Bu nedenle, ankraj dayanımlarının bu değerleri sağladığından emin olunmalıdır.

Dışarıdan eklenen çelik kulelerin yapıya bağlantısı uygun bir şekilde yapılmalıdır. Kolon, kiriş veya döşemeler üzerinden doğru yük aktarımı için bağlantı detaylarına gereken önem verilmelidir.

Yeni inşa edilen çelik kuleler için bina dışında belirli bir alan gerekmektedir. Buralara yapılacak olan çelik kule temelleri, analiz sonuçlarından elde edilen kuvvetlere uygun olarak tasarlanmalı, stabilite kontrolleri doğru bir şekilde yapılmalı ve temel kaynaklı dönmelere mümkün olduğunca izin verilmemelidir. Rijit kulelerin temele ankraj detayları uygun bir şekilde oluşturulmalıdır. Rijit kule temelleri bina temelinden bağımsız bir şekilde yapılabilmekle birlikte bu durumda deprem yükleri altında temellerin farklı yatay yer değiştirme yapmayacağından emin olunması gerekmektedir.

4.6 Bakım Gereksinimleri

Genel anlamda betonarme elemanların bakım gereksinimleri oldukça düşük olmakla birlikte herhangi bir elemanda beton örtüsünün dökülmesi halinde, donatı korozyonuna karşı ilgili kısım onarılmalıdır. Dış etkenlere maruz kalabilecek bölgelerde gerekli yalıtımlar yapılmalıdır. Bunların haricinde, yapı deprem hareketine maruz kalırsa, deprem sonrası taşıyıcı elemanların ve birleşimlerin hasar durumu kontrol edilmeli ve değerlendirilmelidir.

Çelik çaprazların korozyon riski yüksek olduğundan koruyucu boya veya galvaniz kaplamayla korozyona karşı önlem alınmalı ve bu kaplamaların periyodik kontrolleri yapılmalıdır. Bulonlu birleşimlerin periyodik tork kontrolleri yapılmalı, yangına karşı yapılan koruma uygulamaları belirli aralıklarla kontrol edilmelidir.

4.7 Diğer Afetlere ve İklim Değişikliğine Karşı Dayanıklılığı

Sel felaketi sonucu, betonarme elemanlar sürekli neme/suya maruz kalırsa bu durum donatılarda korozyona sebebiyet verebilir. Çelik elemanlar suya/neme karşı daha duyarlı olduklarından, korozyonu önlemek için koruyucu boyalar ve kaplamalar yapılmalıdır.

Betonarme elemanlar çelik elemanlara göre yangına daha karşı dayanıklıdır. Çelik çaprazlar uygun koruyucu kaplamalarla yangına karşı dirençli hale getirilmelidir.

4.8 Güçlendirmenin Temel Sistemine Etkisi

Yapılan güçlendirmelerle birlikte temelde oluşan taleplerin artması nedeniyle mevcut temellerin güçlendirilmesi gerekebilmektedir. Temel güçlendirme uygulamaları genellikle en kritik ve uygulaması en maliyetli bölümlerden biridir. Temel güçlendirmeleri, üst yapıda uygulanan güçlendirmelerin etkinliği ve dolayısıyla da yapı performansı için oldukça önem arz etmektedir.

Yapıya eklenen çelik çaprazlar ve betonarme perdeler, yüksek taşıma kapasitesi gerektirmektedir. Mevcut temelin taşıma kapasitesinin yetersiz olması durumunda temelin güçlendirilmesi kaçınılmazdır. Aksi halde, eklenen çelik çaprazlar ve betonarme perdeler



etkin bir şekilde çalışmayacak ve analiz edilen model ile uygulanan güçlendirme tutarsız olacaktır.

Temel güçlendirmesi gerekiyorsa, eklenen temellerin eski temeller ile birlikte çalışması garanti edilmelidir. Ters bir durumda yapıda rijitlik ve oturma farkları oluşabilir. Bu nedenle, temellerin birbirleri ile bağlantısına gereken önemin verilmesi gerekmektedir.

Yapıya eklenen çelik kuleler için bağımsız temeller yapılmalıdır. Yapılan yeni temellerin eski temellerle etkileşimi göz ardı edilmemelidir.

Bununla birlikte, güçlendirme sonucu artan deprem yükleri nedeniyle zemin taşıma gücü yetersiz kalabilir. Bu durumda, zemin iyileştirme yöntemlerine başvurulup, oluşan ek talepleri karşılayacak şekilde zemin iyileştirmesi yapılmalıdır.

4.9 Güçlendirme Sırasında Alınması Gerekli Tedbirler

Yapıya çelik çapraz eklenmesi ve mevcut kolonların betonarme ile sarılması tahribatlı bir güçlendirme uygulamasıdır. Özellikle paspayı sıyırma, ankrajların eklenmesi ve birleşim noktalarındaki ilave beton-çelik bağlantılarının teşkil edilmesi sırasında bina sakinlerinin rahatsız olması muhtemeldir. Ancak çalışma saatlerinin uygun olarak düzenlenmesi durumunda bu risk minimize edilebilir. Teorik olarak binanın kullanılırken bu güçlendirmelerin yapılması mümkün görünse de uygulamada özellikle güçlendirilecek bölgelere malzeme intikali ve yapım esnasında verilecek rahatsızlık da değerlendirildiğinde güçlendirmelerin binanın kullanımda olmadığı dönemde yapılması tercih edilecektir.

Yapıya dışarıdan çelik kulelerin eklenmesi ile güçlendirme esnasında yapının kullanılmaması gerekebilir. Ancak rijit kuleler yardımı ile güçlendirmenin büyük kısmı bina dışından yapıldığından binanın kullanımına etkisi sınırlı olacak, bölgesel çalışmalarla bu etki daha da azaltılabilecektir.

Ek olarak, temel güçlendirmesinde yapılan kazı işleri aşamasında, yapı uygun bir şekilde desteklenmediği takdirde oturma, çatlama ve bölgesel göçmeler meydana gelebilir. Bu nedenle, yapıda yürütülen faaliyetlerin durması veya başka bir yapıya taşınması gerekecektir.



5. Sönümleyici ile Güçlendirmeler

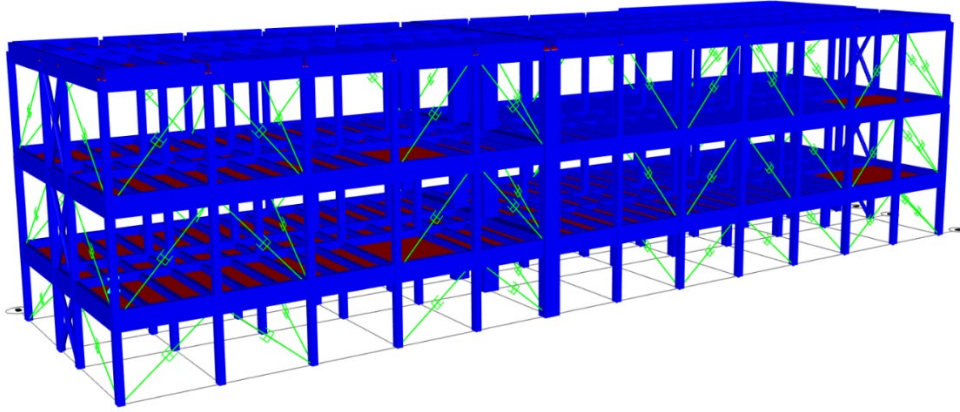
5.1 Bina A

5.1.1 Güçlendirme Tasarımı için Denenen Çalışmalar

Sönümleyici cihazlar kullanılarak denenen fakat performans limitlerini sağlamayan güçlendirme çalışmaları aşağıda sırasıyla açıklanmıştır.

1. Deneme

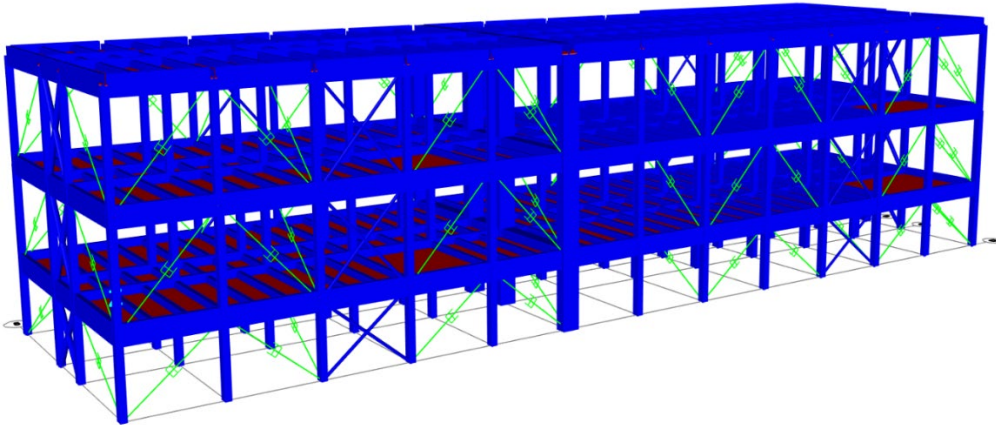
Bu güçlendirme denemesinde, sönümleyici sayıları ve yerleri mimari plana göre belirlenmiş ve buna göre sönümleyici özellikleri seçilmiştir. Yapının mevcut halinin analizlerinde yapıldığı gibi, dilatasyon aksındaki taşıyıcı elemanlar mantolanıp birleştirilmiştir. Diğer kolonlar FRP ile sargılanmıştır. Ek olarak, 1. kat kirişlerinin performanslarının yetersiz olduğu görülmüş ve bu kirişler de FRP ile sargılanmıştır.



Şekil 5.1: Bina A Sönümleyici Cihaz ile Güçlendirilmiş Yapı Modeli 3D Görüntüsü (1. Deneme)

2. Deneme

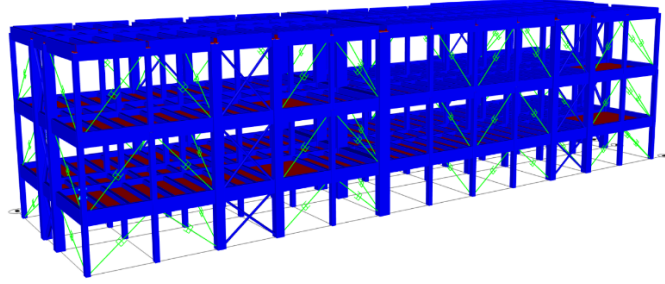
Yapı rijitliğinin yetersiz olması sebebiyle sönümleyici cihazlar dışında, **1. Deneme**'den farklı olarak yapıya uzun doğrultuda çelik çaprazlar eklenmiş ve yapının yeni taleplerine ve karakteristik özelliklerine göre sönümleyici cihaz özellikleri belirlenmiştir.



Şekil 5.2: Bina A Sönümleyici Cihaz ile Güçlendirilmiş Yapı Modeli 3D Görüntüsü (2. Deneme)

3. Deneme

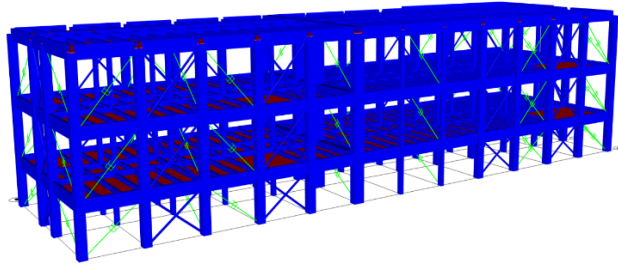
Bu denemede **2. Deneme**'de bulunan çelik çaprazların boyutları artırılmış ve bu çaprazların bağlandığı kolonlar mantolanmıştır.



Şekil 5.3: Bina A Sönümleyici Cihaz ile Güçlendirilmiş Yapı Modeli 3D Görüntüsü (3. Deneme)

4. Deneme

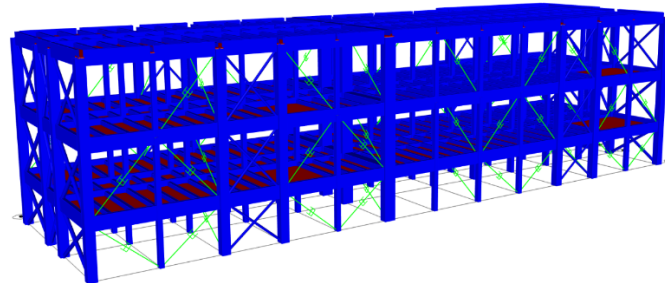
Bu denemede **3. Deneme**'de bulunan bazı sönümleyici cihazlar çelik çaprazlar ile değiştirilmiştir. Ayrıca, bu çaprazların ve uzun doğrultudaki sönümleyici cihazların bağlandığı kolonlar da mantolanmıştır.



Şekil 5.4: Bina A Sönümleyici Cihaz ile Güçlendirilmiş Yapı Modeli 3D Görüntüsü (4. Deneme)

5. Deneme

Bu denemede 4. Deneme'de bulunan çelik çapraz sayısı azaltılıp sönümleyici cihazlar ile değiştirilmiştir. Buna karşılık, yapı kısa doğrultusu en dış akslarındaki tüm açıklıklara çelik çaprazlar eklenmiştir.

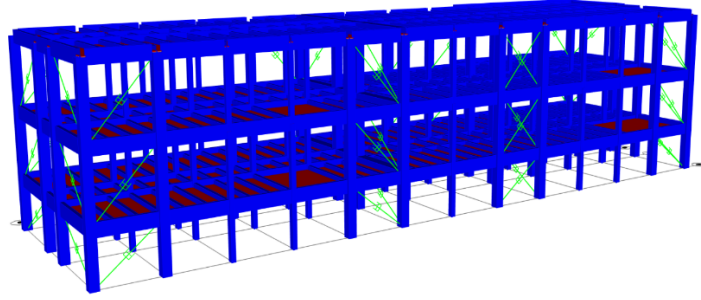


Şekil 5.5: Bina A Sönümleyici Cihaz ile Güçlendirilmiş Yapı Modeli 3D Görüntüsü (5. Deneme)

Bu güçlendirme yöntemiyle hedef performans limitleri sağlanmıştır. Fakat seçilen FRP kat sayıları hem kolonlar hem kirişler için pratikte uygulanabilir kat sayılarının üzerindedir. Bu nedenle, bu güçlendirme önerisinin hedef değerleri sağlasa da gerçekçi olmadığı söylenebilir.

6. Deneme

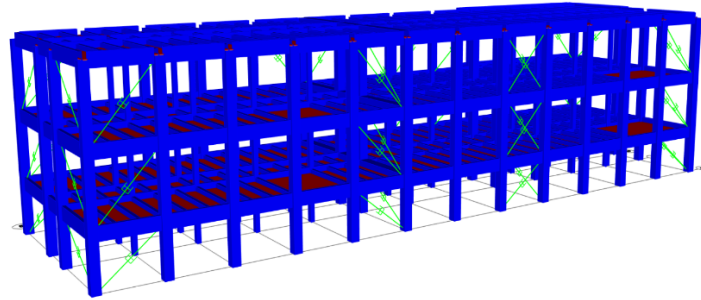
Bu güçlendirme denemesinde yapı mevcut durumuna sönümleyici cihazlar eklenmiş ve sönümleyici cihazların bağlandığı kolonlar mantolanmıştır. Kirişlere herhangi bir müdahalede bulunulmamıştır.



Şekil 5.6: Bina A Sönümleyici Cihaz ile Güçlendirilmiş Yapı Modeli 3D Görüntüsü (6. Deneme)

7. Deneme

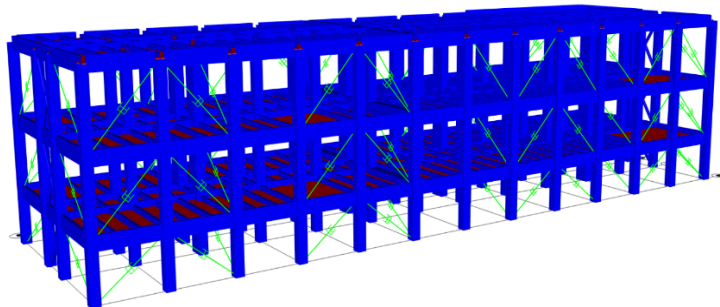
Bu güçlendirme denemesinde yapıya sönümleyici cihazlar eklenmiş ve dış akslardaki kolonlar mantolanmıştır. Kirişlere herhangi bir müdahalede bulunulmamıştır.



Şekil 5.7: Bina A Sönümleyici Cihaz ile Güçlendirilmiş Yapı Modeli 3D Görüntüsü (7. Deneme)

8. Deneme

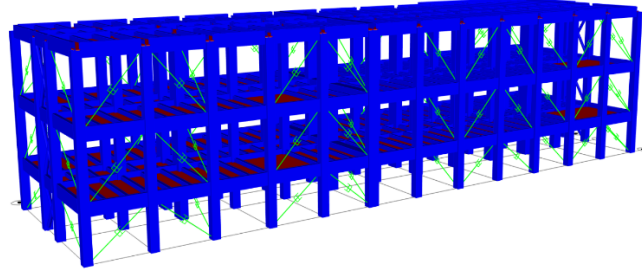
Bu güçlendirme denemesinde, her iki doğrultuda, eklenen sönümleyici cihaz sayıları artırılmıştır. Bununla birlikte yapıda bulunan tüm kolonlar mantolanmıştır. Kirişlere herhangi bir müdahalede bulunulmamıştır.



Şekil 5.8: Bina A Sönümleyici Cihaz ile Güçlendirilmiş Yapı Modeli 3D Görüntüsü (8. Deneme)

9. Deneme

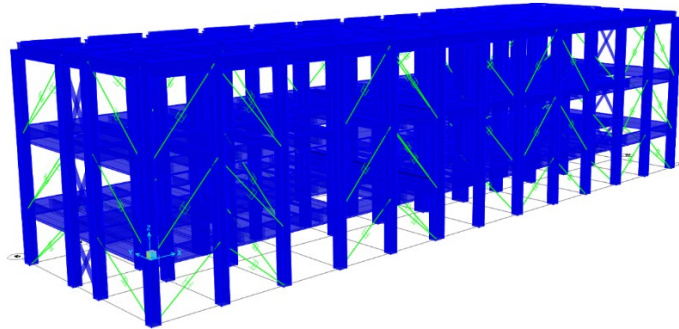
Bu güçlendirme denemesinde, sönümleyici sayıları bir önceki denemeye kıyasla sabit tutulmuştur. Önceki denemeden farklı olarak dilatasyon aksındaki kolon boyutları artırılmıştır. Ek olarak, analiz sonuçlarında 1. ve 2. kat kirişlerinin performanslarının yetersiz olduğu görülmüş, bu kirişler FRP ile sargılanmıştır.



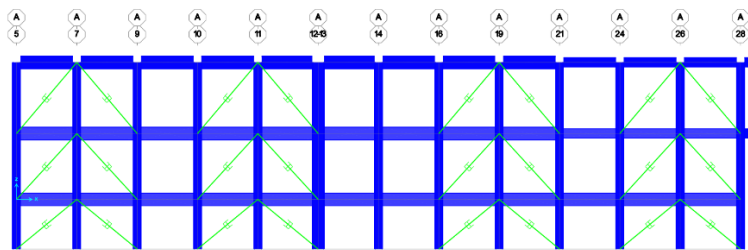
Şekil 5.9 Bina A Sönümleyici Cihaz ile Güçlendirilmiş Yapı Modeli 3D Görüntüsü (9. Deneme)

5.1.2 Seçilen Güçlendirme Sistemi

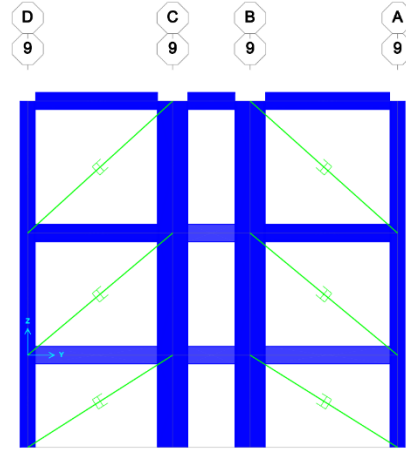
Sönümleyici cihazlar ile güçlendirme yöntemi olarak, yapının mevcut halinin analizlerinde yapıldığı gibi, dilatasyon aksındaki taşıyıcı elemanlar mantolanıp birleştirilmiştir. Bununla birlikte, yapının rijitliğini artırmak ve hedeflenen performans düzeyini sağlamak için yapıda bulunan bütün kolonlar betonarme sargı ile güçlendirilmiştir. Birinci ve ikinci kat kirişleri, gerekli kat sayısı hesaplanarak şekil değiştirme taleplerini karşılayacak şekilde FRP ile güçlendirilmiştir. Dilatasyon aksındaki 25x70 cm boyutlarındaki kirişler, 80x100 cm olacak şekilde birleştirilip mantolanmıştır. Şekil 5.10, Şekil 5.11 ve Şekil 5.12’de ilgili güçlendirme tavsiyesi için oluşturulan model görüntüleri verilmiştir. Betonarme ile sargılanan kolon kesitlerinin, çelik çaprazların ve sönümleyici cihazların yerleşimleri Şekil 5.13’te gösterilmektedir. Çelik çaprazlar D273/10 boru kesit olarak teşkil edilmiştir.



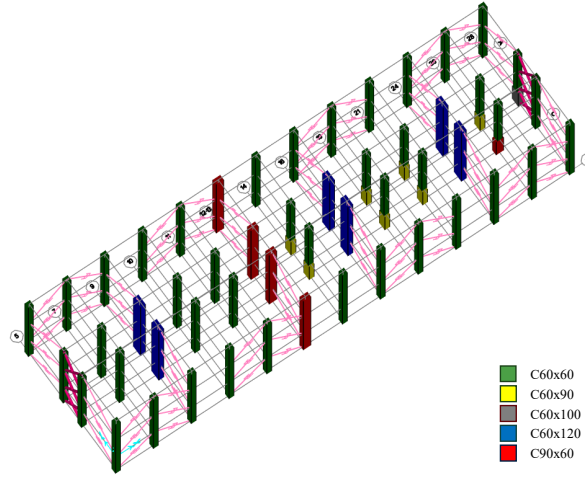
Şekil 5.10: Bina A Sönümleyici Cihazlar ve Güçlendirilmiş Çerçeve Sistem 3D Görüntüsü



Şekil 5.11: Bina A Sönümleyici Cihaz ile Güçlendirilmiş Yapı X-Z Kesiti



Şekil 5.12: Bina A Sönümleyici Cihaz ile Güçlendirilmiş Yapı Y-Z Kesiti



Şekil 5.13: Bina A Sönümleyici Cihaz ile Güçlendirilmiş Yapı Mantolu Kolon ve Sönümleyici Cihaz Yerleşimi

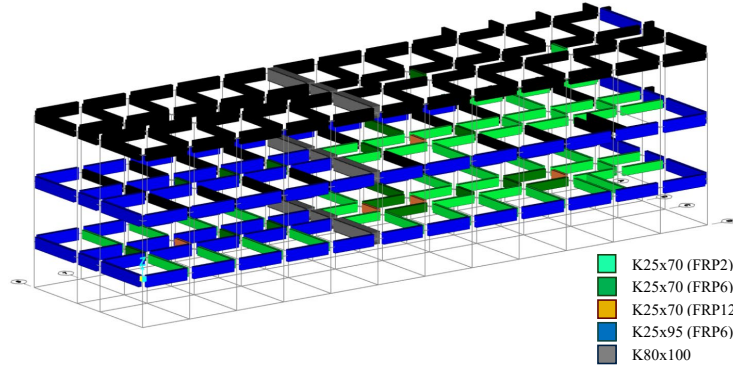
Tablo 5.1: Mantolanan Kolon Kesitleri

Mevcut Kesitler	Mantolu Kesitler
30x30/30x40/40x30	60x60
30x60	60x90
30x70	60x100
30x30/30x40/30x60	60x120
2*30x40 (Dilatasyon Aksı)	90x60

Şekil 5.14 FRP ile sargılanan ve dilatasyon aksında mantolanan kirişleri göstermektedir. Şekil 5.14'te FRP ile sargılandığı belirtilen kesit açıklamalarında, FRP yanında yer alan sayılar hesaplanan FRP sargı katman sayısını tarif etmektedir. Yapılan sargı katman sayısı hesaplamalarında uygulamada karşılaşılabilecek sorunlar dikkate alınmamıştır. Bununla birlikte, TBDY 2018 Ek 15B.3'e göre, FRP sargı ile kesit sünekliğinin artırılması için kesitin uzun boyutunun kısa boyutuna oranının iki buçuktan az olması gerekmektedir. İlgili koşul 25x95 cm kirişler için dikkate alınmamıştır.

Üretici kataloglarına göre, bu çalışmada bulunan FRP katman sayıları uygun gibi görünse de, FRP çalışma etkinliği ve uygulamada karşılaşılabilecek sorunlar göz önüne alındığında,

uygulamada tercih edilen FRP katman sayısının genellikle 3-4 kat mertebelerinde olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, burada bulunan FRP katman sayıları teorik değerler olup, uygulama aşaması dikkate alınmadan hesaplanan değerlerdir.



