



**KONYA TEKNİK  
ÜNİVERSİTESİ**

**T.C.  
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**MEVCUT BETONARME BİR OKUL BİNASININ DEPREM GÜVENLİĞİNİN  
İNCELENMESİ ve TBDY-2018'e GÖRE ALTERNATİF GÜÇLENDİRME  
YÖNTEMLERİNİN ARAŞTIRILMASI ve ÇÖZÜM ÖNERİLERİ**

**Nazım KARACA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Ocak - 2022  
KONYA  
Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Nazım KARACA tarafından hazırlanan “Mevcut Betonarme Bir Okul Binasının Deprem Güvenliğinin İncelenmesi ve TBDY-2018’e Göre Alternatif Güçlendirme Yöntemlerinin Araştırılması ve Çözüm Önerileri” adlı tez çalışması 20/01/2022 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

#### Başkan

Doç. Dr. Ali KÖKEN

.....

#### Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Nail KARA

.....

#### Üye

Dr. Öğr. Üyesi A. Serdar ECEMİŞ

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN  
Enstitü Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## **DECLARATION PAGE**

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all materials and results that are not original to this work.

Nazım KARACA

Tarih:

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

# MEVCUT BETONARME BİR OKUL BİNASININ DEPREM GÜVENLİĞİNİN İNCELENMESİ ve TBDY-2018'e ALTERNATİF GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİNİN ARAŞTIRILMASI ve ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Nazım KARACA

Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Nail KARA

2022, 139 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Ali KÖKEN

Dr. Öğr. Üyesi Nail KARA

Dr. Öğr. Üyesi A. Serdar ECEMİŞ

Ülkemiz deprem açısından oldukça aktif bir coğrafyada bulunmaktadır. Genellikle depremlerden sonra yerinde yapılan incelemelerde yerinde üretilen beton kullanıldığı için bu yapılarda mevcut beton dayanımının oldukça düşük seviyede olduğu ve donatıların önemli kısmının korozyona uğradığı ve nervürsüz olduğu da gözlenmektedir. Aynı zamanda imalat sırasındaki işçilik hataları ve denetim eksiklikleri yapılarımızın deprem karşısında beklenen performansını yerine getirememesine, büyük maddi ve manevi kayıplara neden olmaktadır. Bu kapsamda mevcut yapıların hepsinin yıkılıp yeniden yapılması ekonomiklik, fonksiyonellik ve zaman açısından uygulanabilir olmadığından böyle yapıların gerekli kısımlarının onarılması onarılmayacak durumda olan kısımlarının ise çeşitli güçlendirme teknikleri vasıtası ile güvenli duruma getirilmesi uygun olmaktadır. Bu güçlendirme yöntemlerinden ve en çok kullanılanlarından biri olan binanın mimari durumuna göre uygun kısımlarına betonarme perde ilave edilmesi mevcut binanın rijitliğinde önemli artış sağlayarak yapının deprem güvenliğini sağlamasında katkısı olacaktır. Bu tez çalışmasında TBDY-2018 yönetmeliği esas alınarak mevcut betonarme bir okulun doğrusal olmayan hesap yöntemi (nonlinear analiz) ile performans değerlendirmesi yapılmış ve yapının güçlendirilmesine karar verilmiştir. Ardından da yapı için üç farklı güçlendirme önerisi sunulmuş ve istenilen deprem yer hareketleri için güçlendirilmiş durumların performans analizleri yapılmıştır. Yapının istenilen deprem performans düzeyine ulaşması sağlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Güçlendirme, deprem, deprem performansı, betonarme çerçeve, rijitlik

## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

# **INVESTIGATION OF EARTQUAKE SAFETY OF AN EXISTING REINFORCED CONCRETE SCHOOL BUILDING AND RESEARCH OF ALTERNATIVE STRENGTHENING METHODS ACCORDING TO TBDY-2018 AND SOLUTION PROPOSALS**

**Nazım KARACA**

**THE GRADUATE EDUCATION INSTITUTE  
TECNICAL UNIVERSITY OF KONYA  
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN CIVIL ENGINEERING**

**Advisor: Asst. Prof. Dr. Nail KARA**

**2022, 139 Pages**

#### **Jury**

**Assoc. Prof. Dr. Ali KÖKEN**

**Assist. Prof. Dr. Nail KARA**

**Assist. Prof. Dr. A. Serdar ECEMİŞ**

Our country is located in a very active geography in terms of earthquakes. Since the concrete produced on site is used in on-site inspections after earthquakes, it is observed that the existing concrete strength in these structures is at a very low level, and a significant part of the reinforcements are corroded and non-ribbed. At the same time, workmanship errors and inspection deficiencies during manufacturing cause our buildings to not perform as expected against earthquakes and cause great material and moral losses. In this context, since demolition and rebuilding of all existing structures is not feasible in terms of economy, functionality and time, it is appropriate to repair the necessary parts of such structures and to make the parts that cannot be repaired safe by means of various strengthening techniques. Adding reinforced concrete curtains to the appropriate parts of the building, which is one of these strengthening methods and one of the most used, will contribute to the earthquake safety of the building by providing a significant increase in the rigidity of the existing building. In this thesis study, based on the TBDY-2018 regulation, the performance of an existing reinforced concrete school was evaluated by nonlinear calculation method (nonlinear analysis) and it was decided to strengthen the structure. Then, three different reinforcement proposals were presented for the structure and performance analyzes of the reinforced cases were made for the desired earthquake ground motions. It was ensured that the structure reached the desired earthquake performance level.