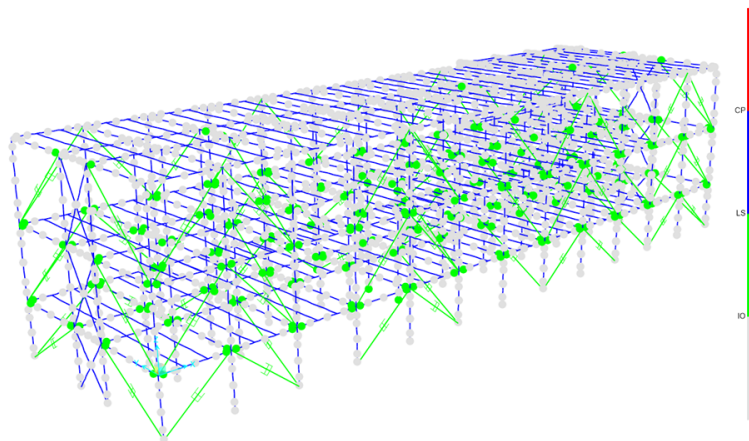
Şekil 5.14: Bina A FRP ile Salgılanan ve Dilatasyon Aksında Mantolanan Kirişler

5.1.3 Seçilen Güçlendirme Yönteminin Binanın Performansına Etkisi

Tavsiye edilen güçlendirme yönteminin uygunluğu ve yapıda oluşacak taban kesme kuvvetlerinin sınırlandırılması amacıyla, yapının hedef ötelemesi ortalama %0.6 olarak belirlenmiştir.

Sönümleyici cihaz sayıları ve yerleşim planlarına yapı mimari planı dikkate alınarak karar verilmiştir. Kolonların mantolanması ve çelik çaprazların yerleştirilmesiyle birlikte, güçlendirilmiş yapı davranışı göz önünde bulundurularak, belirlenen sayı için sönümleyici cihazların model özellikleri hesaplanmıştır. Yapının hedeflenen "Kontrollü Hasar" performans düzeyine ulaşması için gerçekleştirilen iteratif analizler sonucunda, her kat için gerekli sönümleyici cihaz adedi ve optimum yerleşim planı belirlenmiştir.

Statik itme ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerle hem mevcut durum hem de güçlendirme sonrası yapının kat ötelemeleri, taban kesme kuvvetleri ve modal analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlara göre, güçlendirme sonrası yapının hem X hem de Y doğrultusunda rijitliği ve dayanımının anlamlı ölçüde arttığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, sönümleyici cihazlar ile yapılan güçlendirme, yapının deprem performansını iyileştirmiş ve TBDY 2018 performans hedeflerine ulaşılması sağlanmıştır.

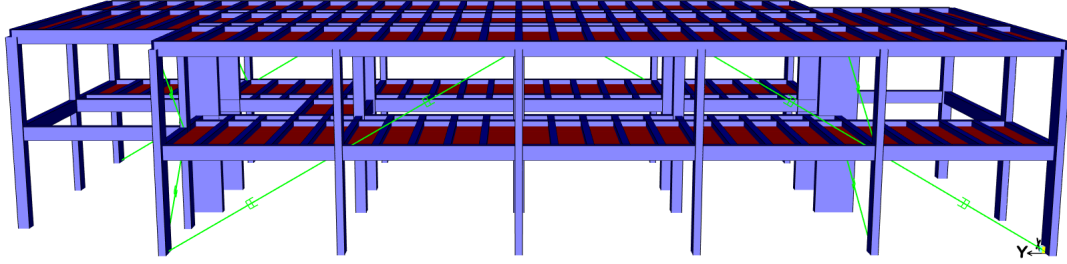


Şekil 5.15: Bina A Sönümleyici ile Güçlendirilmiş Yapı Performansı

5.2 B Blok Binası

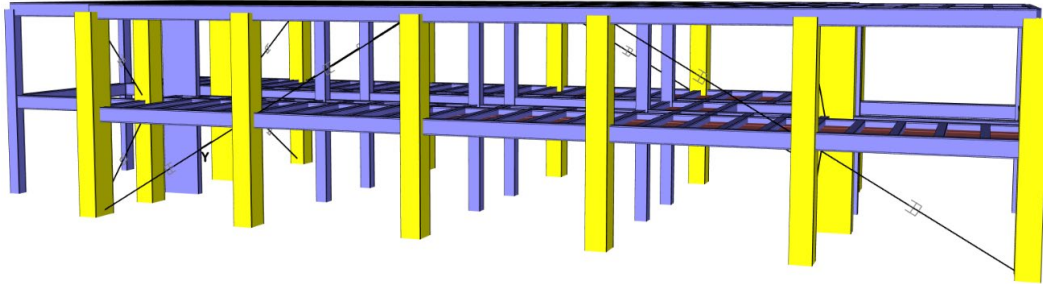
5.2.1 Güçlendirme Tasarımı için Denenen Çalışmalar

Sönümleyici cihazlar kullanılarak yapılan ilk güçlendirme önerisinde mevcut yapı elemanlarına müdahale etmeden sönümleyici cihaz ön tasarımı yapılarak mevcut yapıya eklenmiştir. Bu güçlendirme önerisi, rijitlik eksikliği dolayısıyla hedef performans limitlerini sağlamamaktadır.



Şekil 5.16: Bina B Sönümleyici Cihaz ile Güçlendirilmiş Yapı (1. Deneme)

Bu nedenle, sönümleyici cihazların bağlandığı kolonlar mantolanarak, sönümleyici cihazlardan kaynaklı bölgesel etkiler azaltılmış, elemanların şekil değiştirme kapasiteleri ve yapının rijitliği artırılmıştır. Güçlendirilmiş modele göre sönümleyici cihaz ön tasarımı tekrardan yapıp hedef performans seviyesine ulaşılmıştır.

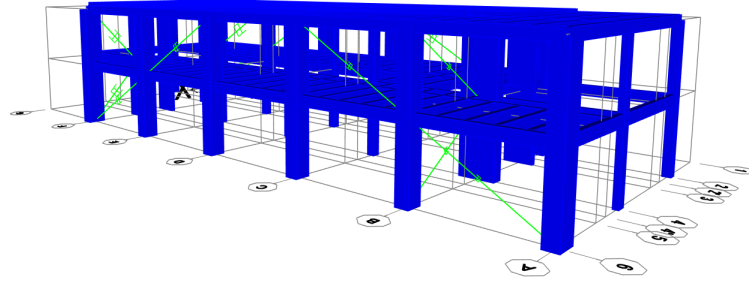


Şekil 5.17: Bina B Sönümleyici Cihaz ile Güçlendirilmiş Yapı (2. Deneme)

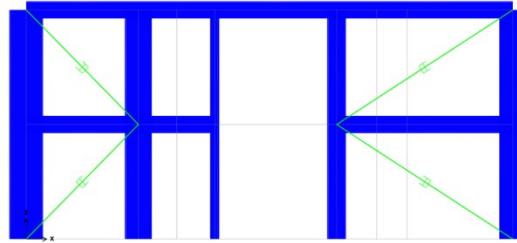
5.2.2 Seçilen Güçlendirme Sistemi

Mevcut yapı rijitliği az olduğu için, bulunan hedef yer değiştirmeler için belirlenen performans hedefi düzeyi koşulları sağlanamamaktadır. Ek olarak, kapasite tasarımının “güçlü kolon-zayıf kiriş” prensibi sağlanamamakta ve kolonların kirişlerden önce plastikleşerek zayıf kat (kat mekanizması) oluşumuna sebep olduğu görülmüştür. Bu sebeple, yapıya her iki katta her iki doğrultuda sönümleyici cihazlar yerleştirilerek yer değiştirme taleplerinin düşürülmesi amaçlanmıştır. Sönümleyici cihazların bağlandığı kolonlar mantolanarak hem yapı rijitliği artırılmış hem de sönümleyici cihaz bağlantıları sebebiyle artan lokal talepler karşılanmak istenmiştir.

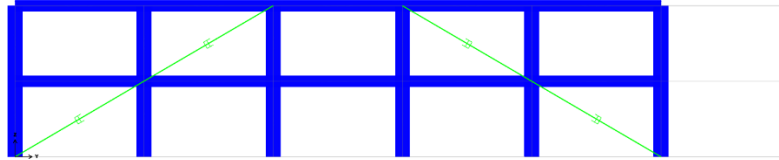
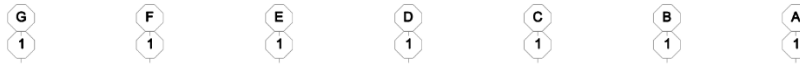
Şekil 5.18, Şekil 5.19 ve Şekil 5.20 sönümleyici cihazlar ile güçlendirilmiş yapının üç boyutlu modelini ve kesitlerini göstermektedir.



Şekil 5.18: Bina B Sönümleyici Cihaz ile Güçlendirilmiş Yapı Modeli 3D Görüntüsü

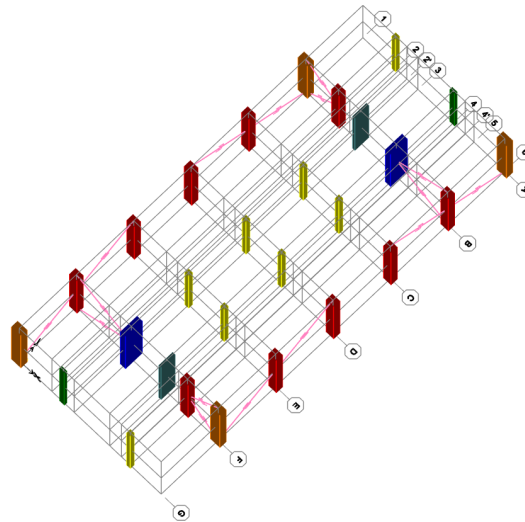


Şekil 5.19: Bina B Sönümleyici Cihaz ile Güçlendirilmiş Yapı X-Z Kesiti



Şekil 5.20: Bina B Sönümleyici Cihaz ile Güçlendirilmiş Yapı Y-Z Kesiti

Mevcut ve betonarme ile sargılanan kolon kesitlerinin ve sönümleyici cihazların yerleşimleri Şekil 5.21'de gösterilmiş, Tablo 5.2'de özetlenmiştir.



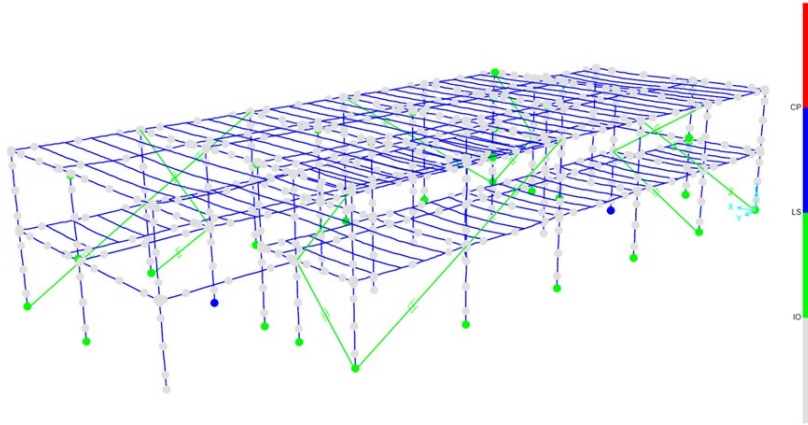
Şekil 5.21: Bina B Sönümleyici Cihaz ile Güçlendirilmiş Yapı Mantolu Kolon ve Sönümleyici Cihaz Yerleşimleri

Tablo 5.2: Mevcut ve Sargılı Kolon Kesitleri

Mevcut Kesitler	Mantolu Kesitler	Renk
C25x145	-	Grey
C40x40	-	Yellow
C50x25	-	Green
C25x145	C55x175	Blue
C50x25	C80x65	Red
C70x25	C100x65	Orange

5.2.3 Seçilen Güçlendirme Yönteminin Binanın Performansına Etkisi

Sönümleyici cihaz sayıları ve yerleşim planlarına yapı mimari planı dikkate alınarak karar verilmiştir. Kolonların mantolanmasıyla birlikte, güçlendirilmiş yapı davranışı göz önünde bulundurularak, belirlenen sayı için sönümleyici cihazların model özellikleri hesaplanmıştır. Yapının hedeflenen "Kontrollü Hasar" performans düzeyine ulaşması için gerçekleştirilen iteratif analizler sonucunda, her kat için gerekli sönümleyici cihaz adedi ve optimum yerleşim planı belirlenmiştir. Statik itme ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerle hem mevcut durum hem de güçlendirme sonrası yapının kat ötelemeleri, taban kesme kuvvetleri ve modal analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlara göre, güçlendirme sonrası yapının hem X hem de Y doğrultusunda rijitliğinin ve dayanımının anlamlı ölçüde arttığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, sönümleyici cihazlar ile yapılan güçlendirme, yapının deprem performansını iyileştirmiş ve TBDY 2018 performans hedeflerine ulaşmasını sağlamıştır.

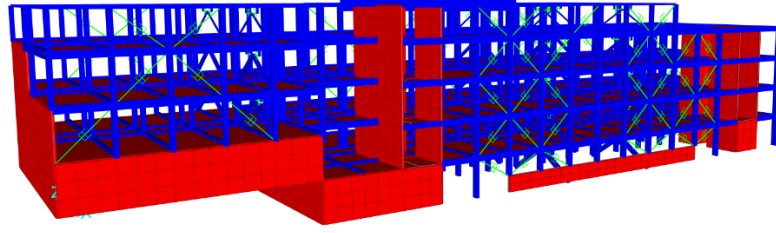


Şekil 5.22: Bina B Sönümleyici Cihazlar ile Güçlendirilmiş Yapı Performansı

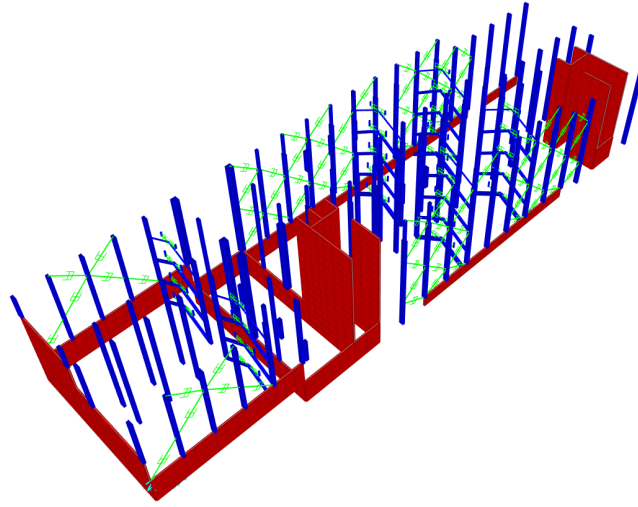
5.3 Bina C

5.3.1 Güçlendirme Tasarımı için Denenen Çalışmalar

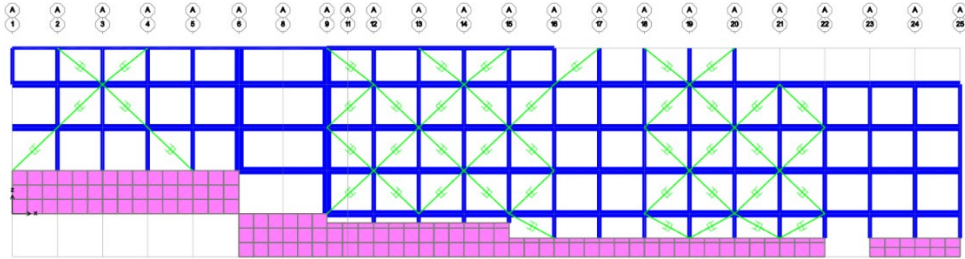
İlk güçlendirme önerisi olarak, yapı mevcut halinin uygun açıklıklarına sönümleyici cihazlar eklenmiş ve analizler yapılmıştır. Şekil 5.23, Şekil 5.24, Şekil 5.25 ve Şekil 5.26'da ilgili güçlendirme tavsiyesi için oluşturulan model görüntüleri verilmiştir. Şekil 5.26'da görüldüğü üzere, sönümleyici verimliliğini artırmak için kiriş bağlantılı 'Modified Chevron' olarak adlandırılan düzende sönümleyici cihaz yerleşimleri yapılmıştır.



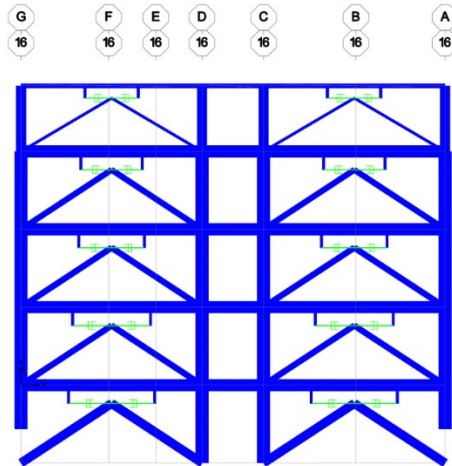
Şekil 5.23: Bina C Sönümleyici Cihazlar ile Güçlendirilen Yapı (1. Deneme)



Şekil 5.24: Bina C Sönümleyici Cihaz Yerleşimi (1. Deneme)

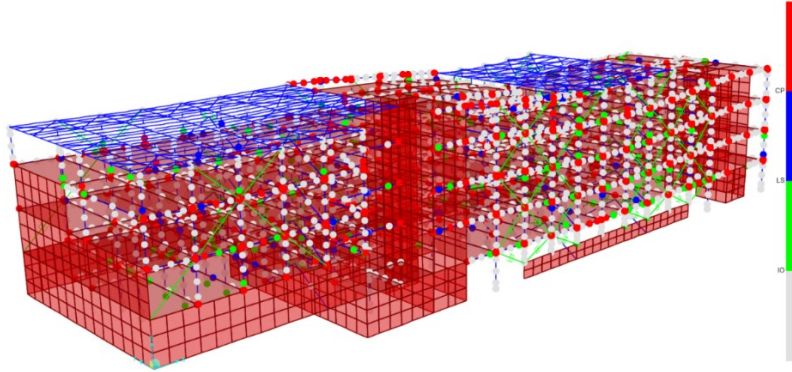


Şekil 5.25: Bina C Sönümleyici Cihaz ile Güçlendirilmiş Yapı A Aksı X-Z Kesiti (1. Deneme)



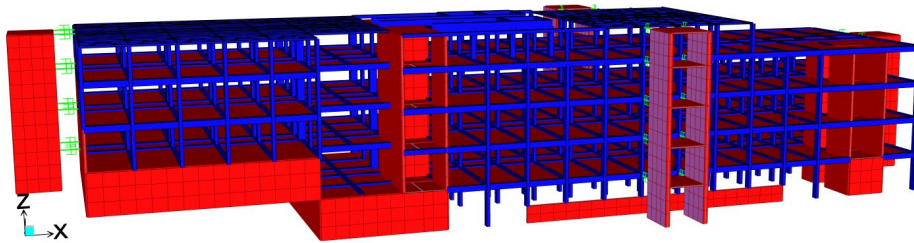
Şekil 5.26: Bina C Sönümleyici Cihaz ile Güçlendirilmiş Yapı Y-Z Kesiti 16 Aksı (1. Deneme)

Denenen bu güçlendirme yöntemiyle yapının performansı, hedef performans düzeyi sınırlarını sağlayamamıştır. Bu nedenle bu alternatifi uygun bir alternatif olmadığı görülmüş, analiz sonuçları Şekil 5.27’de gösterilmiştir.

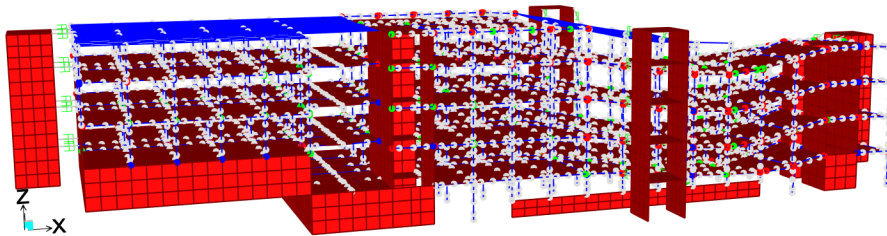


Şekil 5.27: Bina C Sönümleyici Cihaz ile Güçlendirilme Sonrası Yapısal Elemanların Performans Seviyesi (1. Deneme)

Bir sonraki deneme için yapıya dışarıdan betonarme perdeler eklenmiş ve her kat seviyesinde eklenen betonarme perdeler ile bina arasına sönümleyici cihazlar yerleştirilmiştir. Yapı mevcut elemanlarına müdahalede bulunulmamıştır. Bu güçlendirme yönteminin analiz sonuçlarına göre, sönümleyici cihazların etkili bir şekilde çalışıp yapı rijitliğini ve sönüm oranını artırması için, binanın dışına eklenen perdelerin çok daha rijit olması gerektiği anlaşılmıştır. Ekonomik bir çözüm olmayacağı anlaşıldığından bu güçlendirme yönteminden vazgeçilmiştir.

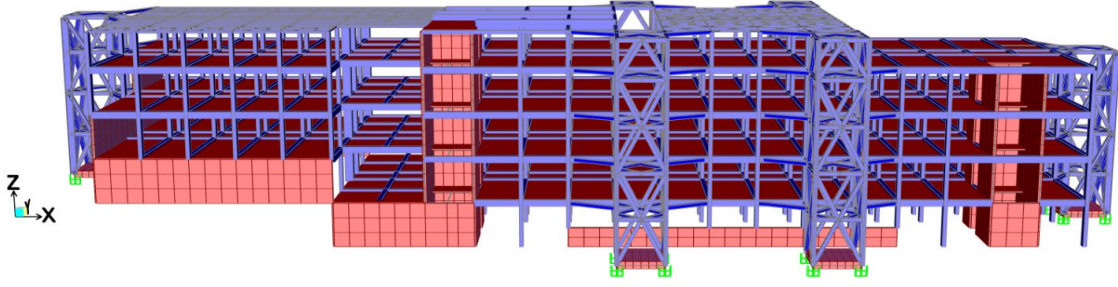


Şekil 5.28: Bina C Dışarıdan Betonarme Perdeler ve Sönümleyici Cihazlar ile Güçlendirme (2. Deneme)



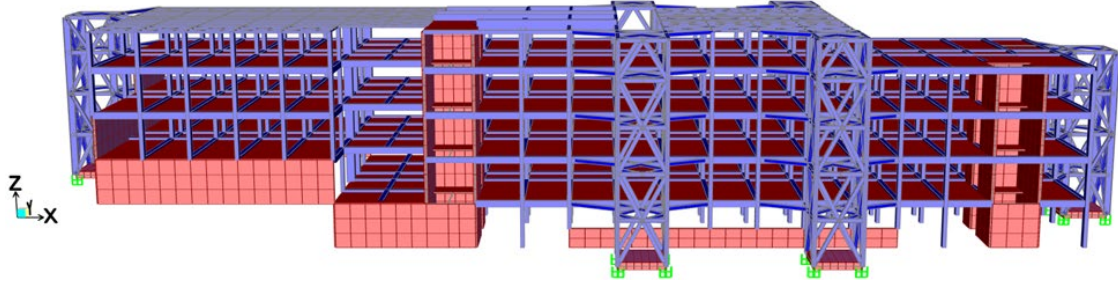
Şekil 5.29: Bina C Dışarıdan Betonarme Perdeler ve Sönümleyici Cihazlar ile Güçlendirme Sonrası Yapısal Elemanların Performans Seviyesi (2. Deneme)

Çelik kuleler ve sönümleyici cihazlar kullanılarak önerilen dışarıdan güçlendirme yöntemleri için ilk olarak yapıya dışarıdan çelik kuleler eklenmiş, bodrum katta bulunan kısa kolon düzensizlikleri giderilmiş ve ön tasarımı yapılarak çelik kulelerin altına sönümleyici cihazlar yerleştirilmiştir. Bu güçlendirme önerisiyle de yüksek kolon aksenal yükleri ve hedef yer değiştirme değerlerinin yapı elemanlarının şekil değiştirme kapasitelerinden büyük olması sebebiyle hedef performans limitleri sağlanamamaktadır.



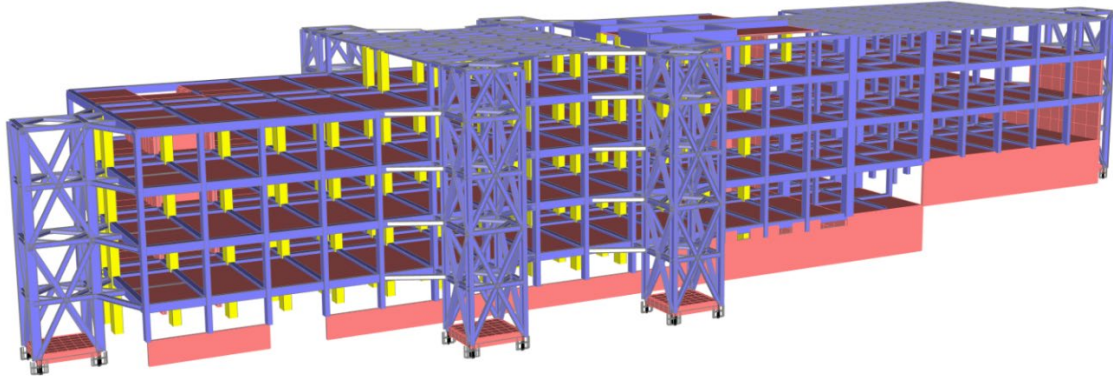
Şekil 5.30: Bina C Dışarıdan Çelik Kuleler ve Sönümleyici Cihazlar ile Güçlendirme (3. Deneme)

Özellikle taleplerin yüksek olduğu, en üst katta bulunan 30x30 cm boyutlarındaki kolonlar, zemin katta bulunan 30x40 cm kolonlar, en üst katta bulunan 45x45 cm kolonlar ve zemin kat ve diğer katlarda bulunan dilatasyon aksındaki 70x70 cm kolonlar FRP ile sargılanmıştır. Yapılan analizler sonucunda bu güçlendirme önerisinin uygun olmadığı görülmüştür.