**Keywords:** Reinforcement, earthquake, earthquake performance, reinforced concrete frame, stiffness

## ÖNSÖZ

Yapılan bu çalışmada yardım ve desteğini hiç esirgemeyen hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Nail KARA'ya şükranlarımı sunarım.

Lisans eğitimimden bu yana sürekli fikir alışverişinde bulunduğum, sarsılmaz dostluğunu her zaman hissettiğim, değerli meslektaşım, arkadaşım sayın İnş. Müh. Ebubekir SÜLBÜ'ye teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmada desteğini esirgemeyen kıymetli büyüğüm, amcam sayın Bayram KARAER'e teşekkürlerimi sunarım.

Her daim anlayışlı, güler yüzlü olan ve çalışmama katkısını hiçbir zaman unutmayacağım pek kıymetli ablam, sayın Ebru YILDIRIM'a da teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatım boyunca, her zaman ve her koşulda, her türlü maddi ve manevi destekleri ile yanımda bulunan, gösterdikleri anlayış ve hoşgörü ile beni destekleyen, bana olan inançlarını her zaman hissettiğim aileme minnettarlığımı belirtir, saygılarımı sunarım.

Nazım KARACA  
KONYA-2022

## İÇİNDEKİLER

<b>TEZ BİLDİRİMİ .....</b>	<b>ii</b>
<b>ÖZET .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>iv</b>
<b>ÖNSÖZ .....</b>	<b>v</b>
<b>İÇİNDEKİLER.....</b>	<b>vi</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1. Çalışmanın Amacı.....	2
1.2. Çalışmanın Önemi.....	2
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....</b>	<b>3</b>
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM .....</b>	<b>7</b>
<b>4. BİNA PERFORMANS DÜZEYLERİ VE ELEMAN HASARLARI.....</b>	<b>9</b>
4.1. Bina Performans Düzeyleri.....	9
4.1.1. Kesintisiz kullanım (KK) performans düzeyi.....	9
4.1.2. Sınırlı hasar (SH) performans düzeyi.....	9
4.1.3. Kontrollü hasar (KH) performans düzeyi.....	9
4.1.4. Göçmenin önlenmesi performans düzeyi.....	9
4.2. Binalardan Bilgi Toplanması.....	9
4.2.1. Binalardan toplanacak bilginin kapsamı.....	9
4.3. Bilgi Düzeyleri.....	10
4.3.1. Betonarme binalarda sınırlı bilgi düzeyi.....	10
4.3.2. Betonarme binalarda kapsamlı bilgi düzeyi.....	12
4.3.3. Bilgi düzeyi katsayıları.....	13
4.4. Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri.....	14
4.4.1. Kesit hasar durumları.....	14
4.4.2. Kesit hasar bölgeleri.....	14
4.4.3. Kesit ve eleman hasarlarının tanımlanması.....	15

<b>5. HESAP YÖNTEMLERİ.....</b>	<b>16</b>
5.1. Doğrusal Hesap Yöntemi İle Deprem Hesabı.....	16
5.1.1. Eşdeğer deprem yükü yöntemi.....	16
5.1.2. Mod birleştirme yöntemi.....	17
5.1.3. Zaman tanım alanında hesap yöntemi.....	17
5.2. Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri.....	17
5.3. Birim Şekil Değiştirme ve Plastik Dönme Taleplerinin Belirlenmesi.....	17
5.4. Betonarme Bina Elemanları İçin İzin Verilen Şekil Değiştirme Sınırları.....	18
<b>6. PERFORMANS KAVRAMI.....</b>	<b>20</b>
6.1. Mevcut Binaların Deprem Performansının Belirlenmesi.....	20
6.2. Mevcut Binalarda Sınırlı Hasar Performans Düzeyi.....	20
6.3. Mevcut Binalarda Kontrollü Hasar Performans Düzeyi.....	21
6.4. Mevcut Binalarda Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi.....	21
6.5. Göçme Durumu.....	22
<b>7. MEVCUT BETONARME BİR OKUL BİNASININ DEPREM PERFORMANSININ BELİRLENMESİ.....</b>	<b>23</b>
7.1. Giriş.....	23
7.2. Bina Hakkında Genel Bilgilendirme.....	23
7.2.1. Binaya etkiyen yükler.....	24
7.2.2. Taşıyıcı elemanların donatı düzenleri.....	24
7.2.3. Malzeme modelleri.....	25
7.3. Mevcut Yapı Performans Analizi.....	26
7.3.1. Performans analizinin yapılması ve sonuçların irdelenmesi.....	29
7.3.1.1. Doğrusal (lineer) hesap yöntemi ile performans analizinin yapılması...29	
7.3.1.2. Doğrusal olmayan (nonlinear) hesap yöntemi ile performans analizinin yapılması.....30	
7.3.1.2.1. DD-1 deprem yer hareketi düzeyine göre performans analizi...31	
7.3.1.2.1.1. Mevcut yapının hasar durumları.....33	
7.3.1.2.1.2. Mevcut yapının yapı düzensizliklerinin kontrolü.....36	
7.3.1.2.1.3. Kat deprem deplasmanları.....37	
7.3.1.2.1.4. Deprem perdeleri taban moment kontrolü.....38	
7.3.1.2.2. DD-3 deprem yer hareketi düzeyine göre performans analizi...39	
7.3.1.2.2.1. Mevcut yapının hasar durumları.....40	