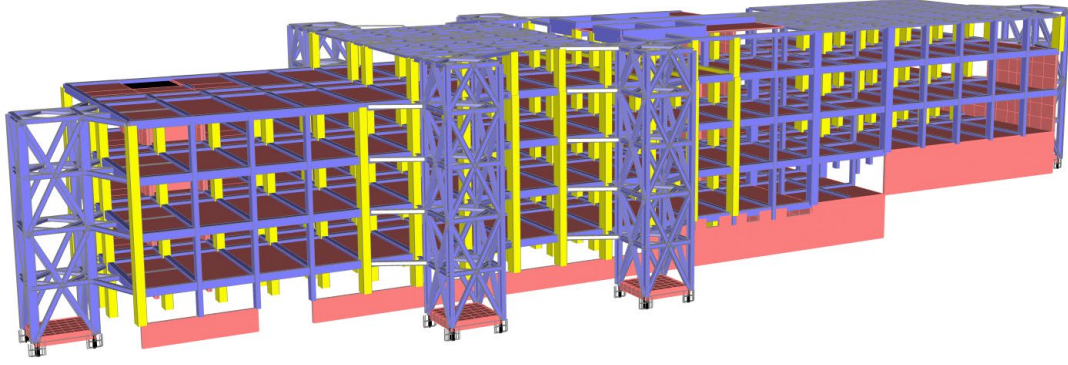
Şekil 5.31: Bina C Dışarıdan Çelik Kuleler ve Sönümleyici Cihazlar ile Güçlendirme (4. Deneme)

Bu güçlendirme denemesinde orta akslarda bulunan kolonların tümü mantolanmış fakat kulelerin bağlandığı kolonlarda oluşan ek talepler dolayısıyla hedef performans kriterleri sağlanamamıştır.



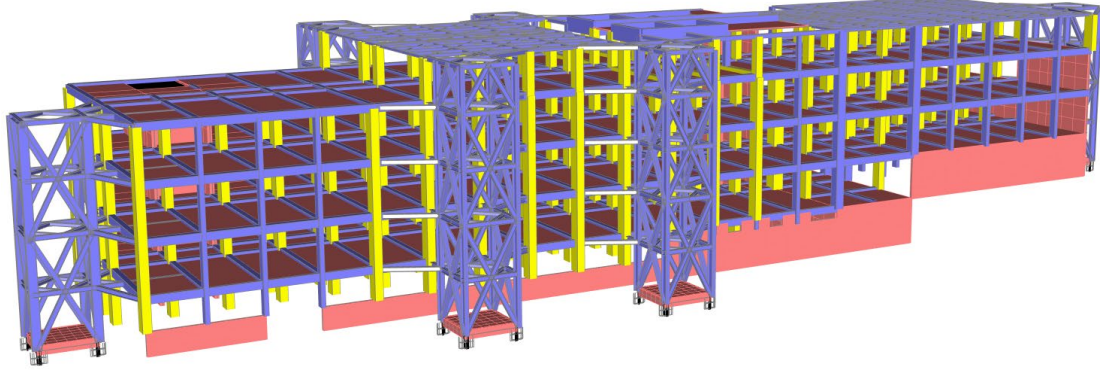
Şekil 5.32: Bina C Dışarıdan Çelik Kuleler ve Sönümleyici Cihazlar ile Güçlendirme (5. Deneme)

Bir önceki denemeye ek olarak, çelik kulelerin bağlandığı kolonlar, transfer kolonlarının mesnetlendiği kirişler ve bu kirişlerin bağlandığı kolonlar, görselin sağında yer alan bloğun orta aksında bulunan kolonlar mantolanmıştır. Bununla birlikte, taşıyıcı eleman boyutları değiştiği için, statik itme analizi sonuçlarına göre sönümleyici cihaz özellikleri tekrardan belirlenmiştir. Elemanlar büyük ölçüde performans seviyesi değerlerini sağlasa da bazı elemanların bu kriterleri karşılayamadığı tespit edilmiştir.



Şekil 5.33: Bina C Dışarıdan Çelik Kuleler ve Sönümleyici Cihazlar ile Güçlendirme (6. Deneme)

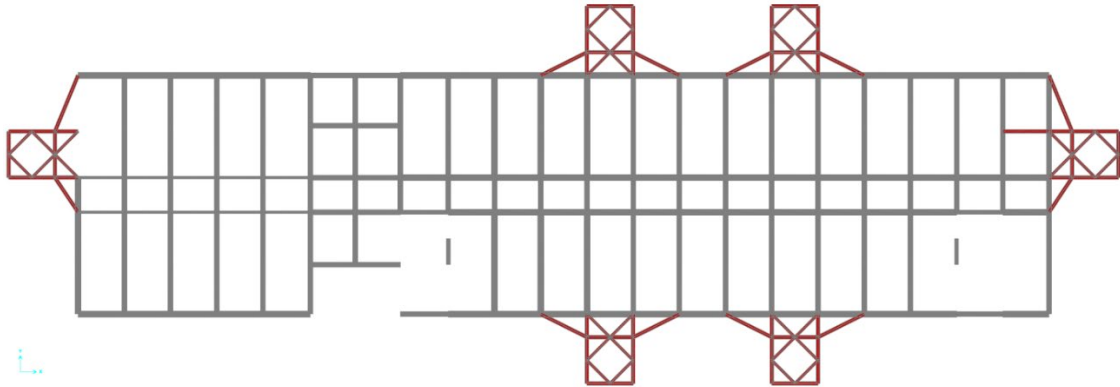
Bu denemede, perde ve dilatasyon aksındaki kolonlar mantolanarak, seçilen güçlendirme sistemi belirlenmiştir.



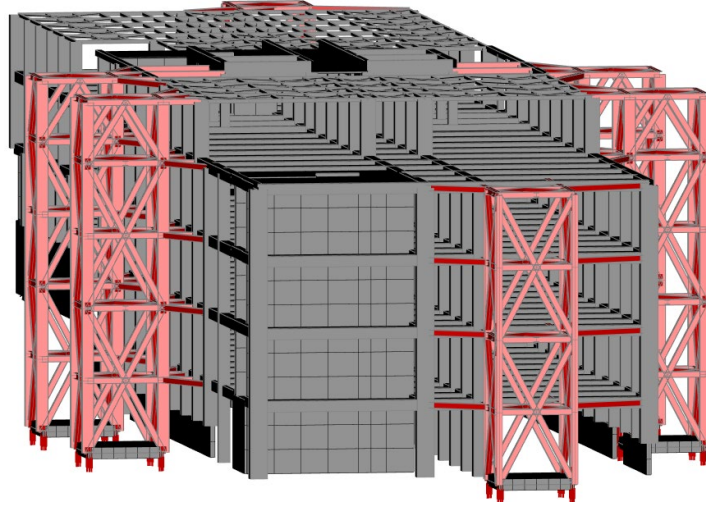
Şekil 5.34: Bina C Dışarıdan Çelik Kuleler ve Sönümleyici Cihazlar ile Güçlendirme (7. Deneme)

5.3.2 Seçilen Güçlendirme Sistemi

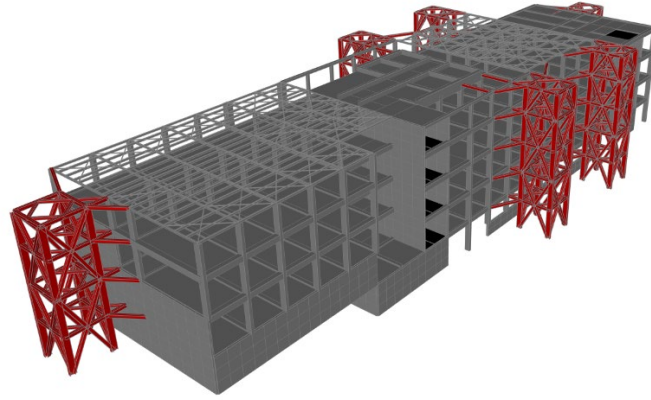
Sönümleyici cihazlar ile güçlendirme önerisi olarak, Bölüm 4.3.2’de belirtilen dışarıdan çelik kule ile güçlendirme konfigürasyonu, kulelerin altına yerleştirilen sönümleyici cihazlar ve çelik kulenin her iki yönde dönme serbestliği sağlanarak güncellenmiştir. Güçlendirilen mevcut elemanlar ve çelik kule yapısı, belirtilen güçlendirme alternatifiyle uyumlu olup yalnızca önerilen güncellemeler uygulanmıştır. İlave edilen ve güçlendirilen elemanlarla ilgili yerleşim planları ve kesit bilgileri aşağıdaki şekillerde ve tablolarda paylaşılmıştır.



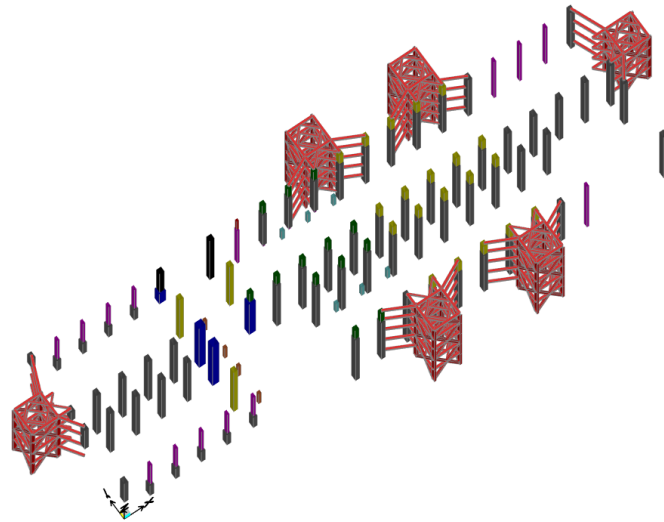
Şekil 5.35: Bina C Güçlendirme Çalışması Kapsamında Bina Çevresine Eklenen Çelik Kulelerin Plan Görüntüsü



Şekil 5.36: Bina C Bina Dışına Eklenen Çelik Kuleler ve Sönümleyici Cihazlar



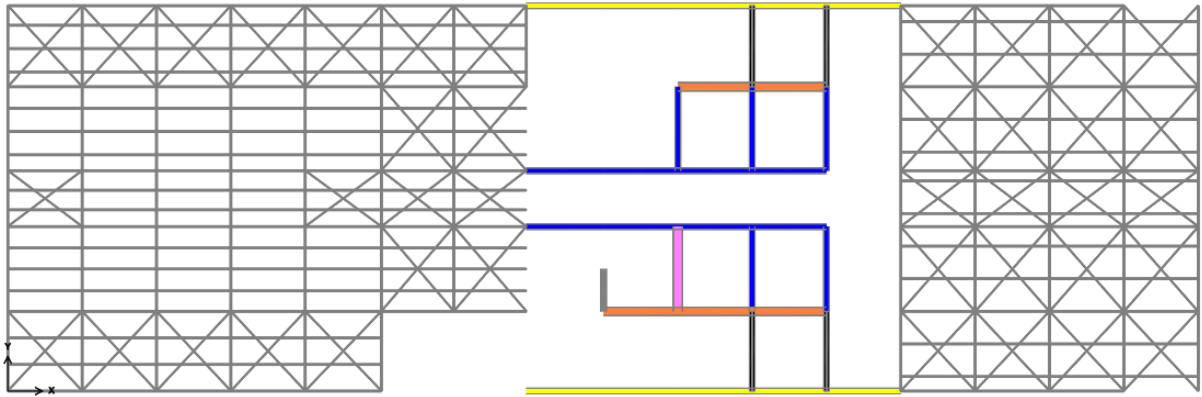
Şekil 5.37: Bina C Bina Dışına Eklenen Çelik Kuleler ve Sönümleyici Cihazlar ile Güçlendirme Modeli 3D Görünümü



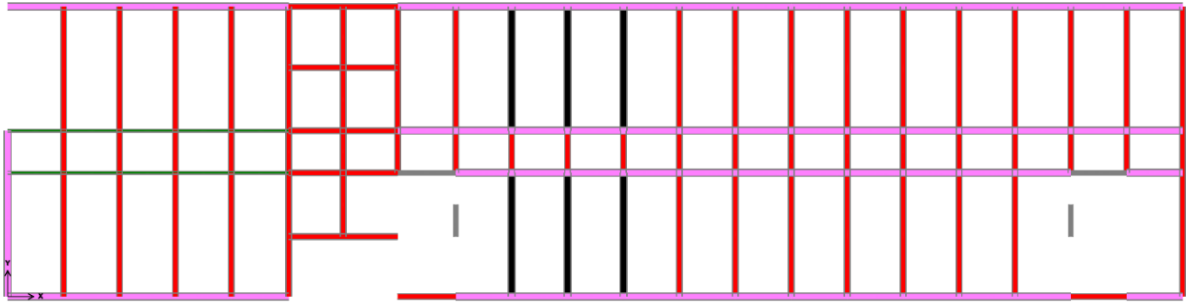
Şekil 5.38: Bina C Kolon ve Çelik Kulelerin Yerleşim Planı

Tablo 5.3: Mevcut ve Betonarme ile Sargılanan Kolon Kesitleri Lejanti

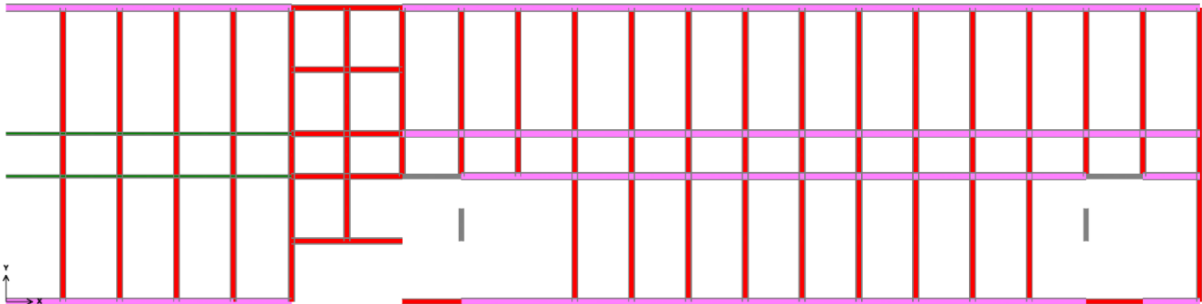
Mevcut Kesitler	Mantolu Kesitler	Renk
C30x30	-	Red
C30x30	C60x60	Green
C30x40,C30x45	C60x75	Yellow
C30x60	-	Pink
C30x60	C60x90	Grey
C40x40	-	Orange
C45x45	-	Light Blue
C70x70	-	Black
C70x70	C100x100	Dark Grey



Şekil 5.39: Bina C Çatı Katı Kiriş Yerleşim Planı



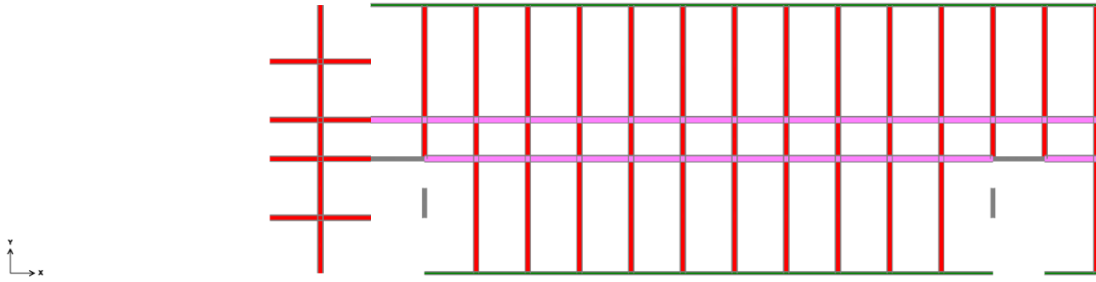
Şekil 5.40: Bina C 2. Kat Kiriş Yerleşim Planı



Şekil 5.41: Bina C 1. Kat Kiriş Yerleşim Planı



Şekil 5.42: Bina C Zemin Kat Kiriş Yerleşim Planı

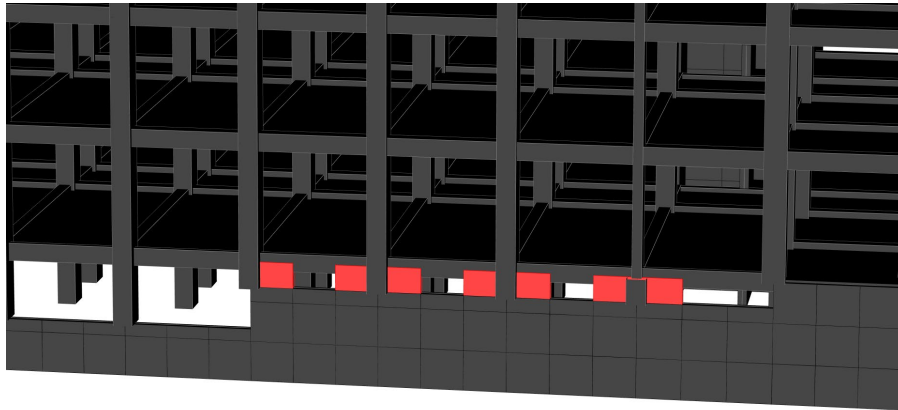


Şekil 5.43: Bina C Bodrum Kat Kiriş Yerleşim Planı

Tablo 5.4 Mevcut ve Betonarme ile Sargılanan Kiriş Kesitleri Lejantı

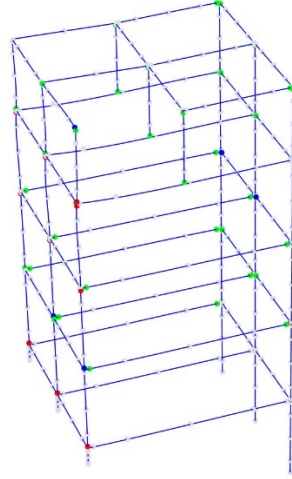
Mevcut Kesitler	Mantolu Kesitler	Renk
K40x55	-	Red
K50x55	K50x80	Black
K50x55	-	Pink
K30x45	-	Grey
K20x55	-	Green
K30X120	-	Blue
K45x120	-	Yellow
K30x30	-	Yellow

Ek olarak, yapı bodrum katında kısa kolonlar bulunmaktadır. Bu kattaki betonarme perdeler, üst kat döşemesine kadar uzatılarak kısa kolon davranışı ortadan kaldırılmıştır.



Şekil 5.44: Bina C Bodrum Katta Bulunan Kısa Kolonlar

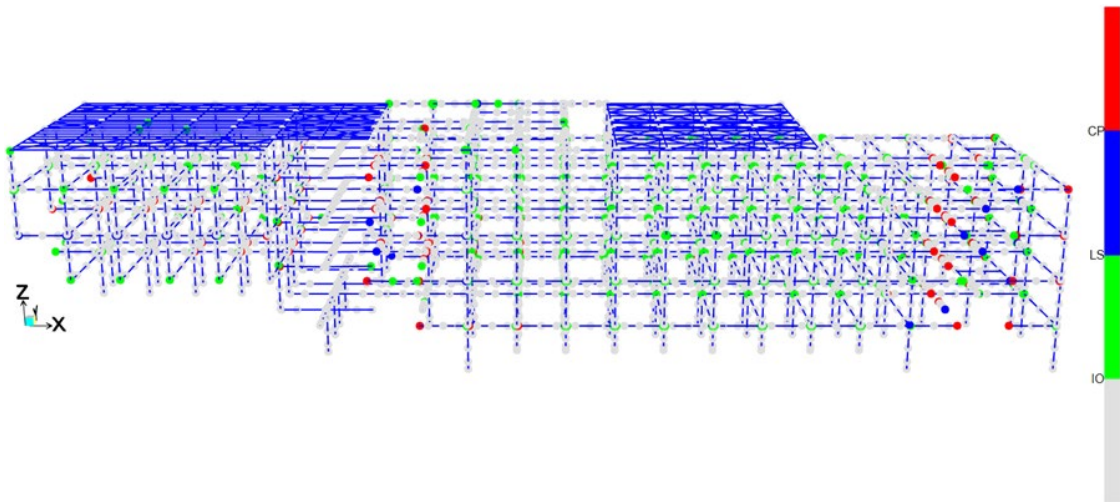
Transfer kolonlarının mesnetlendiği kirişler ve bu kirişlerin bağlandığı kolonlar, Şekil 5.45'te gösterildiği üzere hedef performans seviyesini sağlamamaktadır. Bu nedenle, ilgili kirişler ve bu kirişlerin bağlandığı kolonlar mantolanmak zorunda kalmıştır.



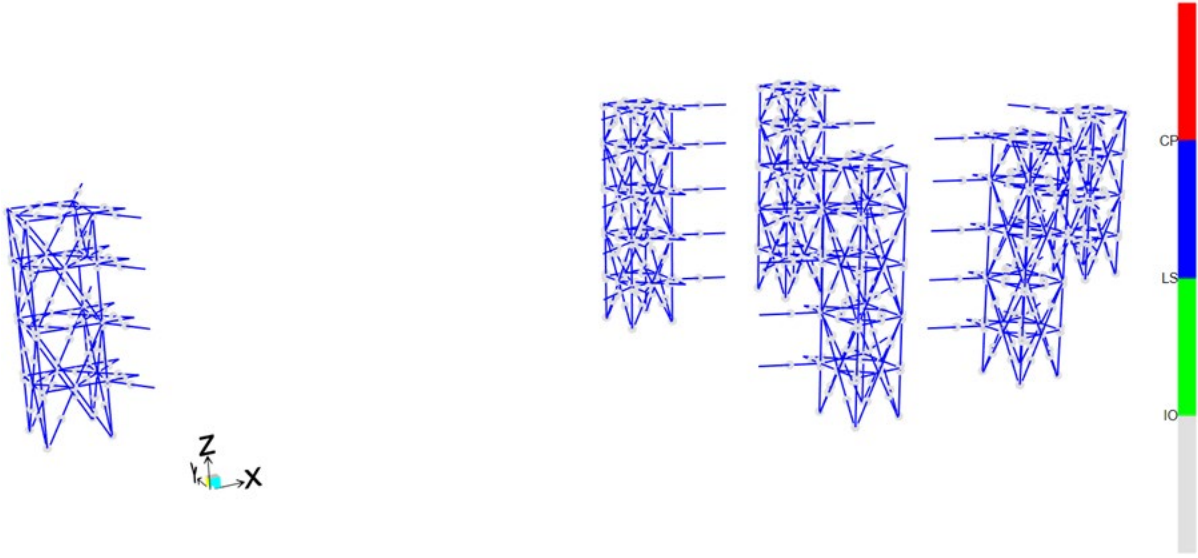
Şekil 5.45: Bina C Transfer Kolonları, Mesnetlendiği Kirişler ve Kolonlar

5.3.3 Seçilen Güçlendirme Yönteminin Binanın Performansına Etkisi

Uzun doğrultuda perdeler arası mesafenin fazla olduğu her iki cepheye ikişer adet, kısa doğrultudaki cephelere ise birer adet olmak üzere toplam 6 adet çelik kule yapının dışına inşa edilerek taşıyıcı sisteme entegre edilmiştir. Kulelerin altına sönümleyici yerleştirilerek, yapı yer değiştirdikçe sönümleyici cihazlarla deprem enerjisinin sönmülmesi amaçlanmıştır. Yapı uzun doğrultusu boyunca orta akslarda bulunan kolonlar mantolanarak kolonların şekil değiştirme kapasiteleri ve yapı rijitliği artırılmıştır. Bununla birlikte, lokal talepleri karşılamak üzere kulelerin bağlandığı kolonlar ayrıca mantolanmıştır. Sonuç olarak, şekil değiştirmeleri ve taban kesmelerini sınırlandırmak, aynı zamanda sönümleyici cihazların etkin bir şekilde çalışmasını sağlamak amacıyla %0.7 olarak belirlenen öteleme değerlerine ve TBDY 2018 "Kontrollü Hasar" performans seviyesine ulaşılmıştır.



Şekil 5.46: Bina C Dışarıdan Çelik Kuleler ve Sönümleyici Cihazlar ile Güçlendirilmiş Yapı Kolon ve Kiriş Performansları



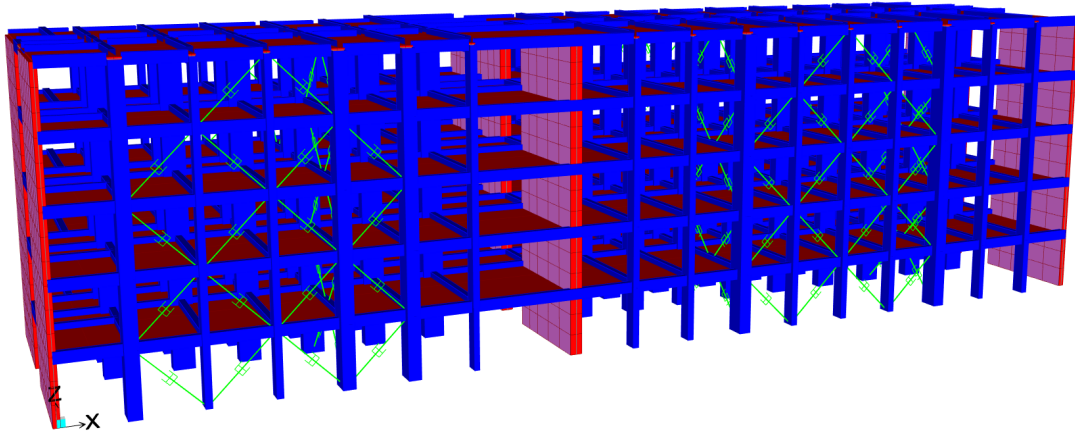
Şekil 5.47: Bina C Dışarıdan Çelik Kuleler ve Sönümleyici Cihazlar ile Güçlendirilmiş Yapı Çelik Kule Elemanlarının Performansları

5.4 Bina D

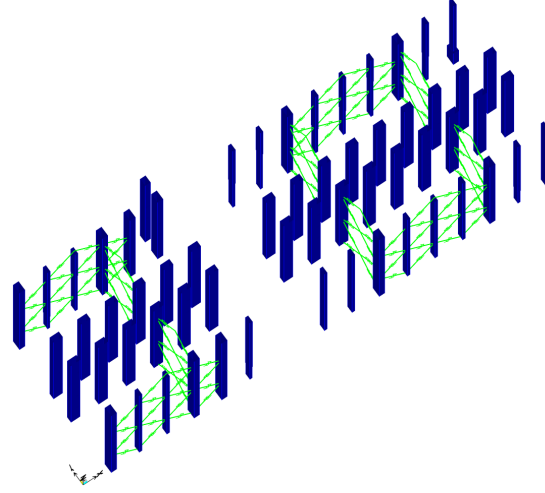
5.4.1 Güçlendirme Tasarımı için Denenen Çalışmalar

Bina D' de yenilikçi yöntemlerle güçlendirme önerileri olarak hibrit yöntemler tercih edilmiştir. Yapı kısa doğrultusunda perdeler mevcut olduğundan sönümleyici cihazların etkin bir şekilde çalışmayacağı öngörülmüş ve bu doğrultuda orta akslara Burkulması Önlenmiş Çelik Çapraz (BÖÇ) elemanları yerleştirilmiş, uzun doğrultuda ise sönümleyici cihazların kullanılmasına karar verilmiştir.

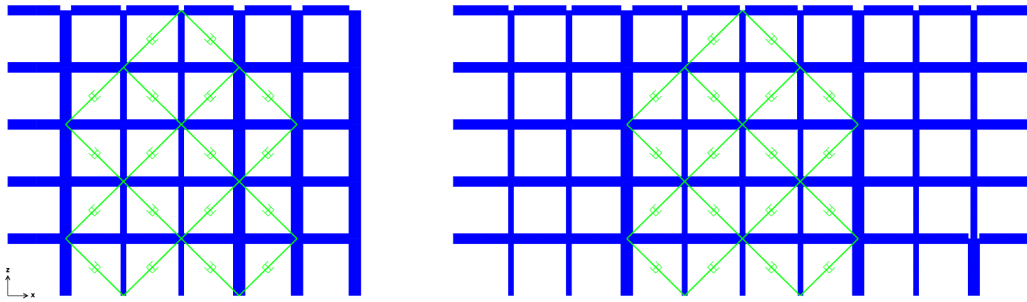
İlk öneride, orta akslarda bulunan kolonların aksel yük oranları yüksek olduğundan bu elemanlar mantolanmıştır. Ayrıca, sönümleyici cihazların bağlandığı en dış kolonlar ve BÖÇ elemanların bağlandığı kolonlar da mantolanarak güçlendirilmiştir. Geri kalan kolonlar, analiz sonuçlarına göre ihtiyaç olması halinde FRP ile sarılmıştır. Kirişlere herhangi bir müdahalede bulunulmamıştır. Yapı 3 boyutlu görüntüsü ve eklenen elemanların yerleşimleri aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



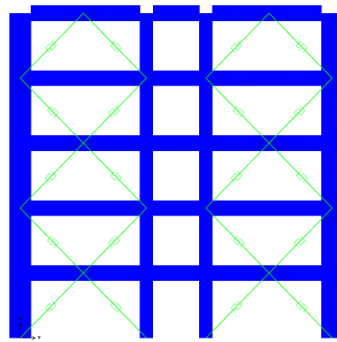
Şekil 5.48: Bina D Sönümleyici Cihazlar ve BÖÇ ile Güçlendirme (1. Deneme)



Şekil 5.49: Bina D Sönümleyici Cihazlar ve BÖÇ ile Güçlendirme Sönümleyici ve BÖÇ Yerleşimleri (1. Deneme)



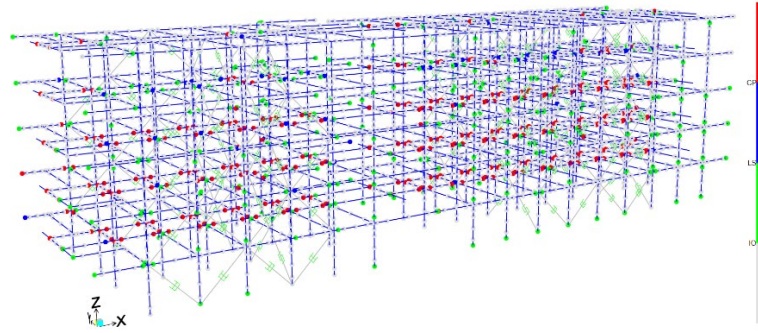
Şekil 5.50: Bina D Sönümleyici Cihazlar ve BÖÇ ile Güçlendirme X-Z Görüntüsü (1. Deneme)



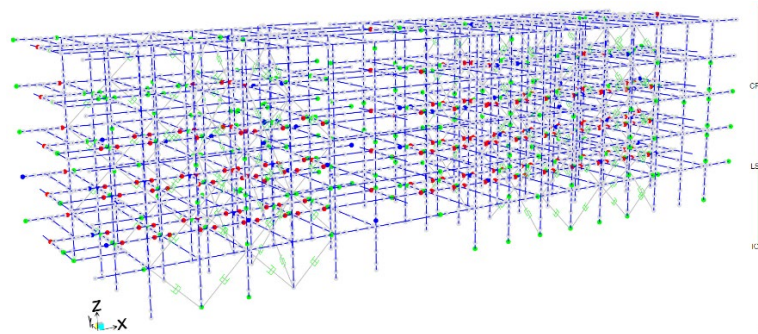
Şekil 5.51: Bina D Sönümleyici Cihazlar ve BÖÇ ile Güçlendirme Y-Z Görüntüsü (1. Deneme)

Yapılan analizler sonucu, bu güçlendirme önerisinde kirişlerin hedef performans düzeyini sağlamadığı ve dolayısıyla bu güçlendirme önerisinin uygun olmadığı görülmüştür.

Bu öneride göçme bölgesine geçen kirişlerin büyük bir bölümünün yapı uzun doğrultusuna paralel olduğu görülmüş, bu doğrultuda bulunan sönümleyici cihazların sönüm katsayıları artırılarak yer değiştirmelerin azaltılabileceği düşünülmüştür. Bu nedenle, modelde sönümleyici cihazlar yerine bulunan link elemanların özellikleri değiştirilmiştir. Link özellikleri güncellenmiş bu güçlendirme önerisinde göçme bölgesine geçen kiriş sayılarında azalma olduğu görülmüş fakat yine de yapı hedef performansı sağlayamamıştır. İlgili güçlendirme performansı Şekil 5.53'da gösterilmiştir.

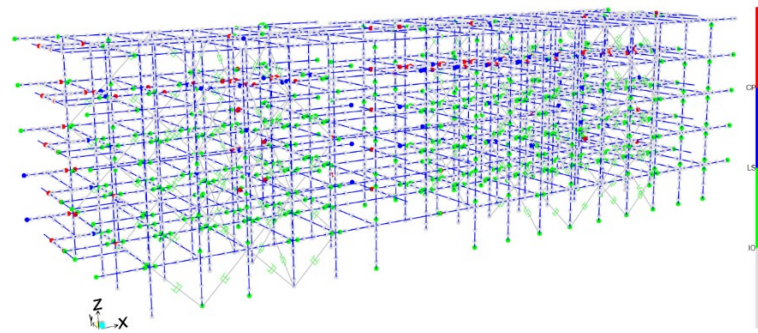


Şekil 5.52: Bina D Sönümleyici Cihazlar ve BÖÇ ile Güçlendirme Sonrası Yapısal Elemanların Performans Seviyesi (1. Deneme)



Şekil 5.53: Bina D Sönümleyici Cihazlar ve BÖÇ ile Güçlendirme Yapı Performansı (2. Deneme)

Bir sonraki güçlendirme önerisinde, önceki öneriye ek olarak ilk 3 katta orta aksta bulunan kirişler FRP ile sargılanmıştır. Aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi, üst kat kirişlerinin büyük bir çoğunluğu göçme bölgesine geçmektedir. Bu sebeple, bu güçlendirme önerisi de uygun bulunmamıştır.



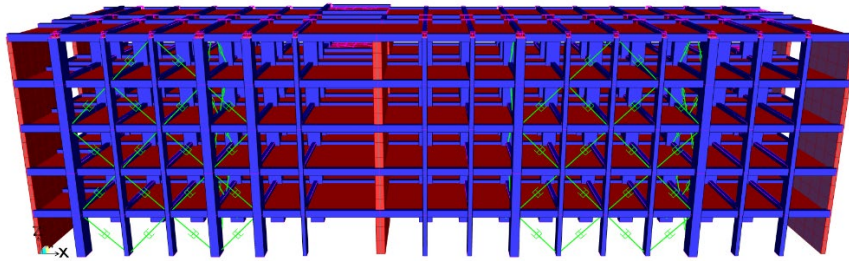
Şekil 5.54: Bina D Sönümleyici Cihazlar ve BÖÇ ile Güçlendirme Yapı Performansı (3. Deneme)

5.4.2 Seçilen Güçlendirme Sistemi

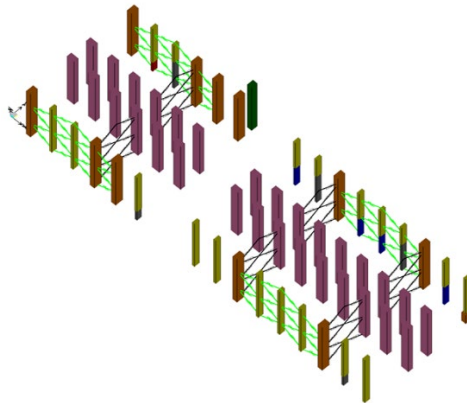
Yapının mevcut halinin analizlerinde yapıldığı gibi, dilatasyon aksındaki taşıyıcı elemanlar mantolanıp birleştirilmiştir. Bununla birlikte, yapının rijitliğini artırmak ve hedeflenen performans düzeyini sağlamak için, yüksek eksenel yük oranları nedeniyle orta aksta bulunan kolonlar mantolanmıştır. Ek olarak, yapıya eklenen BÖÇ ve sönümleyici cihazların bağlandığı kolonlar, oluşan ek taleplerden dolayı mantolanmıştır. Ayrıca, şekil değiştirme kapasitesi yetersiz olan kolonlar FRP ile sargılanmıştır. Betonarme ve FRP ile sargılanan kolonların, BÖÇ elemanlarının ve sönümleyici cihazların yerleşim planı Şekil 5.56'de gösterilmiş ve Tablo 5.5'de özetlenmiştir.

Orta akslarda bulunan 1., 2. ve 3. kat kirişleri, gerekli kat sayısı hesaplanarak şekil değiştirme taleplerini karşılayacak şekilde FRP ile güçlendirilmiştir. Ek olarak, bu katlarda ve diğer katlarda şekil değiştirme talepleri göz önünde bulundurularak gereken FRP kat sayısı hesaplanmış ve ilgili kirişler hesaplamalarda bulunan FRP kat sayılarına göre güçlendirilmiştir. FRP ile sargılanan kirişler aşağıdaki şekillerde gösterilmektedir.

Üretici kataloglarına göre, bu çalışmada bulunan FRP kat sayıları uygun gibi gözükse de, FRP çalışma etkinliği ve uygulamada karşılaşılabilecek sorunlar göz önüne alındığında, uygulanabilecek en fazla FRP kat sayısının 3-4 kat mertebelerinde olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, burada bulunan FRP kat sayılarının teorik değerler olup, uygulama zorlukları dikkate alınmadan hesaplanan değerler olduğunu not etmek gerekir.



Şekil 5.55: Bina D BÖÇ ve Sönümleyici Cihaz ile Güçlendirilmiş Yapı Modeli 3D Görüntüsü

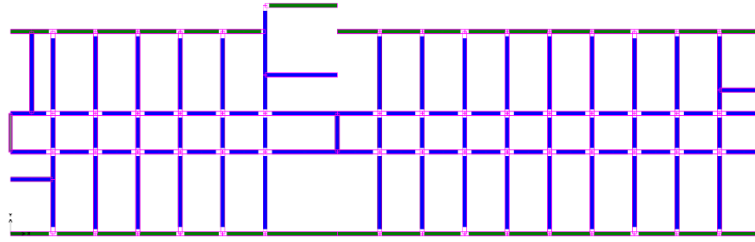


Şekil 5.56: Bina D Kolon, BÖÇ ve Sönümleyici Yerleşim Planı

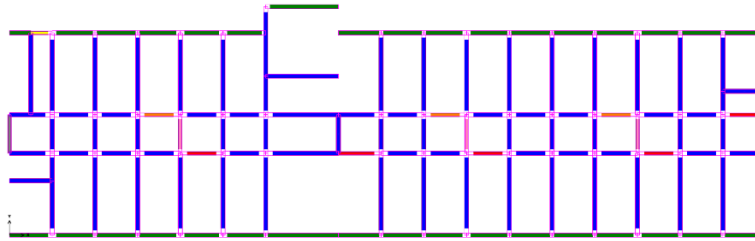
Tablo 5.5: Mantolanan ve FRP ile Sargılanan Kolon Kesitleri, BÖÇ ve Sönümleyici Lejanti

Mevcut Kesitler	Mantolu/FRP'li Kesitler	Renk
30x50	60x80	Yeşil
30x70	-	Sarı
30x70	30x70 (FRP4)	Gri
30x70	30x70 (FRP6)	Mavi
30x70	30x70 (FRP7)	Kırmızı
30x70	60x100	Turuncu
70x30	100x60	Pembe
Sönümleyiciler		Sarı
BÖÇ		Siyah

Şekil 5.57, Şekil 5.58, Şekil 5.59, Şekil 5.60 ve Şekil 5.61’de FRP ile sargılanan ve mevcut kirişleri gösterilmektedir. Bu şekillerde belirtilen, FRP yanında yer alan sayılar hesaplanan FRP sargı katman sayısını tarif etmektedir. Yapılan sargı katman sayısı hesaplamalarında uygulamada karşılaşılabilecek sorunlar dikkate alınmamıştır. Mevcut ve sargılı kesitler Tablo 5.6’da özetlenmiştir.



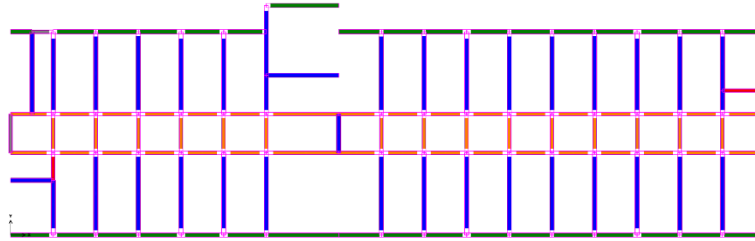
Şekil 5.57: Bina D Çatı Katı Kiriş Yerleşim Planı



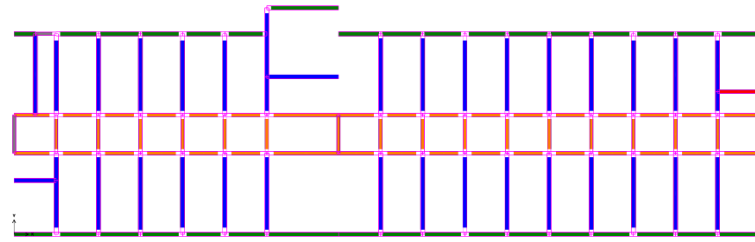
Şekil 5.58: Bina D 2. Kat Kiriş Yerleşim Planı



Şekil 5.59: Bina D 1. Kat Kiriş Yerleşim Planı



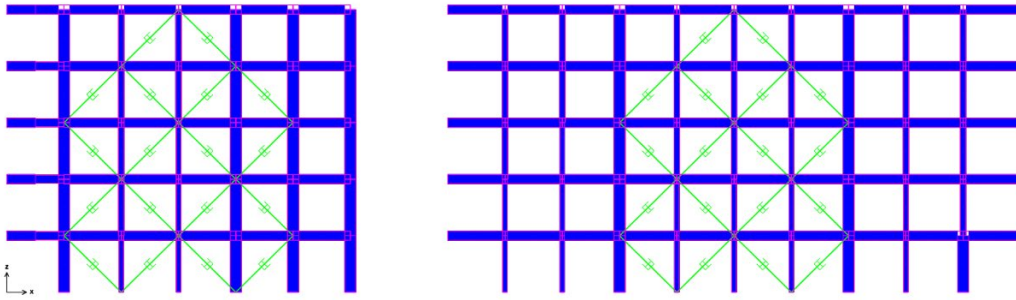
Şekil 5.60: Bina D Zemin Kat Kiriş Yerleşim Planı



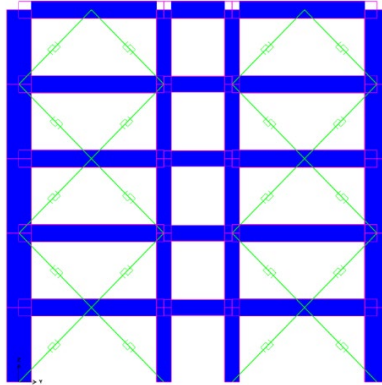
Şekil 5.61: Bina D Bodrum Kat Kiriş Yerleşim Planı

Tablo 5.6: Mantolanan ve FRP ile Sargılanan Kiriş Kesitleri Lejantı

Mevcut Kesitler	Mantolu/FRP'li Kesitler	Renk
30x50	-	
30x50	30x50 (FRP6)	
30x50	30x50 (FRP11)	
30x70	-	
30x70	30x70 (FRP6)	
30x70	30x70 (FRP9)	
30x70	30x70 (FRP12)	



Şekil 5.62: Bina D BÖÇ ve Sönümleyici Cihaz ile Güçlendirilmiş Yapı X-Z Kesiti

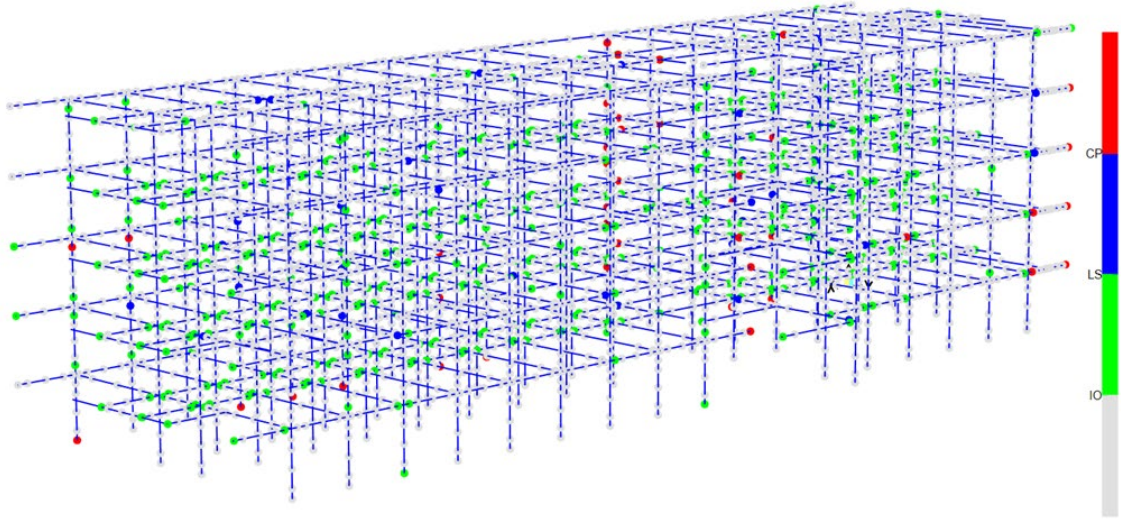


Şekil 5.63: Bina D BÖÇ ve Sönümleyici Cihaz ile Güçlendirilmiş Yapı Y-Z Kesiti

5.4.3 Seçilen Güçlendirme Yönteminin Binanın Performansına Etkisi

Statik itme ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerle hem mevcut durum hem de güçlendirme sonrası yapının kat ötelemeleri, taban kesme kuvvetleri ve modal analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlara göre, güçlendirme sonrası yapının hem X hem de Y doğrultusunda rijitliği ve dayanımının anlamlı ölçüde arttığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, burkulması önlenmiş çelik çapraz ve sönümleyici cihazlar ile yapılan güçlendirme, yapının deprem performansını iyileştirmiş ve TBDY 2018 “Kontrollü Hasar” performans hedeflerine ulaşmasını sağlamıştır.

Mantolanan ve FRP ile sargılanan kesitler dikkate alınarak belirlenen yer değiştirmeler ve yapı davranışı göz önünde bulundurularak burkulması önlenmiş çelik çapraz ve sönümleyici cihaz özellikleri belirlenmiştir.



Şekil 5.64: Bina D Sönümleyici Cihazlar ile Güçlendirilme Sonrası Yapısal Elemanlarının Performans Seviyesi

5.5 Güçlendirme Tasarımının Uygulanmasındaki Zorluklar

Kolon mantolaması sırasında kalıp ve donatı yerleştirme alanı dar olabilir. Ayrıca, kolon etrafında tesisat, elektrik boruları ve kaplama elemanları varsa sökülmeleri gerekmektedir. Ek olarak, mevcut kolon donatılarının sıklığına bağlı olarak, yeni eklenecek donatı ankraji açma süreleri değişkenlik göstermektedir. Bununla birlikte, mantolama betonunun mevcut betonla iyi aderans sağlaması gerektiğinden, yüzey hazırlığı için de belirli bir süre harcanması gerekmektedir.

Çelik çaprazların betonarme elemanlarla birleşimlerinin kapasite korumalı tasarlanması gerekmektedir. Bu nedenle, ankraj dayanımlarının bu değerleri sağladığından emin olunmalıdır.

BÖÇ elemanların, sönümleyici cihazların ve bağlandığı çelik çaprazların betonarme elemanlarla birleşimlerinin kapasite korumalı tasarlanması gerekmektedir. Bu nedenle, seçilen sönümleyici ve BÖÇ elemanların kapasiteleri ve yapı malzeme kalitesi ankraj detayları için oldukça önemlidir. Düşük malzeme dayanımları ankraj detayları için sorun olabilir. Mantolamayla birlikte yapılacak ankraj ve bağlantı detayları, seçilen sönümleyici cihaz kapasitesi göz önünde bulundurularak tasarlanmalıdır.

Dışarıdan eklenen çelik kulelerin yapıya bağlantısı uygun bir şekilde yapılmalıdır. Kolon, kiriş veya döşemeler üzerinden doğru yük aktarımı için bağlantı detaylarına gereken önem verilmelidir.

Yeni inşa edilen çelik kuleler için bina dışında belirli bir alan gerekmektedir. Buralara yapılacak olan çelik kulelerin altına yerleştirilecek olan sönümleyici cihazların uygun bir şekilde çalışıp sönüm yapabilmesi için kulenin altındaki mafsal detaylarının modele uygun olarak uygulanması gerekmektedir.

Sönümleyici cihazlar taşıma kapasitelerine göre sınıflandırılmaktadır. Bununla birlikte, belirli bir kapasite için seçilen sönümleyici cihazlar için sönüm katsayısı ayrıca belirlenmektedir. Belirlenen bu değer, kataloglarda tavsiye edilen değerlerle uyumsuz olması halinde teslim



süreleri ve maliyetler artabilir. Bu çalışmada seçilen sönümleyici cihazlar “bir üreticinin kataloglarından seçilmiştir.

BÖÇ elemanları seçilirken, üretici kataloglarında verilen kesit bilgileri ve davranışları dikkate alınarak modelleme yapılmalıdır. Aksi halde, standart olarak üretilen kesitler haricinde yapılan kabuller, uzayan imalat sürelerine ya da kataloglara uygun kesitler seçilip analiz tekrarlarına yol açabilir. Bu çalışmada, BÖÇ elemanlar için bir üretici tarafından sağlanan kataloglara göre tasarım yapılmıştır.

5.6 Bakım Gereksinimleri

Genel anlamda betonarme elemanların bakım gereksinimleri oldukça düşüktür ancak herhangi bir elemanın beton örtüsünün dökülmesi halinde, donatı korozyonuna karşı ilgili kısım onarılmalıdır. Dış etkenlere açık bölgelerde gerekli yalıtımlar yapılmalıdır. Bunların haricinde, yapı deprem yüklerine maruz kalırsa, deprem sonrası taşıyıcı elemanların ve birleşimlerin hasar durumu teftiş edilmeli ve değerlendirilmelidir.

Çelik çaprazların korozyon riski yüksek olduğundan koruyucu boya veya galvaniz kaplamayla korozyona karşı önlem alınmalı ve bu kaplamaların düzenli kontrolleri yapılmalıdır. Bulonlu birleşimlerin düzenli tork kontrolleri yapılmalı, yangına karşı yapılan koruma uygulamaları belirli aralıklarla kontrol edilmelidir.

Sönümleyici cihazlar ve BÖÇ elemanlar deprem yer hareketi sonrası kontrol edilmeli ve yapılan incelemeler sonrası gerekmesi halinde değiştirilmelidir. Bu nedenle, sönümleyici cihazların ve BÖÇ elemanların kolayca ulaşılabilir ve değiştirilebilir olması oldukça önemlidir.

5.7 Diğer Afetlere ve İklim Değişikliğine Karşı Dayanıklılığı

Sel felaketi sonucu, betonarme elemanlar sürekli neme/suya maruz kalırsa donatılarda korozyon kontrol edilemez boyutlara ulaşabilir. Çelik elemanlar suya/neme karşı daha duyarlı olduklarından, korozyonu önlemek için koruyucu boyalar ve kaplamalar yapılmalıdır.

Betonarme elemanlar çelik elemanlara göre yangına karşı daha dayanıklı olmakla birlikte yapılan mantolamanın kalitesi yangın direncini belirleyen önemli faktörlerden biridir. Yapıya eklenen sönüm sisteminde kullanılan çelik çaprazlar ve BÖÇ elemanlar uygun koruyucu kaplamalarla yangına karşı dirençli hale getirilmelidir.

Yangın halinde sönümleyici cihazların içerisinde bulunan sıkıştırılabilir silikonun viskozitesi sıcaklıkla birlikte değişebilir. Bu nedenle, yangın sonrasında kontrol edilerek değiştirilemeleri gerekebilir.

5.8 Güçlendirmenin Temel Sistemine Etkisi

Yapılan güçlendirmelerle birlikte temelde oluşan taleplerin artması nedeniyle mevcut temellerin güçlendirilmesi gerekmektedir. Temel güçlendirme uygulamaları genellikle en kritik ve uygulaması en maliyetli bölümlerden biridir. Temel güçlendirmeleri, üst yapıda uygulanan güçlendirmelerin etkinliği ve dolayısıyla yapı performansı için oldukça önem arz etmektedir.

Yapıya eklenen çelik çaprazlar ve BÖÇ elemanlar, yüksek taşıma kapasitesi gerektirmektedir. Mevcut temelin taşıma kapasitesinin yetersiz olması durumunda temelin güçlendirilmesi kaçınılmazdır. Aksi halde, eklenen çelik çaprazlar etkin bir şekilde çalışmayacak ve analiz edilen model ile uygulanan güçlendirme tutarsız olacaktır.

Viskoz sönümleyiciler statik durumda taşıyıcı değildirler. Ancak, deprem yer hareketiyle birlikte cihazların uçlarında oluşan hız vektörleri sonucu yük taşımaya başlarlar. Bu nedenle, yer hareketiyle birlikte yük alan sönümleyiciler, yapı dayanımını, yataydaki açılara bağlı olarak, cihazların kapasiteleri kadar artırmaktadır. Bu nedenle, yapı rijitliğini değiştirdikleri için, temeldeki deprem yer hareketine bağlı olan talepleri artırmaktadır. Dolayısıyla, mevcut temelin taşıma kapasitesinin yetersiz olması durumunda temelin güçlendirilmesi gerekmektedir.

Yapıya eklenen çelik kuleler için bağımsız temeller yapılmalıdır. Yapılan yeni temellerin eski temellerle etkileşimi göz ardı edilmemelidir.

Temel güçlendirmesi gerekiyorsa, eklenen temellerin eski temeller ile birlikte çalışması garanti edilmelidir. Ters bir durumda yapıda rijitlik ve oturma farkları oluşabilir. Bu nedenle, temellerin birbirleri ile bağlantısına gereken önemin verilmesi gerekmektedir.

Bununla birlikte, güçlendirme sonucu artan deprem yükleri nedeniyle zemin taşıma gücü yetersiz kalabilir. Bu durumda, zemin iyileştirme yöntemlerine başvurulup, oluşan ek talepleri karşılayacak şekilde zemin iyileştirilmesi yapılmalıdır.

5.9 Güçlendirme Sırasında Alınması Gerekli Tedbirler

Yapıya çelik çapraz, sönümleyici cihaz, BÖÇ eklenmesi ve mevcut kolonların betonarme ile sarılması tahribatlı bir güçlendirme uygulamasıdır. Özellikle paspayı sıyırma, ankrajların eklenmesi ve birleşim noktalarındaki ilave beton-çelik bağlantılarının teşkil edilmesi sırasında bina sakinlerinin rahatsız olması muhtemeldir. Ancak çalışma saatlerinin uygun olarak düzenlenmesi durumunda bu risk minimize edilebilir. Teorik olarak bina kullanılırken bu güçlendirmelerin yapılması mümkün görünse de uygulamada özellikle güçlendirilecek bölgelere malzeme intikali ve yapım esnasında verilecek rahatsızlık da değerlendirildiğinde güçlendirmelerin binanın kullanımda olmadığı dönemde yapılması tercih edilmelidir.

Güçlendirme sırasında yapıya dışarıdan çelik kuleler eklenirken yapının kullanılmaması gerekebilir. Ancak rijit kuleler yardımı ile güçlendirmenin büyük kısmı bina dışından yapıldığından binanın kullanımına etkisi sınırlı olacak, bölgesel çalışmalarla bu etki daha da azaltılabilecektir.

Ek olarak, temel güçlendirmesinde yapılan kazı işleri aşamasında, yapı uygun bir şekilde desteklenmediği takdirde oturma, çatlama ve bölgesel göçmeler meydana gelebilir. Bu durum gerçekleşirse, yapıda yürütülen faaliyetlerin durdurulması veya başka bir yapıya taşınması gerekecektir.

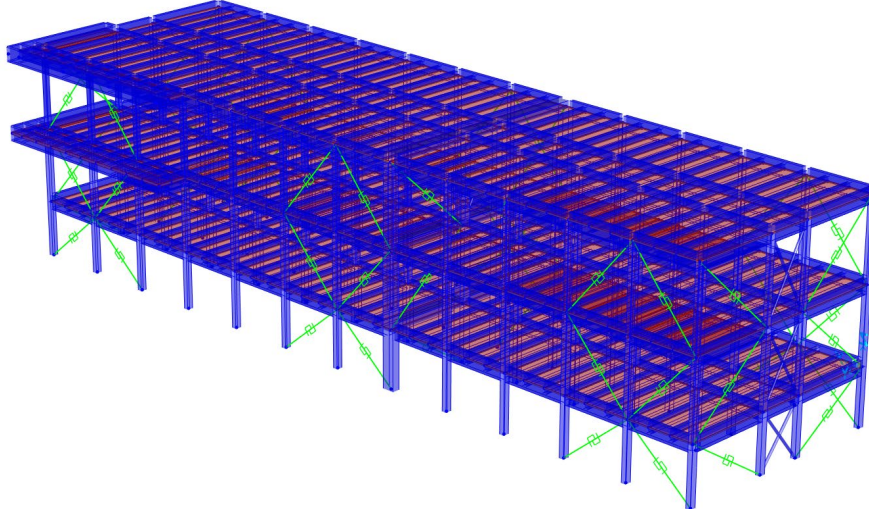
6. BÖÇ ile Güçlendirmeler

6.1 Bina A

6.1.1 Güçlendirme Tasarımı için Denenen Çalışmalar

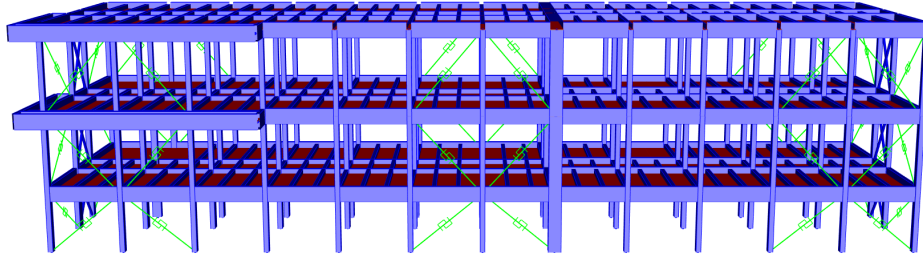
Bina A için, BÖÇ elemanları kullanılarak çeşitli güçlendirme alternatifleri geliştirilmiştir. Bu alternatifler, mevcut taşıyıcı sistem elemanlarına yapılacak müdahaleleri en aza indirmek ve yapının kullanım sürecinde kesintiye neden olmamak amacıyla optimize edilerek tekrarlanmıştır.

Aşağıda sunulan güçlendirme alternatifinde, BÖÇ elemanları mevcut yapıya herhangi bir müdahalede bulunulmadan, ilave çelik çerçeve elemanları aracılığıyla ana taşıyıcı sisteme entegre edilerek değerlendirilmiştir. Fakülte binasının iki ayrı bloktan oluşması ve aradaki dilatasyon derzi mesafesinin yetersiz olması nedeniyle, blokların mantolama yöntemiyle birleştirilmesi öngörülmüş; bu doğrultuda yapılan modellemelerde, birleşik tek bir yapı modeli oluşturulmuştur. Bu güçlendirme yönteminde, yapının mevcut şekil değiştirme kapasitesinin oldukça sınırlı olması nedeniyle, eklenen BÖÇ elemanları yatay ötelemeleri azaltacak düzeyde yeterli rijitliği sağlayamamıştır. Gerekli rijitliğe ulaşmak için daha fazla sayıda BÖÇ elemanına ihtiyaç duyulması, bu alternatifin etkinliğini düşürmüş ve diğer güçlendirme seçeneklerinin öncelikli olarak değerlendirilmesine yol açmıştır.



Şekil 6.1: Bina A BÖÇ ile Güçlendirme 1. Alternatifi İzometrik Görünümü

İkinci güçlendirme alternatifi kapsamında, yapının rijitliğini birinci alternatife kıyasla artırmadan, mevcut yapı elemanlarının sünekliliğini ve şekil değiştirme kapasitesini artırmak amacıyla yapısal elemanların FRP ile salgılanabileceği öngörülmüş ve güçlendirme yöntemi, sargılı kesit özellikleri dikkate alınarak yeniden uygulanmıştır. Ancak, mevcut yapı elemanlarının geometrik ve malzeme özellikleri göz önüne alındığında, hedeflenen şekil değiştirme kapasitesi, uygulanabilecek maksimum FRP sargılaması ile sağlanamamıştır. Dolayısıyla bu alternatif ile yapı istenilen performans seviyesine ulaştırılamamıştır. Ayrıca, BÖÇ elemanlarının bağlanacağı kolonlarda çelik çerçeve ankrajı ile FRP uygulamasının birlikte uygulanabileceği uygun ve güvenilir bir çözüm geliştirilememiştir.



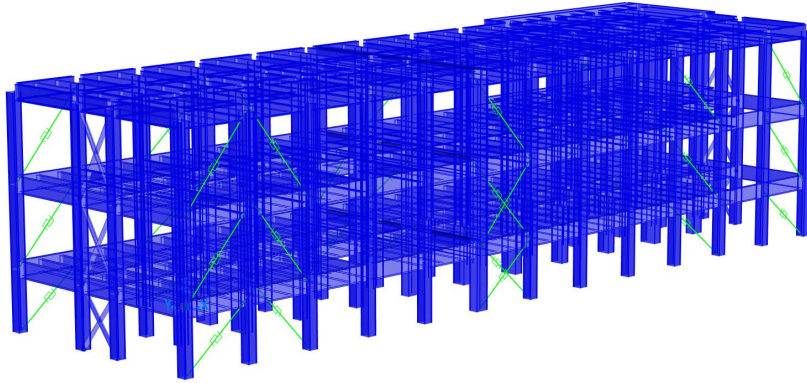
Şekil 6.2: Bina A BÖÇ ile Güçlendirme 2. Alternatifi İzometrik Cephe Görünümü

6.1.2 Seçilen Güçlendirme Sistemi

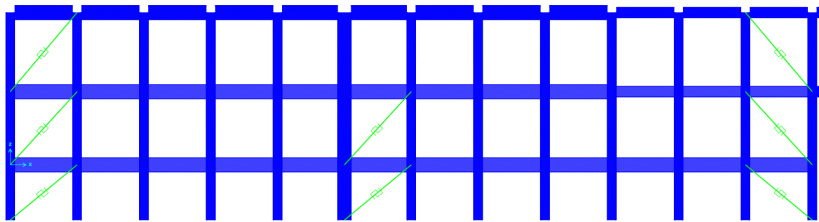
BÖÇ ile güçlendirme yöntemi, Şekil 6.3, Şekil 6.4 ve Şekil 6.5'te gösterildiği gibi kısmi çaprazlı çelik çekme ve basınç kuvvetlerini taşıyan Burkulması Önlenmiş Çaprazlar (BÖÇ) kullanılarak yapılan güçlendirme yöntemidir.

Yapının mevcut halinin değerlendirilmesinde kabul edildiği gibi, dilatasyon aksındaki taşıyıcı elemanlar mantolanıp birleştirilmiştir. Bununla birlikte, yapının rijitliğini artırmak, çelik çaprazların bağlandığı elemanlardaki ek talepleri karşılamak ve hedeflenen performans düzeyini sağlamak için yapıda bulunan bütün kolonlar mantolanmıştır. Birinci ve ikinci kat kirişleri, şekil değiştirme taleplerini karşılayacak şekilde FRP ile güçlendirilmiştir. Yapının kısa doğrultusundaki dış açıklıktaki kısa kirişler yeterli performansı sağlamadığı için normal çelik çaprazlar ilave edilmiştir. Güçlendirilen eleman kesitleri ve ilave edilen normal çelik çapraz ile ilgili malzeme davranış özellikleri, bahsedilen bölümlerde sunulmuştur.

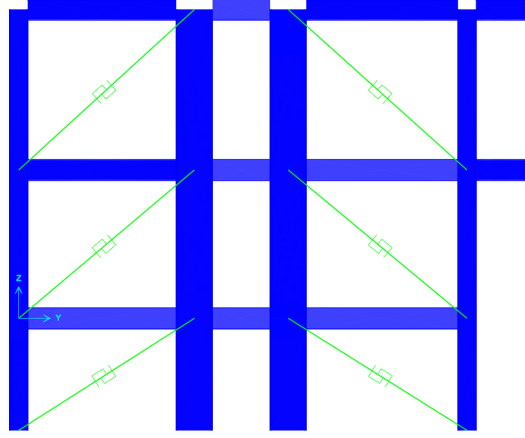
Yapıya ilave edilen elemanlar, mantolanan ve sargılanan mevcut elemanların planları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



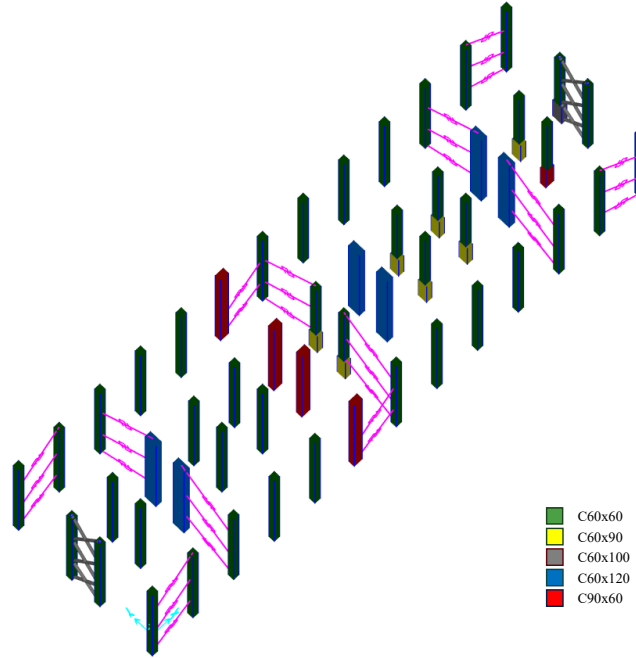
Şekil 6.3: Bina A BÖÇ ile Güçlendirme Modeli İzometrik Görüntüsü



Şekil 6.4: Bina A BÖÇ ile Güçlendirme Modeli X-Z Görüntüsü



Şekil 6.5: Bina A BÖÇ İle Güçlendirme Modeli Y-Z Görüntüsü

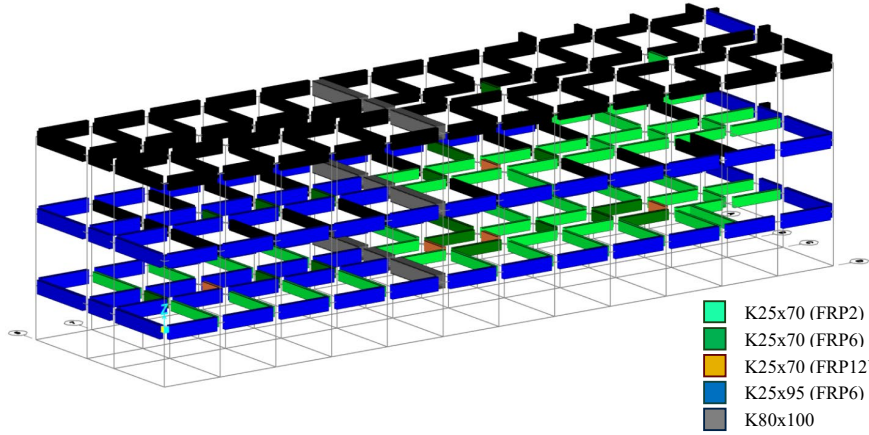


Şekil 6.6: Bina A Betonarme Sargı ile Güçlendirilen Kolonların Yerleşim Planı

Tablo 6.1: Mantolanan Kolon Kesitleri

Mevcut Kesitler	Mantolu Kesitler
30x30/30x40/40x30	60x60
30x60	60x90
30x70	60x100
30x30/30x40/30x60	60x120
2*30x40 (Dilatasyon Aksı)	90x60

Üretici kataloglarına göre, bu çalışmada bulunan FRP katman sayıları uygun gibi görünse de, FRP çalışma etkinliği ve uygulamada karşılaşılabilecek sorunlar göz önüne alındığında, uygulanması önerilen FRP katman sayısının genellikle 3-4 kat mertebelerinde olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, burada bulunan FRP kat sayıları teorik değerler olup, uygulama aşaması dikkate alınmadan hesaplanmıştır.



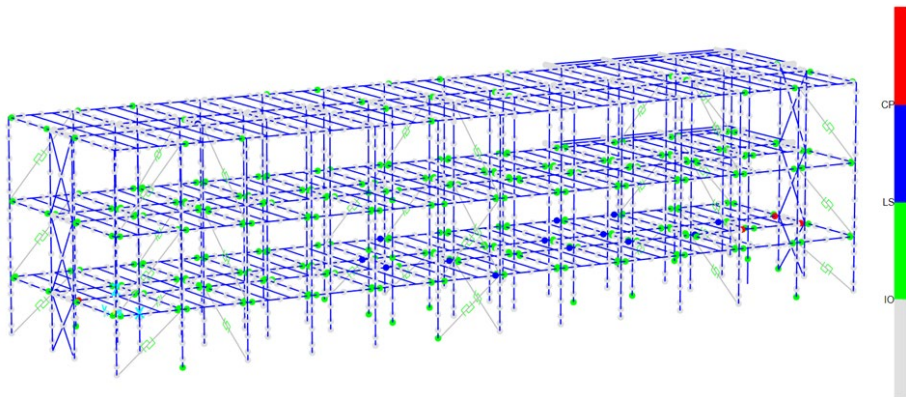
Şekil 6.7: Bina A FRP ile Salgılanan ve Dilatasyon Aksında Mantolanan Kirişler

6.1.3 Seçilen Güçlendirme Yönteminin Binanın Performansına Etkisi

Tavsiye edilen güçlendirme yönteminin uygunluğu ve yapıda oluşacak taban kesme kuvvetlerinin sınırlandırılması amacıyla, yapının hedef ötelemesi ortalama %0.7 olarak belirlenmiştir. Çalışmada kolon ve kirişlerin şekil değiştirme kapasiteleri yapının hedeflenen ötelemesi %0.7 olduğu durumu sağlayacak şekilde güçlendirilmiştir.

Yapının mevcut durumundaki temel problemler, rijitlik eksikliği ve yapıda plastik mafsal mekanizmasının deprem enerjisini sönmüleyecek şekilde kirişlerde oluşmaması olduğu için BÖÇ ilave edilerek güçlendirilmesi uygun görülmüştür. Yapının hedeflenen Kontrollü Hasar performans düzeyini sağlaması için yapılan iteratif analizlerle her kat için gereken BÖÇ adedi ve yerleşim planı belirlenmiştir.

Statik itme ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerle hem mevcut durum hem de güçlendirme sonrası yapının kat ötelemeleri, taban kesme kuvvetleri ve modal analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlara göre, güçlendirme sonrası yapının hem X hem de Y doğrultusunda rijitliğinin ve dayanımının anlamlı ölçüde arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, yapıda hedeflenen %15 sönmü oranına ulaşıldığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak, BÖÇ'ler ile yapılan güçlendirme, yapının deprem performansını iyileştirmiş ve TBDY 2018 performans hedeflerine ulaşılması sağlanmıştır.



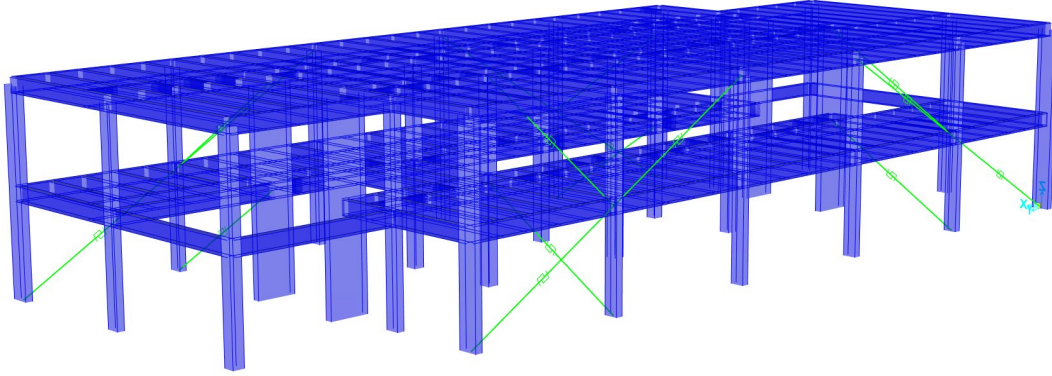
Şekil 6.8: Bina A BÖÇ ile Güçlendirilme Sonrası Yapısal Elemanların Performans Seviyesi

6.2 B Blok Binası

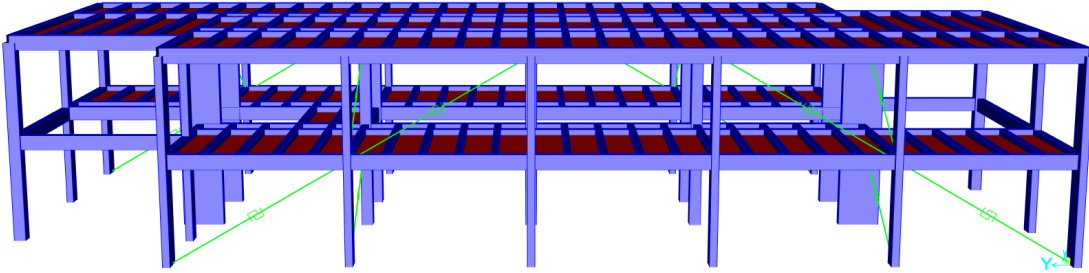
6.2.1 Güçlendirme Tasarımı için Denenen Çalışmalar

Bina B için BÖÇ elemanlar kullanılarak çeşitli güçlendirme alternatifleri geliştirilmiştir. Bu alternatifler, mevcut yapı elemanlarına yapılan müdahaleleri en aza indirmek ve yapı kullanımının kesintiye uğramasını azaltmak amacıyla optimize edilerek uygulanmaya devam edilmiştir.

Aşağıda sunulan güçlendirme alternatifi konfigürasyonunda, BÖÇ elemanları mevcut yapıda herhangi bir değişiklik yapılmaksızın, ilave çelik çerçeve elemanları aracılığıyla ana yapıya entegre edilerek değerlendirilmiştir. Ancak bu durumda, yapının mevcut şekil değiştirme kapasitesinin oldukça düşük olması nedeniyle, eklenen BÖÇ elemanları ötelemeyi azaltacak düzeyde yeterli rijitliği sağlayamamıştır. Gerekli rijitliğin sağlanabilmesi için daha fazla sayıda BÖÇ elemanına ihtiyaç duyulması, bu alternatifi etkinliğini azaltmış ve diğer güçlendirme seçeneklerinin değerlendirilmesine neden olmuştur.

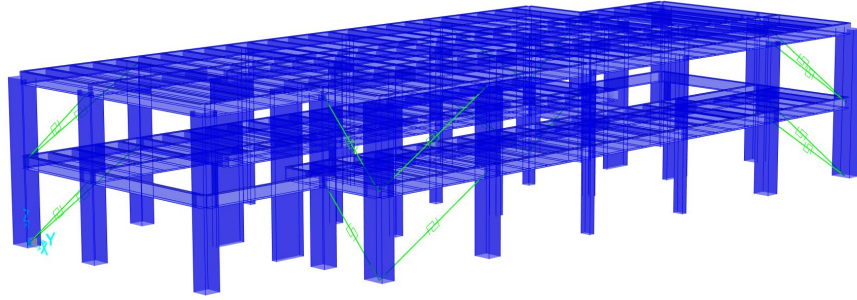


Şekil 6.9: Bina B BÖÇ ile Güçlendirme 1. Alternatifi İzometrik Görünümü

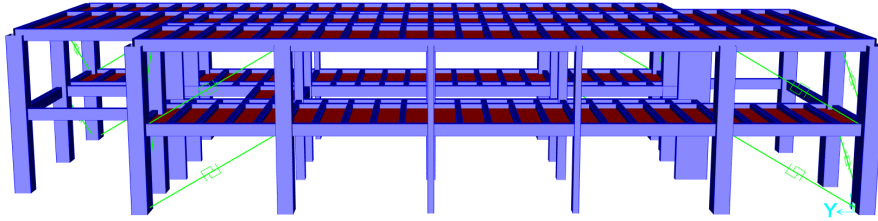


Şekil 6.10: Bina B BÖÇ ile Güçlendirme 1. Alternatifi İzometrik Cephe Görünümü

Bir diğer güçlendirme alternatifi olarak, BÖÇ elemanları ile dıştan güçlendirme yöntemi denenmiştir. Bu yöntemde, yapının rijitliğini artırmak ve bazı kolonların şekil değiştirme kapasitesini iyileştirmek amacıyla, BÖÇ elemanları ile mevcut taşıyıcı sistem arasındaki bağlantılar, ilgili kolonların mantolanması suretiyle sağlanmıştır. Söz konusu güçlendirme uygulaması sonucunda yapı performansında belirgin bir iyileşme gözlemlenmiş olmakla birlikte, mevcut perde elemanlarının oldukça düşük şekil değiştirme kapasiteleri nedeniyle hedeflenen performans düzeyine ulaşılamamıştır. Bahsedilen güçlendirme yöntemi Şekil 6.11 ve Şekil 6.12'de gösterilmiştir.

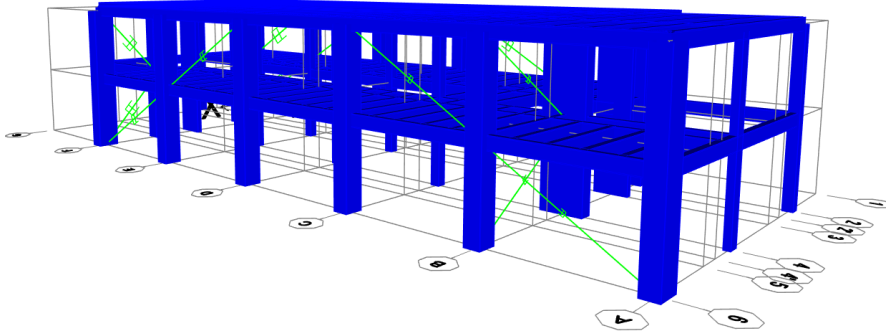


Şekil 6.11: Bina B BÖÇ ile Güçlendirme 2. Alternatifi İzometrik Görünümü

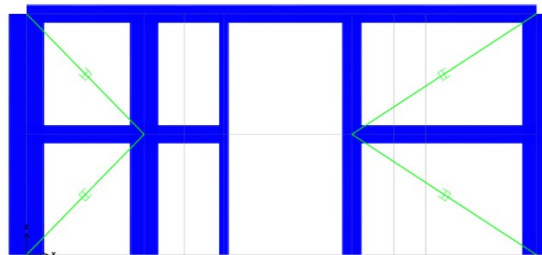


Şekil 6.12: Bina B BÖÇ ile Güçlendirme 2. Alternatifi İzometrik Cephe Görünümü

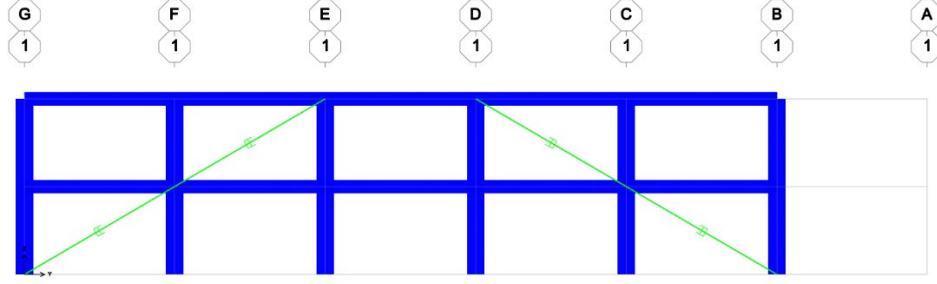
Güçlendirme yöntemlerine alternatif olarak, sönümleyici uygulamasıyla önerilen yerleşim düzeni ve mevcut elemanların mantolama konfigürasyonu korunarak, BÖÇ elemanları ile güçlendirme yöntemi de denenmiştir. Uygun kesit özelliklerine sahip BÖÇ elemanları ile gerçekleştirilen bu uygulamada, hedeflenen performans seviyesi başarıyla sağlanmış fakat mevcut yapıya yapılan müdahale düzeyini azaltan daha etkili bir güçlendirme alternatifi tercih edilmiştir.



Şekil 6.13: Bina B BÖÇ ile Güçlendirme 3. Alternatifi Yapı Modeli İzometrik Görüntüsü



Şekil 6.14: Bina B BÖÇ ile Güçlendirilme 3. Alternatifi Yapı X-Z Kesiti



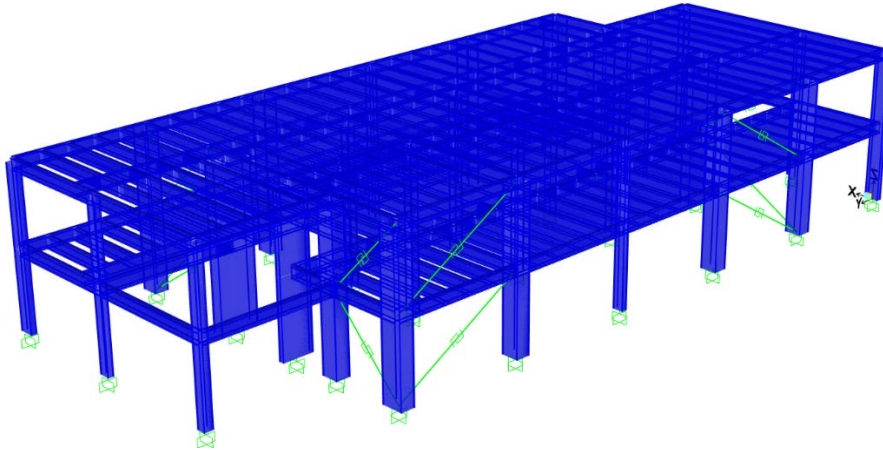
Şekil 6.15: Bina B ÖÇ ile Güçlendirilme 3. Alternatifi Yapı Y-Z Kesiti

6.2.2 Seçilen Güçlendirme Sistemi

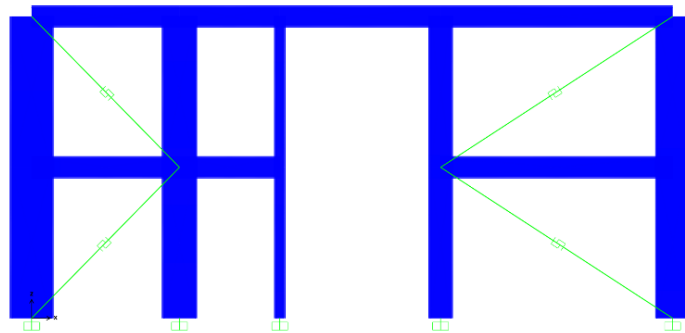
BÖÇ ile güçlendirme yöntemi, Şekil 6.16, Şekil 6.17 ve Şekil 6.18'de gösterildiği gibi kısmi çaprazlı çelik çekme ve basınç kuvvetlerini taşıyan Burkulması Önlenmiş Çaprazlar (BÖÇ) kullanılarak yapılan güçlendirme yöntemidir.

Yapının rijitliğini artırmak, çapraz elemanlarının bağlandığı elemanlardaki ek talepleri karşılamak ve hedeflenen performans düzeyini sağlamak için çaprazların bağlandığı kolonlar aşağıdaki şekillerde gösterildiği gibi mantolanmıştır. Güçlendirilen eleman kesitleri ile ilgili malzeme davranış özellikleri, ilerleyen bölümlerde sunulmuştur.

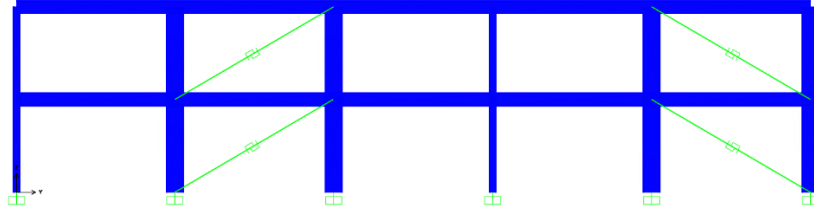
Yapıya ilave edilen elemanlar ve mantolanan mevcut elemanların planları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



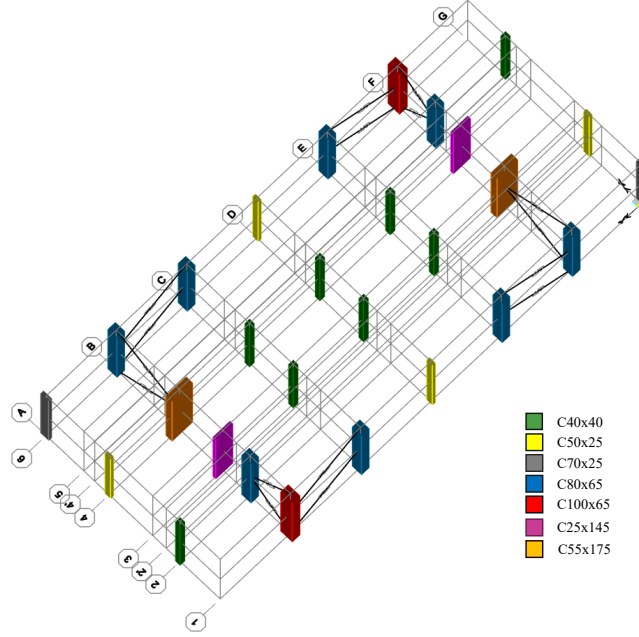
Şekil 6.16: Bina B BÖÇ ile Güçlendirme Modeli İzometrik Görüntüsü



Şekil 6.17: Bina B BÖÇ ile Güçlendirme Modeli X-Z Görüntüsü



Şekil 6.18: Bina B BÖÇ ile Güçlendirme Modeli Y-Z Görüntüsü



Şekil 6.19: Bina B Mantolanmış Kolonların Yerleşimi

Tablo 6.2: Mantolanan Kolon Kesitleri

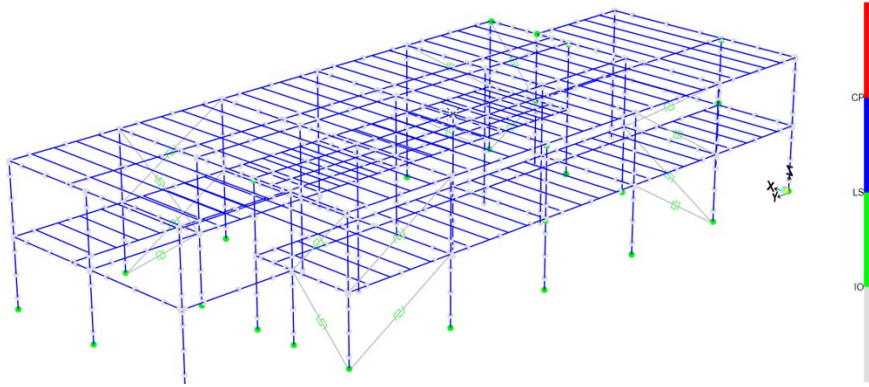
Mevcut Kesitler	Mantolu Kesitler
50x25	80x65
70x25	100x65
25x145	55x175

6.2.3 Seçilen Güçlendirme Yönteminin Binanın Performansına Etkisi

Tavsiye edilen güçlendirme yönteminin uygunluğu ve yapıda oluşacak taban kesme kuvvetlerinin sınırlandırılması amacıyla, yapının hedef ötelemesi ortalama %0.7 olarak belirlenmiştir. Çalışmada kolon ve kirişlerin şekil değiştirme kapasiteleri yapının hedeflenen ötelemesi %0.7 olduğu durumu sağlayacak şekilde güçlendirilmiştir.

Yapının mevcut durumundaki temel problemler, rijitlik eksikliği ve yapıda plastik mafsal mekanizmasının deprem enerjisini sönmeyecek şekilde kirişlerde oluşmaması olduğu için BÖÇ ilave edilerek güçlendirilmesi uygun görülmüştür. Yapının hedeflenen Kontrollü Hasar performans düzeyini sağlaması için yapılan iteratif analizlerle her kat için gereken BÖÇ adedi ve yerleşim planı belirlenmiştir. Statik itme ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerle hem mevcut durum hem de güçlendirme sonrası yapının kat ötelemeleri,

taban kesme kuvvetleri ve modal analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlara göre, güçlendirme sonrası yapının hem X hem de Y doğrultusunda rijitliğinin ve dayanımının anlamlı ölçüde arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, yapıda hedeflenen %15 sönüm oranına ulaşıldığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak, BÖÇ'ler ile yapılan güçlendirme, yapının deprem performansını iyileştirmiş ve TBDY 2018 performans hedeflerine ulaşılması sağlanmıştır.



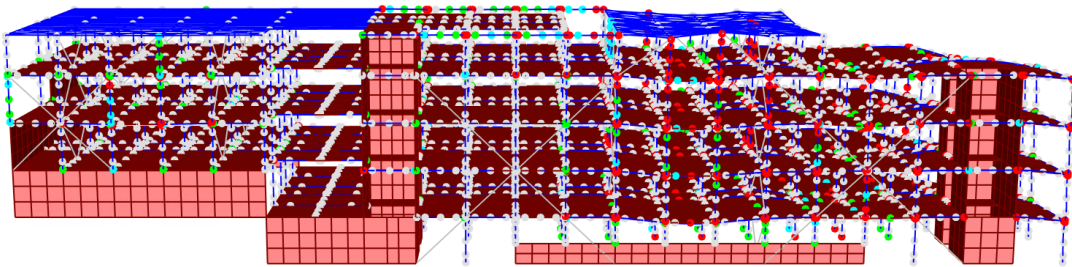
Şekil 6.20: Bina B BÖÇ ile Güçlendirilme Sonrası Yapısal Elemanlarının Performans Seviyesi

6.3 Bina C

6.3.1 Güçlendirme Tasarımı için Denenen Çalışmalar

Bina C için, BÖÇ elemanlar kullanılarak çeşitli güçlendirme senaryoları geliştirilmiştir. Bu senaryolar, mevcut yapı elemanlarına yapılan müdahaleyi en aza indirmek ve yapı kullanımında oluşabilecek kesintileri minimum düzeyde tutmak amacıyla optimize edilmiş ve hedeflenen performans seviyelerini sağlayacak şekilde uygulanmaya devam edilmiştir.

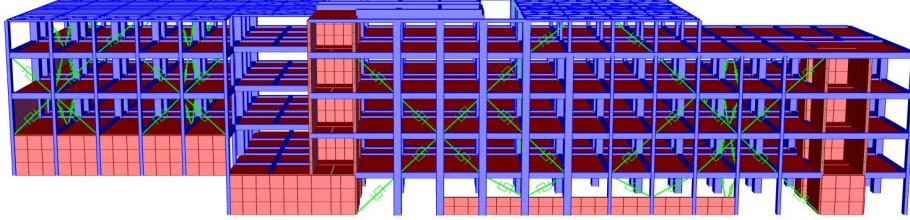
Aşağıda sunulan güçlendirme alternatifleri konfigürasyonunda, BÖÇ elemanlar, mevcut taşıyıcı sisteme herhangi bir müdahalede bulunulmaksızın, ilave çelik çerçeve elemanları aracılığıyla ana yapıya harici olarak entegre edilmiştir. Ancak, yapının aksenal yük taşıma kapasitesinin ve kesit süneklik düzeylerinin oldukça sınırlı olması nedeniyle, ilave edilen BÖÇ elemanları yatay ötelemeyi azaltacak düzeyde yeterli rijitliği sağlayamamıştır. Hedeflenen rijitliğe ulaşabilmesi için daha fazla sayıda BÖÇ elemanına ihtiyaç duyulması, bu alternatifin hem yapısal etkinliğini hem de uygulanabilirliğini azaltmış; bu nedenle diğer güçlendirme seçeneklerinin değerlendirilmesi gerekliliği doğmuştur.



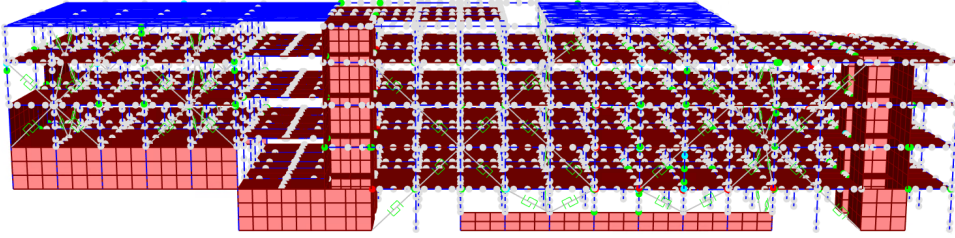
Şekil 6.21: Bina C BÖÇ ile Güçlendirme 1. Alternatifi Çerçeve Sistem Performansı

Düşey yük seviyesi yüksek olan ve BÖÇ elemanlarının ankrajlandığı kolonlar, mantolama yöntemiyle güçlendirilmiş; eş zamanlı olarak BÖÇ elemanlarının sayısı artırılarak, önceki güçlendirme alternatifine kıyasla daha etkili bir uygulama geliştirilmiştir. Aşağıda sunulan bu

konfigürasyon ile yapının genel davranışında belirgin bir iyileşme sağlanmış olmakla birlikte, hedeflenen performans seviyesine tam olarak ulaşamamıştır. Bu nedenle söz konusu yöntem, analiz sonuçları doğrultusunda optimize edilerek nihai güçlendirme stratejisi olarak belirlenmiştir.



Şekil 6.22: Bina C BÖÇ ile Güçlendirme 2. Alternatifi Modeli İzometrik Görüntüsü



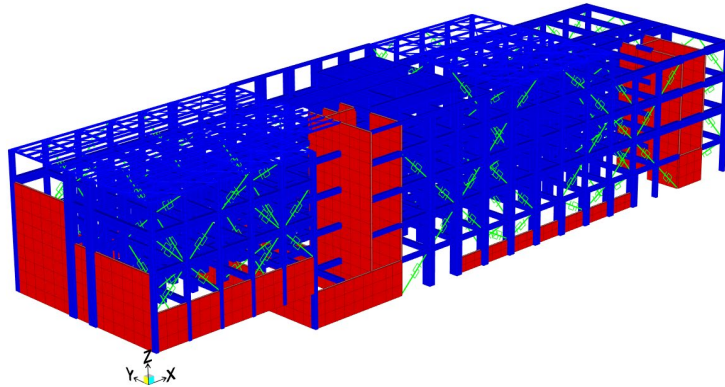
Şekil 6.23: Bina C BÖÇ ile Güçlendirme 2. Alternatifi Çerçeve Sistem Performansı

6.3.2 Seçilen Güçlendirme Sistemi

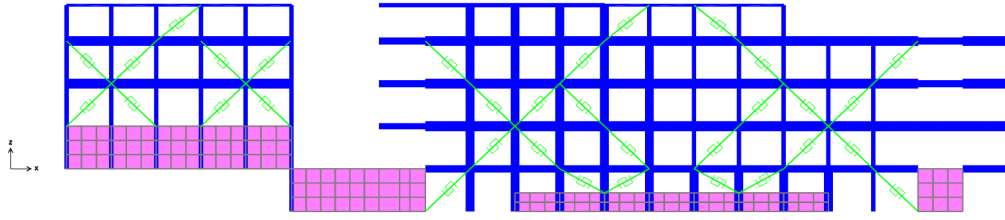
BÖÇ ile güçlendirme yöntemi, Şekil 6.3, Şekil 6.4 ve Şekil 6.5'te gösterildiği gibi kısmi çaprazlı çelik çekme ve basınç kuvvetlerini taşıyan Burkulması Önlenmiş Çaprazlar (BÖÇ) kullanılarak yapılan güçlendirme yöntemidir.

Yapının mevcut halinin değerlendirilmesinde kabul edildiği gibi, dilatasyon aksındaki taşıyıcı elemanlar mantolanıp birleştirilmiştir. Bununla birlikte, yapının rijitliğini artırmak, ilave elemanlardaki ek talepleri karşılamak ve düşey yük güvenliğini sağlamak için bazı kolonlar Şekil 6.27'de belirtildiği gibi mantolanmıştır. Yapıda düşey düzensizlik oluşturan kolonları taşıyan kirişler aşağıda gösterildiği gibi mantolanmıştır.

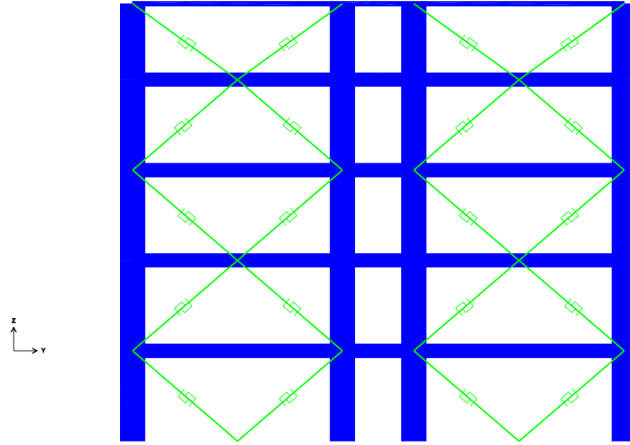
Yapıya ilave edilen elemanlar, mantolanan ve sargılanan mevcut elemanların yerleşimi aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



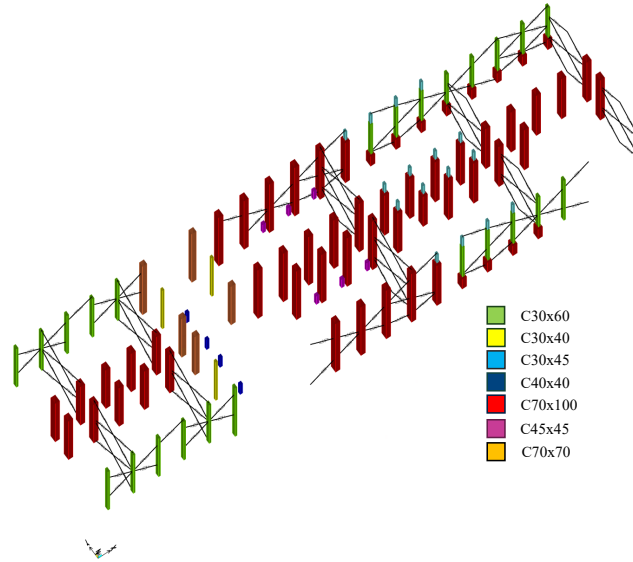
Şekil 6.24: Bina C BÖÇ ile Güçlendirme Modeli İzometrik Görüntüsü



Şekil 6.25: Bina C BÖÇ ile Güçlendirme Modeli X-Z Görüntüsü



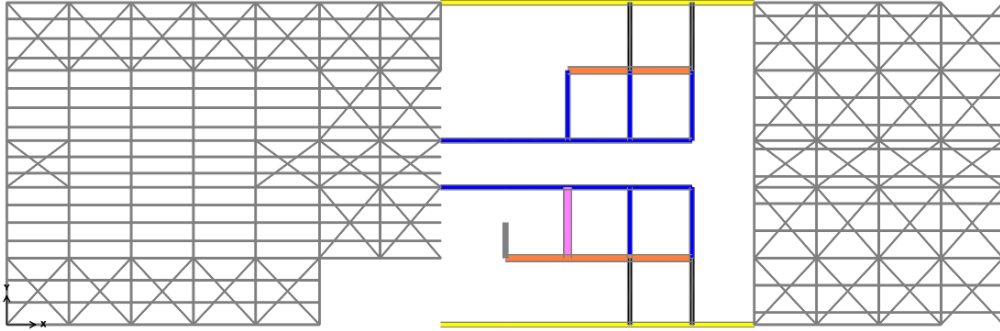
Şekil 6.26: Bina C BÖÇ ile Güçlendirme Modeli Y-Z Görüntüsü



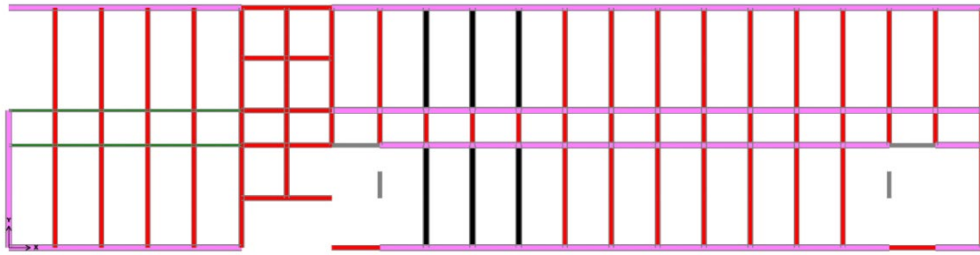
Şekil 6.27: Bina C Mantolama ile Güçlendirilen ve Mevcut Kolonların Yerleşim Planı

Tablo 6.3: Mantolanan Kolon Kesitleri

Mevcut Kesitler	Mantolu Kesitler
30x60	70x100
30x40 + 30x60 (Dilatasyon Aksı)	70x70



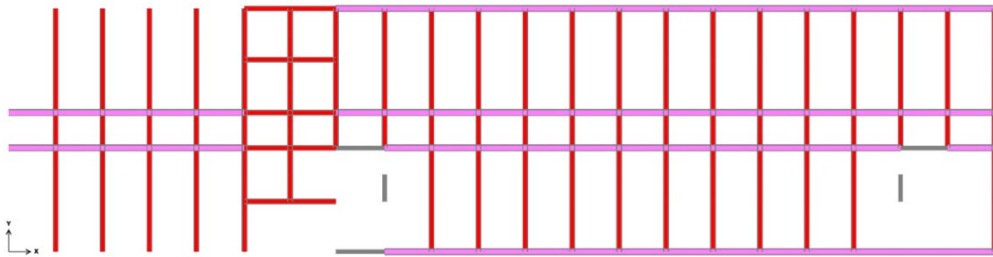
Şekil 6.28: Bina C Çatı Katı Kiriş Yerleşim Planı



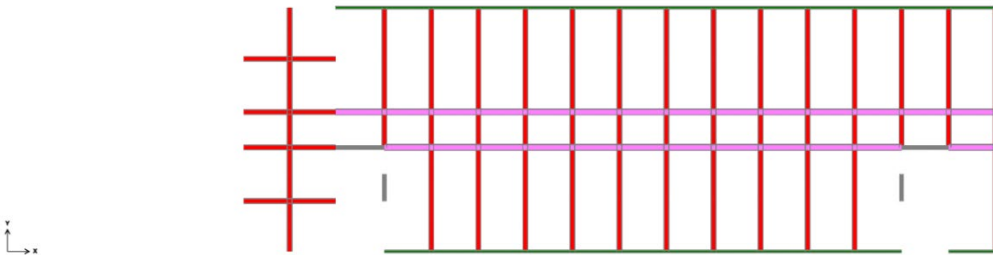
Şekil 6.29: Bina C 2. Kat Kiriş Yerleşim Planı



Şekil 6.30: Bina C 1. Kat Kiriş Yerleşim Planı



Şekil 6.31: Bina C Zemin Kat Kiriş Yerleşim Planı



Şekil 6.32: Bina C Bodrom Kat Kiriş Yerleşim Planı

Tablo 6.4: Mevcut ve Betonarme ile Sargılanan Kolon Kesitleri Lejanti

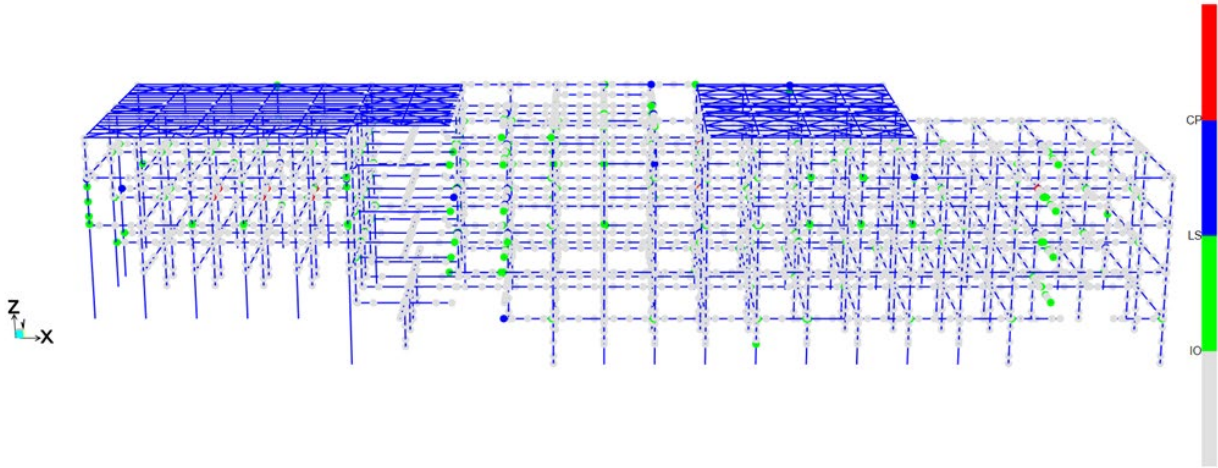
Mevcut Kesitler	Mantolu Kesitler	Renk
K40x55	-	Red
K50x55	K50x80	Black
K50x55	-	Pink
K30x45	-	Grey
K20x55	-	Green
K30x120	-	Blue
K45x120	-	Orange
K30x30	-	Yellow

6.3.3 Seçilen Güçlendirme Yönteminin Binanın Performansına Etkisi

Yapının mevcut durumundaki temel problemler, rijitlik eksikliği ve süneklik yetersizliği olduğu için BÖÇ ilave edilerek güçlendirilmesi uygun görülmüştür. Yapının hedeflenen Kontrollü Hasar performans düzeyini sağlaması için yapılan iteratif analizlerle her kat için gereken BÖÇ adedi ve yerleşim planı belirlenmiştir.

Güçlendirme yönteminin uygunluğu için yapıda oluşacak taban kesme kuvvetlerinin sınırlandırılması ve düşey yükler altında yapı güvenliğini sağlamak amacıyla, ilave elemanların bağlandığı ve düşey yük güvenliği açısından risk teşkil eden kolonların mantolanması önerilmiştir.

Statik itme ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerle hem mevcut durum hem de güçlendirme sonrası yapının kat ötelemeleri, taban kesme kuvvetleri ve modal analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlara göre, güçlendirme sonrası yapının hem X hem de Y doğrultusunda rijitliği ve dayanımının anlamlı ölçüde arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, yapıda hedeflenen %10 sönüm oranına ulaşıldığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak, BÖÇ'ler ile yapılan güçlendirme, yapının deprem performansını iyileştirmiş ve TBDY 2018 performans hedeflerine ulaşılması sağlanmıştır.



8

Şekil 6.33: Bina C BÖÇ ile Güçlendirme Sonrası Yapısal Elemanların Performans Seviyesi

6.4 Güçlendirme Tasarımının Uygulanmasındaki Zorluklar

Kolon mantolaması sırasında kalıp ve donatı yerleştirme alanı dar olabilir. Ayrıca, kolon etrafında tesisat, elektrik boruları ve kaplama elemanları varsa sökülmeleri gerekmektedir. Ek olarak, mevcut kolon donatılarının sıklığına bağlı olarak, yeni eklenecek donatı ankraji açma süreleri değişkenlik göstermektedir. Bununla birlikte, mantolama betonunun mevcut betonla iyi aderans sağlaması gerektiğinden, yüzey hazırlığı için de belirli bir süre harcanması gerekmektedir.

Çelik çaprazlar ve BÖÇ elemanları ile betonarme elemanlar arasındaki birleşimler, kapasite korumalı tasarlanmalıdır. Bu nedenle çelik çaprazların ve BÖÇ elemanların kapasiteleri ve yapı malzeme kalitesi, ankraj detayları için oldukça önemlidir. Düşük malzeme dayanımları ankraj detayları için sorun olabilir. Mantolamayla birlikte yapılacak ankraj ve bağlantı detayları, seçilen çelik çapraz ve BÖÇ kapasiteleri göz önünde bulundurularak tasarlanmalıdır.

BÖÇ elemanları seçilirken, üretici kataloglarında verilen kesit bilgileri ve davranışları dikkate alınarak modelleme yapılmalıdır. Aksi halde, standart olarak üretilen kesitler haricinde yapılan kabuller, uzayan imalat sürelerine neden olabilir. Böyle bir durumda sonradan kataloglara uygun kesitlerin yeniden seçilmesi ve analizlerin tekrar edilmesi gerekebilir. Bu çalışmada, BÖÇ elemanlar için "CoreBrace" tarafından sağlanan kataloglara göre tasarım yapılmıştır.

6.5 Bakım Gereksinimleri

Genel anlamda betonarme elemanların bakım gereksinimleri oldukça düşüktür fakat herhangi bir elemanda beton örtüsünün dökülmesi halinde, donatı korozyonuna karşı ilgili kısım onarılmalıdır. Dış etkenlere açık bölgelerde gerekli yalıtımlar yapılmalıdır. Bunların haricinde, yapı deprem yüklerine maruz kalırsa, deprem sonrası taşıyıcı elemanların ve birleşimlerin hasar durumu kontrol edilmeli ve değerlendirilmelidir.

Çelik çaprazların ve BÖÇ elemanların korozyon riski yüksek olduğundan koruyucu boya veya galvaniz kaplamayla korozyona karşı önlem alınmalıdır ve bu kaplamaların düzenli kontrolleri yapılmalıdır. Bulonlu birleşimlerin düzenli tork kontrolleri yapılmalı, yangına karşı yapılan koruma uygulamaları belirli aralıklarla kontrol edilmelidir.

BÖÇ elemanlar, deprem yer hareketi sonrası kontrol edilmeli ve yapılan incelemeler sonrası gerekmesi halinde değiştirilmelidir. Bu nedenle, BÖÇ elemanların kolayca ulaşılabilir ve değiştirilebilir olması oldukça önemlidir.

6.6 Diğer Afetlere ve İklim Değişikliğine Karşı Dayanıklılığı

Sel felaketi sonucu, betonarme elemanlar sürekli neme/suya maruz kalırsa donatılarda korozyon kontrol edilemez boyutlara ulaşabilir. Çelik elemanlar suya/neme karşı daha hassas olduklarından, korozyonu önlemek için koruyucu boyalar ve kaplamalar yapılmalıdır.

Betonarme elemanlar çelik elemanlara göre yangına karşı daha dayanıklıdır fakat yapılan mantolamanın kalitesi yangın direncini belirleyen önemli faktörlerden biridir. Yapıya eklenen çelik çaprazlar ve BÖÇ elemanlar uygun koruyucu kaplamalarla yangına karşı dirençli hale getirilmelidir.

6.7 Güçlendirmenin Temel Sistemine Etkisi

Yapılan güçlendirmelerle birlikte temelde oluşan taleplerin artması nedeniyle mevcut temellerin güçlendirilmesi gerekebilmektedir. Temel güçlendirme uygulamaları genellikle güçlendirmenin en kritik ve uygulaması en maliyetli bölümlerden biridir. Temel güçlendirmeleri, üst yapıda uygulanan güçlendirmelerin etkinliği ve dolayısıyla yapı performansı için oldukça önem arz etmektedir.

Yapıya eklenen çelik çaprazlar ve BÖÇ elemanlar, yüksek taşıma kapasitesi gerektirmektedir. Mevcut temelin taşıma kapasitesinin yetersiz olması durumunda temelin güçlendirilmesi kaçınılmazdır. Aksi halde, eklenen çelik çaprazlar ve BÖÇ elemanlar etkin bir şekilde çalışmayacak ve analiz edilen model ile uygulanan güçlendirme tutarsız olacaktır.

Temel güçlendirmesi gerekiyorsa, eklenen temellerin eski temeller ile birlikte çalışması garanti edilmelidir. Ters bir durumda yapıda rijitlik ve oturma farkları oluşabilir. Bu nedenle, temellerin birbirleri ile bağlantısına gereken önemin verilmesi gerekmektedir.

Bununla birlikte, güçlendirme sonucu artan deprem yükleri nedeniyle zemin taşıma gücü yetersiz kalabilir. Bu durumda, zemin iyileştirme yöntemlerine başvurulup, oluşan ek talepleri karşılayacak şekilde zemin iyileştirilmesi yapılmalıdır.

6.8 Güçlendirme Sırasında Alınması Gerekli Tedbirler

Yapıya çelik çapraz, BÖÇ eklenmesi ve mevcut kolonların betonarme ile sarılması tahribatlı bir güçlendirme uygulamasıdır. Özellikle paspayı sıyırma, ankrajların eklenmesi ve birleşim noktalarındaki ilave beton-çelik bağlantılarının teşkil edilmesi sırasında bina sakinlerinin rahatsız olması muhtemeldir. Ancak çalışma saatlerinin uygun olarak düzenlenmesi durumunda bu risk minimize edilebilir. Teorik olarak binanın kullanılırken bu güçlendirmelerin yapılması mümkün görünse de uygulamada özellikle güçlendirilecek bölgelere malzeme intikali ve yapım esnasında verilecek rahatsızlık da değerlendirildiğinde güçlendirmelerin binanın kullanımda olmadığı dönemde yapılması tercih edilecektir.

Ek olarak, temel güçlendirmesinde yapılan kazı işleri aşamasında, yapı uygun bir şekilde desteklenmediği takdirde oturma, çatlama ve bölgesel göçmeler meydana gelebilir. Bu nedenle, yapıda yürütülen faaliyetlerin durması veya başka bir yapıya taşınması gerekecektir.



7. Yaklaşık Güçlendirme Maliyetleri

Güçlendirme maliyetleri hesaplanırken kabul edilen birim fiyatlar, yapılacak müdahale için harcanacak süreyle birlikte işçilik maliyetleri, malzeme maliyetleri ve yapılacak müdahaleyle ilgili oluşacak tüm maliyetleri içermektedir. Kabul edilen birim fiyatlar Tablo 7.1'de özetlenmektedir.

Tablo 7.1: Kabul Edilen Birim Fiyatlar

	\$/birim	₺/birim
Çelik (ton)	\$ 2,189	₺ 84,091
Betonarme Sargı/Perde (m ³)	\$ 2,020	₺ 77,609
FRP Kumaş Sargı (m ²)	\$ 122	₺ 4,700
Sönümleyici Cihazlar (adet)	\$ 15,000	₺ 576,300
Burkulması Önlenmiş Çaprazlar (m)	\$ 1,000	₺ 38,420

Yapılan maliyet hesaplamalarında, Dolar/TL paritesi 25.04.2025 tarihine göre 38,42 olarak alınmıştır. Yurtdışından ithal edilecek olan sönümleyici cihaz ve BÖÇ elemanları için gümrük vergileri, ithal edilen ülkeye bağlı olarak %20-40 arasında değişmektedir. Yapılan hesaplamalarda bu vergiler ve KDV dikkate alınmamıştır.

Her bir güçlendirme tasarımı için maliyet hesapları yapıldıktan sonra, toplam kapalı alan dikkate alınarak m² başına maliyet hesaplamaları yapılmıştır. Yapıların toplam kapalı alanları Tablo 7.2'de verilmiştir. Bununla birlikte, incelenen ve güçlendirilen binaların güçlendirme maliyetleri aşağıdaki tablolarda özetlenmiştir.

Tablo 7.2: Yapıların Toplam Kapalı Alanları

	Bina A	BINA B	Bina C	Bina D
Toplam m ²	2400	1000	7850	4000

Tablo 7.3: Bina A Güçlendirme Maliyetleri

Güçlendirmeler	Maliyetler	Maliyet/m ²	Maliyetler	Maliyet/m ²
Dışarıdan Güçlendirme	\$ 944,345	\$ 393	₺ 36,281,741	₺ 15,117
Sönümleyici Cihazlar	\$ 2,112,852	\$ 880	₺ 81,175,778	₺ 33,823
BÖÇ	\$ 1,071,596	\$ 446	₺ 41,170,725	₺ 17,154

Tablo 7.4: Bina B Güçlendirme Maliyetleri

Güçlendirmeler	Maliyetler	Maliyet/m ²	Maliyetler	Maliyet/m ²
Dışarıdan Güçlendirme	\$ 177,711	\$ 178	₺ 6,827,671	₺ 6,828
Sönümleyici Cihazlar	\$ 339,681	\$ 340	₺ 13,050,537	₺ 13,051
BÖÇ	\$ 209,079	\$ 209	₺ 8,032,805	₺ 8,033

Tablo 7.5: Bina C Güçlendirme Maliyetleri

Güçlendirmeler	Maliyetler	Maliyet/m ²	Maliyetler	Maliyet/m ²
Çelik Kule	\$ 1,312,195	\$ 167	₺ 50,414,544	₺ 6,422
Çelik Kule ve Sönümleyici	\$ 2,752,195	\$ 351	₺ 105,739,344	₺ 13,469
BÖÇ	\$ 2,755,195	\$ 351	₺ 105,854,604	₺ 13,484



Tablo 7.6: Bina D Güçlendirme Maliyetleri

Güçlendirmeler	Maliyetler	Maliyet/m ²	Maliyetler	Maliyet/m ²
Dışarıdan Güçlendirme	\$ 1,961,096	\$ 490	₺ 75,345,300	₺ 18,836
Sönümleyici Cihazlar ve BÖÇ	\$ 2,320,575	\$ 580	₺ 89,156,488	₺ 22,289

Yapıların temel sistemiyle ilgili herhangi bir bilgi bulunmadığından, yapılan güçlendirme maliyet hesaplamalarında temel güçlendirmesinden kaynaklanacak maliyetler dikkate alınmamıştır. Yapılacak tasarımların maliyetlerinde, temel güçlendirme maliyetlerinin önemli bir rol oynayacağı unutulmamalıdır.

8. Yöntemlerin Genel Değerlendirmesi ve Öneriler

8.1 Dışarıdan Güçlendirmeler

Dışarıdan yapılan güçlendirme yöntemleri, mevcut binaların taşıyıcı sistemlerine minimum müdahale ile yapının deprem performansını artırmayı hedeflemektedir. Bu yöntemler arasında ilk akla gelen dış cepheye eklenen, binaya çerçeve ekleme yöntemidir . Bu yaklaşımda, binaya dışarıdan yeni bir çerçeve sistem ilave edilerek mevcut taşıyıcı elemanlara ankre edilmekte ve bu şekilde sistem rijitliği ve dayanımı artırılmaktadır . Bunun yanı sıra deprem yer hareketiyle birlikte, elemanlar şekil değiştirerek enerji sönümler böylece sistem sönümüne katkıda bulunurlar. Yapının rijitlik ve dayanımının artırılmasıyla, mevcut taşıyıcı sistemde oluşan talepler azaltılmakta ve böylece yapının deprem performansı iyileştirilmektedir.

Bu yaklaşımda eleman boyutlarının, eklendiği yapının ilgili cephesinde bulunan mevcut eleman boyutlarıyla sınırlı tutulması tavsiye edilir. İlave çerçevenin kolon boyutlarının ilgili doğrultuda mevcut yapı kolonlarından daha büyük imal edilmesi halinde ankraj ile ilgili sorunlar meydana gelmektedir. Bu durumda rijitlik farkından dolayı düzgün bir yük aktarımı sağlanamamakta ve yeni eklenen çerçeve kolonları performans limitlerinin ötesine geçmektedir. Bu sorunları azaltmak amacı ile mevcut eleman boyutları da mantolanarak büyütülebilmekte ancak bu durumda da dışarıdan güçlendirmenin avantajları azalmaktadır.

Dışarıdan güçlendirme yöntemi olarak dışarıdan betonarme perde eklemeleri ve dış cepheye çapraz elemanlar yerleştirme gibi yöntemler de kullanılabilir. Bu tür sistemlerin en büyük avantajı, binanın iç mekan kullanımını en az düzeyde etkileyerek uygulanabilir olmalarıdır. Ayrıca, yapının mevcut taşıyıcı sistemine doğrudan müdahale edilmediğinden, inşaat süresi daha kısa olmaktadır. Öte yandan, dış cephedeki mimari görüntülerin değişmesi, şehircilik ve imar kanunları açısından kısıtlamalara uğrama ihtimali gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Bununla birlikte, binaya bitişik başka yapılar veya binaya bitişik yol olması gibi durumlar, bu güçlendirme tasarımlarının uygulanmasını kısıtlamaktadır. Dışarıdan çerçeve eklenmesi gibi yöntemlerle yapı emsallerinde artış meydana gelmesi, bu yöntemlerle güçlendirme projelerini suistimale açık bir hale getirebilir. Bu durumda, kentsel dönüşümle yıkılıp yeni yapılan binalarda daha küçük ev/ofis/işyeri sahibi olacak olan mülk sahipleri, normal şartlarda güçlendirmeye uygun olmayan binaları, bu yöntemlerle güçlendirmeye başvurabilir. Bu nedenle, bu yöntemlerle güçlendirme tasarımlarının uygunluğunun dikkatle incelenmesi gerekmektedir.

Tasarım aşamasında, sistem dayanımıyla birlikte bölgesel dayanımlar da göz önünde bulundurulmalıdır. Dışarıdan güçlendirme elemanları ile mevcut bina döşemesi veya kolon-kiriş düğüm noktaları arasında yapılacak birleşimler, sistemin performansını doğrudan etkilemektedir. Bu birleşim kapasitelerinin yetersiz olması durumunda düzgün yük aktarımı sağlanamamakta ve sistem etkin bir şekilde çalışmamaktadır. Bu durum, yapılan güçlendirme tasarımının performansı ile doğrudan ilgilidir. Bu nedenle yapılan güçlendirme yönteminin etkinliği için birleşim bölgelerinin tasarımı, analizlerden elde edilen kuvvetler dikkate alınarak uygun bir şekilde yapılmalıdır.

Güçlendirme sisteminin temele etkisi tasarımın sonunda bulunan önemli ve gözardı edilmemesi gereken bileşenidir. Dış cepheye yerleştirilen çerçeve sistemler, artan rijitlikten dolayı yapıya etkiyen toplam deprem talebini ve yapı yük taşıma kapasitesini artırmaktadır. Bu nedenle, yapı temeline daha büyük kuvvetler etkiyecektir. Bu yaklaşımın amacı, temele iletilen talepleri binanın dış cephelerine eklenen elemanlara yönlendirerek, söz konusu elemanlar için mevcut temel sistemine en az müdahale ederek bütünleşik yeni bir temel yapısının oluşturulmasını sağlamaktır.

Dışarıdan güçlendirme sistemlerinin bina kullanımına etkisi de görece düşüktür. Özellikle bina dışına kurulan ve iç mekanlara müdahale etmeyen sistemler, binanın kullanımı devam ederken uygulanabilmektedir. Bu yöntem, hastane, okul, otel gibi kullanım kesintisinin büyük sorun yaratacağı yapılar için büyük avantaj sağlamaktadır. Ancak mevcut binanın beton dayanımlarının bu sistemlere entegre olabilmesi için yeterli düzeyde olması gerektiğini de unutmamalıyız.

8.2 Sönümleyici Cihazlar


Sönümleyiciler, tasarım aşamasında veya güçlendirme tasarımlarında yapılara eklenerek, deprem etkileri altında sistem sönüm oranını artırarak yapı performansını iyileştirmek için kullanılan cihazlardır. Sönümleyiciler için birçok farklı bağlantı tasarımları yapılabilmekle birlikte, bu elemanlar doğrudan mevcut taşıyıcı elemanlara da bağlanabilir. Bu uygulamada elemanların ve düğüm noktalarının, eklenen sönümleyicilerden kaynaklanan ek taleplere karşı yeterli dayanımı olması gerekmektedir. Düğüm noktası kesme direncinin artırılması gerekliliği ile detaylar geliştirilmeli, bu amaçla, birçok durumda kolonların mantolanması gerekebilmektedir. Sönümleyici cihazların ve varsa bağlandıkları çelik çaprazların bağlantıları kapasite korumalı tasarlanmalıdır. Aynı şekilde, bağlantıların mevcut betonarme elemanlara ankrajları da aynı kuvvetlere karşı koyabilecek dayanıma sahip olmalıdır.

Bununla birlikte, sönümleyici cihaz eklenen açıklıklara çelik çerçeveler eklenebilir. Bu çerçeveler mevcut betonarme çerçeveye ankre edilip, çelik çerçeve içine sönümleyici cihazlar yerleştirilerek, deprem yükleri altında cihazlarda meydana gelen kuvvetler çelik çerçeve yardımıyla dağıtılmış olur. Böylece, elemanların birleşim noktalarında meydana gelen talepler azaltılmış olacaktır.

Her iki yöntem için, analizlerde kullanılan sönüm sistemi özellikleriyle sahada uygulanan sönüm sisteminin birbiriyle tutarlı olması, yapılan güçlendirme tasarımının doğruluğu için önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle, birleşimlerden ve diğer faktörlerden kaynaklanan boyut değişiklikleri göz önünde bulundurulmalıdır.

Dış akslara eleman eklenerek yapılan güçlendirme tasarımının, hedef performans kriterlerini sağlaması için yapının plan boyutları belirleyici faktörlerden biridir. Plan boyutlarına bağlı olarak dış akslara yapılan güçlendirme sistemleri, hedef performans kriterlerini sağlamayabilir. Bu durumda, bina içine müdahalede bulunmak gerekmektedir.

Bu duruma alternatif olarak, bina dışına inşa edilen çelik veya betonarme kuleler yardımıyla sistem sönüm oranı artırılabilir. Bir veya iki katlı yapılarda bina dışına yapılacak betonarme kuleler ile bina arasına yatay bir şekilde eklenen sönümleyicilerle hedef performans limitleri sağlanabilir. Daha yüksek binalar için bahsedilen yöntem, perdelerin eğilmeye çalışması sebebiyle etkin bir şekilde çalışmamaktadır. Yapıyla birlikte deforme olan perdeler,



sönümleyicilerin uzayıp sıkışmasını engelleyerek sistemin düşük verimle çalışmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, bu yöntemin az katlı binalar için daha uygun olduğu söylenebilir.

Bina dışına yapılan betonarme veya çelik kuleler ile yapılabilecek alternatif güçlendirme yöntemi, bu kulelerin altına sönümleyici cihazların yerleştirilmesi ile yapılabilir. Bu güçlendirme yönteminde, kulelerin ortasına mafsallı mesnetler, köşelerine ise sönümleyici cihazlar yerleştirilmektedir. Kulelerin ortalarına yerleştirilen mafsallı mesnetler sayesinde, kulelerin dönmeye karşı rijitliği bulunmamakta ve sönümleyici cihazlar, yapı yer değiştirdikçe neredeyse rijit gövde hareketiyle eğilen kuleler sayesinde uzayıp kısalarak sisteme ek sönüm sağlamaktadır.

Yapı dışına yapılan kuleler sayesinde, bina içine yapılacak olan müdahale aks açıklıklarında yapılacak olan güçlendirme tasarımlarına göre daha az olabilir. Diğer taraftan, dışarıya eklenen kuleler için bina dışında yeterli alanın olması gerekmektedir. Dışarıya inşa edilen kuleler yardımıyla birden fazla blok aynı anda tutularak hedef yer değiştirmeleri azaltılabilir. Bununla birlikte, aks açıklıklarında yapılacak olan güçlendirme alternatifinde sönümlenecek olan enerji miktarı, daha az sönümleyici cihazı kule altına yerleştirerek sönümlenebilir. Mevcut yapı ve yapının bulunduğu çevre dikkate alınarak, uygun olan yöntem seçilerek güçlendirme tasarımı tamamlanmalıdır.

Sönümleyici cihazlar şekil değiştirerek sisteme ek sönüm sağlayıp, deprem yer hareketi kaynaklı talepleri azaltan elemanlardır. Bu nedenle, sönümleyici cihazların eklendiği yapıların yaklaşık %0,7 görelî öteleme kadar şekil değiştirme kapasitelerinin olması gerekmektedir. Sönümleyici cihazların performans limitleri, çelik çapraz veya betonarme perdelerle göre daha fazla olduğundan, belirli bir seviyede sünek olan yapılar için, sönümleyiciler yardımıyla sünek güçlendirme tasarımları yapılabilir. Yer değiştirme kapasitesi düşük olan ve süneklik düzeyi kısıtlı olan yapılar sönümleyici kullanılarak güçlendirilmek için uygun yapılar değildir. Bu tür yapıların taşıyıcı elemanları güçlendirilerek sünek hale getirildikten sonra, yenilikçi yöntemlerle güçlendirilerek hibrit bir tasarım ortaya konulabilir. Bu seviyelerde yer değiştirmeler için yapıya yapılması gereken müdahaleler göz önünde bulundurularak, yenilikçi yöntemlerle güçlendirme tasarımlarının etkinliğine karar verilmelidir.

Belirli bir seviyede sünek olan yapılar, yine sünek sayılabilecek sönümleyici cihazlarla güçlendirildiğinde doğrusal olmayan kuvvetler çok artmamaktadır. Bu nedenle, temel için gereken güçlendirmelerin, geleneksel yöntemlerle yapılan güçlendirme tasarımlarından daha az olduğu söylenebilir. Sönümleyici cihazlarla güçlendirilmek istenen yapı sünekliğini artırmak için taşıyıcı elemanların çoğuna müdahale edilmesi gerekiyorsa, sünek olmayan güçlendirme tasarımları düşünülebilir. Bu durumda, binaya çelik çapraz ve betonarme perdeler eklenerek, yer değiştirme talepleri mevcut elemanların kapasitelerine eşit veya daha düşük değerlere çekilebilir. Böylelikle, rijitleştirilen yapının yük taşıma kapasitesinin artırılacağı ve dolayısıyla temel sisteminin çok daha yüksek kuvvetlere maruz kalacağı unutulmamalıdır.

Sönümleyici cihazlar kullanılarak yapılan sünek güçlendirme tasarımları ile temelde meydana gelecek olan doğrusal olmayan kuvvetler çok artırılmadan hedef performans limitleri sağlanabilir. Bu durumda temelde yapılacak güçlendirmeler en aza indirgenmiş olmaktadır. Böylelikle, geleneksel yöntemlerle güçlendirme tasarımlarında elde edilen taban kesme kuvvetleriyle sönümleyici cihazlar kullanılarak yapılan güçlendirme tasarımlarında

elde edilen taban kesme kuvvetleri arasındaki fark göz önüne alındığında, temel güçlendirmesi için oldukça önemli bir tasarrufa gidilmiş olacaktır.

Yapılan güçlendirme tasarımlarının maliyetleri hesaplanırken, bahsedilen temel güçlendirmesi için yapılacak olan güçlendirme maliyetleri arasındaki farkla birlikte sönümleyici cihaz maliyetleri de belirleyici faktörlerden biridir. Seçilen güçlendirme tasarımı için kaç adet sönümleyici cihaz seçileceği ve hangi özelliklere sahip olacağı bu maliyeti etkileyen önemli bir unsurdur.

Sünek olmayan yapıların sünekliğini artırmak için yapılacak müdahalelerin yapının kullanımını etkilemesini de göz önünde bulundurarak maliyet hesabı yapılmalı ve uygun olan güçlendirme yöntemi seçilmelidir.

Sönümleyici cihazların doğru modellenmesi, yapılan güçlendirme tasarımının doğruluğu için önemlidir çünkü modellenen sönümleyicilerin gerçeğe uygun, üretilebilir olması ve yapılan güçlendirme tasarımının uygulanabilirliği ile doğrudan ilgilidir. Aksi takdirde modellenen güçlendirme tasarımı ile yapılan güçlendirme uygulaması tutarsız olacaktır.

Modellemede kullanılan elemanların, üreticiler tarafından belirtilen sönümleyici cihaz davranışını gerçeğe en yakın şekilde yansıtması gerekmektedir. Bu amaçla, üretici kataloglarında verilen, modellenen yapıya uygun sönümleyiciler seçilmeli, seçilen cihazların parametreleri uygun bir şekilde sayısal modele tanımlanmalıdır.

Sönümleyici cihazların ve bağlandığı çelik çaprazların birleşimleri kapasite korumalı tasarlanmalıdır. Bu nedenle, seçilen sönüm sistemi ve yapı malzeme kalitesi, ankraj detayları için oldukça önemlidir. Düşük malzeme dayanımları ankraj detayları için sorun olabilir. Mantolamayla birlikte yapılacak ankraj ve bağlantı detayları, seçilen sönümleyici cihaz kapasitesi göz önünde bulundurularak tasarlanmalıdır.

Sönümleyici cihazların, modellendiği gibi uzayıp kısılması için uygulamada bu mesafenin sağlandığından emin olunmalıdır. Bu mesafelerin olmadığı durumlarda analizlerde elde edilen sönüm oranına ulaşamayacaktır. Cihazların montajı sırasında dışmerkezlik ve açısal sapma kontrolü kesinlikle yapılmalıdır. Montaj sırasında bu gibi sorunların cihazların etkinliğini düşüreceği ve dolayısıyla yapılan hesaplamalara uyumsuz imalat yapılma olasılığı ve riski vardır ve bu tür hataların bertaraf edilmesi için gerekli önlemler alınmalıdır.

Cihazların ulaşılabilirliğini engelleyecek uygulamalardan kaçınılmalıdır. Bu sayede, bakımları kolaylıkla yapılmalı ve büyük depremler sonrası gerekmesi halinde cihazların değiştirilmesi basit ve pratik olmalıdır.

Sönümleyici cihazların etkin bir şekilde çalışması, yapının şekil değiştirmesi ile doğrudan ilişkilidir çünkü sönümleyici cihazlarla yapılacak güçlendirme tasarımı sünek bir tasarımdır. Bu nedenle, şekil değiştirme kapasitesi olmayan süneklik düzeyi kısıtlı yapılar, sönümleyici cihazlar kullanılarak güçlendirilmek istendiğinde, bu yapıların süneklik düzeyinin artırılması gerekmektedir. Dolayısıyla, sönümleyici cihazlar kullanılarak güçlendirilecek yapının güçlendirme sırasındaki kullanım durumu, mevcut yapı süneklik düzeyine ve süneklik düzeyinin artırılması için gereken müdahalelere bağlıdır.

8.3 BÖÇ

Burkulması Önlenmiş Çaprazlar (BÖÇ) yapı dış akslarına eklenerek yapı performansı iyileştirilebilir. Bu uygulamada elemanların ve düğüm noktalarının, eklenen BÖÇ elemanlardan kaynaklı ek taleplere karşı yeterli dayanımı olması gerekmektedir. Düğüm noktası kesme direncinin artırılması gerekliliği ile detaylar geliştirilmeli, bu amaçla da birçok durumda kolonların mantolanması gerekebilmektedir. BÖÇ elemanların yapı ile olan bağlantıları kapasite korumalı tasarlanmalıdır. Aynı şekilde, bağlantıların mevcut betonarme elemanlara ankrajları da aynı kuvvetlere karşı koyabilecek kadar dayanıma sahip olmalıdır.

Bununla birlikte, BÖÇ elemanların eklendiği açıklıklara çelik çerçeveler eklenebilir. Bu çerçeveler mevcut betonarme çerçeveye ankre edilip, çelik çerçeve içine BÖÇ elemanlar yerleştirilerek, deprem yükleri altında cihazlarda meydana gelen kuvvetler çelik çerçeve yardımıyla dağıtılmış olur. Dolayısıyla, elemanların birleşim noktalarında meydana gelen talepler azaltılmış olacaktır.


Her iki yöntem için, analizlerde kullanılan BÖÇ elemanların özellikleriyle sahada uygulanan sistemin birbiriyle tutarlı olması, yapılan güçlendirme tasarımının doğruluğu için önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle, birleşimlerden ve diğer faktörlerden kaynaklanan boyut değişiklikleri göz önünde bulundurulmalıdır.

Dış akslara eleman eklenerek yapılan güçlendirme tasarımının, hedef performans kriterlerini sağlaması için yapının plan boyutları belirleyici faktörlerden biridir. Plan boyutlarına bağlı olarak dış akslara yapılan güçlendirme sistemleri, hedef performans kriterlerini sağlayabilir. Bu durumda, bina içine müdahalede bulunmak gerekmektedir.

Burkulması önlenmiş çelik çaprazlar şekil değiştirerek sisteme ek sönüm sağlayan, aynı zamanda yapı rijitliğine önemli katkıda bulunan elemanlardır. Bu elemanlar sisteme sönüm sağladıkları için, aynı rijitlik katkısında bulunan çelik çaprazlara göre depremden kaynaklanan taleplerin azalmasını sağlarlar. . Sönüm oranının artması için , bu elemanların şekil değiştirme kapasitelerinin olması gereklidir ve bu sayede deprem sırasında oluşan enerjinin önemli bir bölümü yutulacaktır.

Burkulması önlenmiş çelik çaprazlar, yer değiştirme bazlı sönümleyiciler olduklarından, yapı şekil değiştirme kapasitesinin bu elemanların yaptığı sönüme doğrudan etkisi bulunmaktadır. Bu nedenle, BÖÇ elemanların eklendiği yapıların süneklik düzeyi çok kısıtlı olmamalı ve yapı elemanlarının şekil değiştirme kapasitelerinin olması gerekmektedir. BÖÇ elemanların performans limitleri, çelik çapraz veya betonarme perdelerle göre daha fazla olduğundan, belirli bir seviyede sünek olan yapılar BÖÇ elemanlar yardımıyla sünek olarak güçlendirilebilmektedir. Yer değiştirme kapasitesi düşük olan ve süneklik düzeyi kısıtlı olan yapılar BÖÇ elemanlar kullanılarak güçlendirilmek için uygun yapılar değildir. Bu tür yapıların taşıyıcı elemanları güçlendirilerek sünek hale getirildikten sonra, yenilikçi yöntemlerle güçlendirilerek ortaya hibrit bir tasarım konabilir. Bu seviyelerde yer değiştirmeler için yapıya yapılması gereken müdahaleler göz önünde bulundurulup, yenilikçi yöntemlerle güçlendirme tasarımlarının etkinliğine karar verilmelidir.

Belirli bir seviyede sünek olan yapılar, yine sünek BÖÇ elemanlarla güçlendirildiğinde doğrusal olmayan kuvvetler, geleneksel yöntemlerle güçlendirme tasarımlarında elde edilen sonuçların altında kalmaktadır. BÖÇ elemanların yapıya sağladığı rijitlik sebebiyle sönümleyici cihazlara göre temelde elde edilen kuvvetler daha fazladır. Bununla birlikte,



BÖÇ elemanların sünek olması sayesinde, aynı rijitliğe sahip çelik çaprazlarla veya betonarme perdelerle yapılan güçlendirme tasarımlarında hesap edilen taban kesme kuvvetleri, BÖÇ kullanılarak temel sistemi için elde edilen kuvvetlerden oldukça büyüktür. Bu nedenle, temel için gereken güçlendirmelerin, geleneksel yöntemlerle yapılan güçlendirme tasarımlarında daha fazla olduğu söylenebilir.

BÖÇ elemanlarla güçlendirilmek istenen yapı sünekliğini artırmak için taşıyıcı elemanların çoğuna müdahale edilmesi gerekiyorsa, sünek olmayan güçlendirme tasarımları düşünülebilir. Bu durumda, binaya çelik çapraz ve betonarme perdeler eklenerek, yer değiştirme talepleri mevcut elemanların kapasitelerine eşit veya daha düşük değerlere çekilebilir. Böylelikle, rijitleştirilen yapının yük taşıma kapasitesinin artırılacağı ve dolayısıyla temel sisteminin çok daha yüksek kuvvetlere maruz kalacağı unutulmamalıdır. BÖÇ elemanlar kullanılarak yapılan sünek güçlendirme tasarımları ile temelde meydana gelecek olan doğrusal olmayan kuvvetler çok artırılmadan hedef performans limitleri sağlanabilir. Bu durumda temelde yapılacak güçlendirmeler en aza indirgenmiş olmaktadır. Böylelikle, geleneksel yöntemlerle güçlendirme tasarımlarında elde edilen taban kesme kuvvetleriyle BÖÇ elemanlar kullanılarak yapılan güçlendirme tasarımlarında elde edilen taban kesme kuvvetleri arasındaki fark göz önüne alındığında, temel güçlendirmesi için oldukça önemli bir tasarrufa gidilmiş olacaktır.

Yapılan güçlendirme tasarımlarının maliyetleri hesaplanırken, bahsedilen temel güçlendirmesi için yapılacak olan güçlendirme maliyetleri arasındaki farkla birlikte BÖÇ maliyetleri de belirleyici faktörlerden biridir. Seçilen güçlendirme tasarımı için kaç adet BÖÇ seçileceği ve hangi özelliklere sahip olacağı bu maliyeti etkileyen önemli bir unsurdur.

Sünek olmayan yapıların sünekliğini artırmak için yapılacak müdahaleler ve bu müdahaleler dolayısıyla yapının kullanım durumu da unutulmaması gereken bir başka etkenlerden biridir. Bahsedilen bütün bu konular ele alınarak maliyet hesabı yapılmalı ve uygun olan güçlendirme yöntemi seçilmelidir.

Burkulması önlenmiş çelik çaprazların modellenmesi, yapılan güçlendirme tasarımının doğruluğu için oldukça önemlidir çünkü modellenen elemanların gerçeğe uygun, üretilebilir olması ve yapılan güçlendirme tasarımının uygulanabilirliği ile doğrudan ilgilidir. Aksi takdirde modellenen güçlendirme tasarımı ile yapılan güçlendirme uygulaması tutarsız olacaktır.

Modellemede kullanılan elemanların, üreticiler tarafından belirtilen, BÖÇ elemanların davranışını gerçeğe en yakın şekilde yansıtması gerekmektedir. Bu amaçla, üretici kataloglarında verilen, modellenen yapıya uygun BÖÇ elemanları seçilmeli, seçilen elemanların parametreleri uygun bir şekilde sayısal modele tanımlanmalıdır.

Burkulması önlenmiş çelik çaprazların bağlantıları ve kolon-kiriş gibi elemanlarla birleşimleri kapasite korumalı tasarlanmalıdır. Bu nedenle, seçilen eleman kapasitesi ve yapı malzeme kalitesi, ankraj detayları için oldukça önemlidir. Düşük malzeme dayanımları ankraj detayları için sorun olabilir. Mantolamayla birlikte yapılacak ankraj ve bağlantı detayları, seçilen elemanların yük taşıma kapasiteleri göz önünde bulundurularak tasarlanmalıdır.

BÖÇ elemanların montajı sırasında dışmerkezlilik ve açısal sapma kontrolü kesinlikle yapılmalıdır. Montaj sırasında bu gibi sorunların elemanların etkinliğini düşüreceği ve dolayısıyla yapılan hesaplamalara uygunsuz imalat yapılmış olunacağı bilinmelidir.



BÖÇ elemanların ulaşılabilirliğini engelleyecek uygulamalardan kaçınılmalıdır. Bu sayede, bakımları kolaylıkla yapılmalı ve büyük depremler sonrası gerekmesi halinde elemanların değiştirilmesi zorlaştırılmamalıdır.

Burkulması önlenmiş çelik çaprazların etkin bir şekilde çalışması, yapının şekil değiştirmesi ile doğrudan ilişkilidir çünkü BÖÇ elemanlarla yapılacak olan güçlendirme tasarımı sünek bir tasarımdır. Bu nedenle, şekil değiştirme kapasitesi olmayan süneklik düzeyi kısıtlı yapılar, BÖÇ elemanlar kullanılarak güçlendirilmek istendiğinde, bu yapıların süneklik düzeyinin artırılması gerekmektedir. Dolayısıyla, bu elemanlar kullanılarak güçlendirilecek yapının güçlendirme sırasındaki kullanım durumu, mevcut yapı süneklik düzeyine ve süneklik düzeyinin artırılması için gereken müdahalelere bağlıdır.



9. Yöntemlerin Karşılaştırması

Aşağıdaki bölümlerde, yapılan güçlendirme tasarımının değerlendirilmesi yapılmıştır. Yapılan değerlendirme; Performans Kıyaslaması, Bina Temeline Etkilerinin Kıyaslaması, Uygulama Zorluklarının Kıyaslaması ve Maliyetlerin Kıyaslaması olarak 4 ana başlıkta ele alınmıştır. Tablolarda bulunan yıldız sembolleri olumlu durumları işaret etmektedir.

Tablo 9.1: Performans Kıyaslaması

	Dışarıdan Güçlendirmeler	Sönümleyici	BÖÇ
Bina A	★	★	★
Bina B	★★	★★★	★★★
Bina C	★★	★★★	★★
Bina D	★	★	★

Tablo 9.2: Bina Temeline Etkilerinin Kıyaslaması

	Dışarıdan Güçlendirmeler	Sönümleyici	BÖÇ
Bina A	★	★★	★★
Bina B	★	★★★	★★
Bina C	★★	★★★	★
Bina D	★	★★	★★

Tablo 9.3: Uygulama Zorluklarının Kıyaslaması

	Dışarıdan Güçlendirmeler	Sönümleyici	BÖÇ
Bina A	★	★	★
Bina B	★★	★★	★★
Bina C	★★	★★	★
Bina D	★	★	★

Tablo 9.4: Maliyetlerin Kıyaslaması

	Dışarıdan Güçlendirmeler	Sönümleyici	BÖÇ
Bina A	★★★	★	★★
Bina B	★★★	★	★★
Bina C	★★★	★	★
Bina D	★★★	★	★



10. Sonuç

Türkiye’de bulunan yapı stoğu dikkate alındığında, yapıların malzeme kalitelerinin düşük olduğu görülmektedir. Malzeme kaliteleri, binaların inşa edildiği tarihte yürürlükte olan yönetmelik şartlarını sağlıyor olsa da Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018’de (TBDY 2018) belirtilen en düşük malzeme kalitelerinin oldukça altında olduğu bilinmektedir. Bunun yanı sıra, 2000 yılı öncesi inşa edilen birçok binada etriye sıklaştırması bulunmamaktadır. Etriye sıklaştırması olan binalarda da sargılama etkisinin yetersiz olduğu görülmüştür. Bunun çeşitli nedenleri vardır, ve ne önemlisi etriye kancalarının 135 derece bükülmeyip 90 derece yapılmış olması, ikinci sırada ise etriye hesabında yönetmelik şartlarına uyum sağlanmaması yetersiz çap ve sayıda etriye konmasıdır. Bu nedenle, etriye sıklaştırması olmasına rağmen sargılama etkisi sağlanamayabilir. Sargılama etkisi, taşıyıcı eleman boyutları, malzeme kalitesi ve sıklaştırma durumlarının tümüyle ilgilidir ve yapı sünekliğine doğrudan etkisi bulunmaktadır. Etriye sıklaştırması yapılan yapıların, eleman boyutları ve malzeme kaliteleri dikkate alınmadan sünek olduğunu söylemek doğru ve yeterli bir yaklaşım değildir.

TBDY 2018’de sargılama etkisi, beton en büyük basınç birim şekil değiştirmesi limitiyle sınırlandırılmıştır. Bu nedenle; etriye sıklaştırması, etriye kol sayısı ve çapının sünekliğe katkısı, yönetmelikte belirtilen %1,8 basınç birim şekil değiştirmesi ile sınırlıdır. Dolayısıyla, güçlendirme tasarımlarında sünek olmayan yapıların betonarme sargı ile belirli bir yere kadar sünekliği artırılabilir. Beton basınç birim şekil değiştirme değerleri %1.8 olan elemanlar hedef yer değiştirme değerlerinde yönetmelikle belirlenen hedef performans düzeyi kriterlerini sağlamıyorsa, yapının rijitlik ihtiyacının olduğu bilinmelidir. Bu durum yeni tasarlanan yapılar için de geçerlidir.

Yapı envanterinde bulunan 2000 yılı öncesi yapıların kolon boyutlarının küçük ve yetersiz olduğu görülmüştür. Düşük malzeme kalitesiyle birlikte kolonların taşıma kapasitelerinin düşük ve eksenel yük oranlarının kesitin brüt kapasitesine yakın olduğu hesaplanmıştır. Bu durum elemanların şekil değiştirme kapasitelerini azaltarak yapıların süneklik düzeyini azaltmaktadır. Ek olarak, bu yapılarda plastik mafsalların kırışlardan önce kolonlarda oluştuğu ve yapıların kat mekanizmasına girdiği görülmüştür. Bu nedenle, sönümleyici cihazlar ve burkulması önlenmiş çelik çaprazlar kullanılarak yapılmak istenen güçlendirmeler için, geleneksel yöntemlerle yapının süneklik düzeyini artırarak hibrit çözümler yapmak gerekmektedir. Bir diğer seçenek olarak betonarme perdeler ve çelik çaprazlar eklenerek yapı rijitliği belirgin bir şekilde artırılıp sünek olmayan çözümlere gidilebilir. Betonarme perde ve çelik çaprazlar eklenerek yapılacak geleneksel güçlendirme yöntemleriyle yapı taşıma kapasitesi büyük oranda artırılacağından, güçlendirme için temele müdahale edilmelidir. Bununla birlikte zemin taşıma kapasitesinin yetersiz olması durumunda zemin iyileştirmesi de yapılmalıdır.

Sönümleyici cihazlar ve burkulması önlenmiş çelik çaprazlar süneklik düzeyi yüksek elemanlar olduğundan, bu elemanlar kullanılarak yapılacak güçlendirme tasarımları sünek yapılar için daha uygundur. Aksi takdirde, süneklik düzeyi kısıtlı yapıları sönümleyici ve burkulması önlenmiş çelik çaprazlar kullanarak güçlendirmek için, yapı sünekliğini artırmak amacıyla birçok taşıyıcı elemana müdahale etmek gerekmektedir. Özellikle kamu binaları için, en büyük deprem yer hareketinde “Kontrollü Hasar” performans düzeyi



hedeflendiğinden, deprem yer hareketi sebebiyle yüksek taleplerle karşılaşmaktadır. Dolayısıyla, güçlendirilmesi gereken mevcut taşıyıcı elemanların sayılarının çok fazla ve müdahale edilecek taşıyıcı elemanların güçlendirme ihtiyaçlarının çok yüksek olduğu görülmüştür. Bu çalışma kapsamında, Bina A Fen Fakültesi ve İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mimarlık Fakültesi binaları çerçeve taşıyıcı sisteme sahip olduklarından, DD-1 deprem yer hareketlerinde yer değiştirme taleplerinin, elemanların kapasitelerinden oldukça yüksek olduğu görülmüştür.

Süneklik düzeyi kısıtlı olan yapıların sönümleyici cihazlar ve burkulması önlenmiş çelik çaprazlar kullanılarak yapılacak güçlendirme tasarımlarının etkinliği düşükken, yeni yapılacak binalarda bu yöntemlerin kullanılması oldukça olumlu sonuçlar vermektedir. Bu durumun temel sebeplerinden birinin yapılacak yeni binanın süneklik düzeyinin yüksek olmasıdır. Süneklik düzeyi yüksek elemanları olan yeni yapı için, sönümleyici cihazlar ve burkulması önlenmiş çelik çaprazlar kullanılarak sünek bir tasarım yapılabilir.

7. Yaklaşık Güçlendirme Maliyetleri bölümünde görüldüğü üzere, birçok yapısal elemana müdahale gereken durumlarda, sönümleyici cihazlar ve burkulması önlenmiş çaprazlar kullanılarak yapılacak olan yenilikçi güçlendirme tasarımlarının maliyetleri, geleneksel yöntemlerle yapılacak güçlendirme tasarımları maliyetlerinden, özellikle sönümleyici cihazlar ile yapılan güçlendirme tasarımlarında oldukça fazladır. Bu nedenle taşıyıcı elemanların sünekliğinin, yapılan güçlendirme tasarımlarının etkinliğine etkisi açık bir şekilde görülebilmektedir.



**T.C. ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE
İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI**



GFDRR
Global Facility for Disaster Reduction and Recovery



Administered by
THE WORLD BANK
IBRD • IDA | WORLD BANK GROUP