7.3.1.2.2.2. Mevcut yapının yapı düzensizliklerinin kontrolü.....	42
7.3.1.2.2.3. Kat deprem deplasmanları.....	42
7.3.1.2.2.4. Deprem perdeleri taban moment kontrolü.....	43
7.4. Mevcut Yapının Performans Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	44
<b>8. MEVCUT OKUL BİNALARININ GÜÇLENDİRİLMESİNDE KULLANILAN GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİ.....</b>	<b>45</b>
8.1. Eleman Bazında Güçlendirme.....	46
8.1.1. Betonarme kolonların güçlendirilmesi.....	46
8.1.1.1. Kolonların çelik kafes içine alınarak güçlendirilmesi.....	47
8.1.1.2. Kolonların beton ile sarılarak güçlendirilmesi (mantolama).....	48
8.1.1.3. Kolonların karbon lifli polimer (CFRP) ile sarılarak güçlendirilmesi...53	
8.1.1.4. Kolonların kanat eklenerek güçlendirilmesi.....	54
8.1.1.5. Kolonların güçlendirilmesinde dikkat edilecek hususlar.....	54
8.1.2. Betonarme kirişlerin güçlendirilmesi.....	55
8.1.2.1. Kirişlerin çelik levhalar ile sarılarak güçlendirilmesi.....	55
8.1.2.2. Kirişlerin beton ile sarılarak güçlendirilmesi (mantolama).....	57
8.1.2.3. Kirişlerin karbon lifli polimer (CFRP) ile sarılarak güçlendirilmesi....58	
8.1.2.4. Kirişlerin güçlendirilmesinde dikkat edilecek hususlar.....	59
8.1.3. Kolon-kiriş birleşim bölgelerinin güçlendirilmesi.....	59
8.1.3.1. Birleşim bölgelerinin mantolama ile güçlendirilmesi.....	60
8.1.3.2. Birleşim bölgelerinin çelik levhalar ile güçlendirilmesi.....	61
8.1.3.3. Birleşim bölgelerinin karbon lifli polimer (CFRP) ile güçlendirilmesi.61	
8.2. Sistem Bazında Güçlendirme.....	62
8.2.1. Dolgu duvarların güçlendirilmesi.....	63
8.2.1.1. Dolgu duvarların hasır çelik donatılı özel sıva ile güçlendirilmesi.....	63
8.2.1.2. Dolgu duvarların lifli polimer ile güçlendirilmesi.....	64
8.2.2. Betonarme çerçevelerin yerinde dökme perde duvar ile güçlendirilmesi....66	
8.2.2.1. Çerçeve düzlemi içine betonarme perde eklenmesi.....	66
8.2.2.2. Çerçeve düzlemine bitişik betonarme perde eklenmesi.....	67
8.2.3. Betonarme çerçevelerin çelik diyagonal elemanlar ile güçlendirilmesi.....	68
8.2.4. Yapıya dış perdeler ekleyerek güçlendirme.....	69
8.2.5. Betonarme sisteme yeni çerçeveler ekleyerek güçlendirme.....	70
8.2.6. Betonarme sistemin kütlelerinin azaltılması.....	71
<b>9. MEVCUT OKUL BİNASININ GÜÇLENDİRMESİNİN YAPILMASI.....</b>	<b>72</b>

9.1. Birinci Güçlendirme Önerisi.....	72
9.1.1. Güçlendirme-1 için yapının DD-1 deprem yer hareketi düzeyine göre performans analizi.....	78
9.1.1.1. Güçlendirme-1 için yapının hasar durumları.....	78
9.1.1.2. Yapı düzensizliklerinin kontrolü.....	81
9.1.1.3. Kat deprem deplasmanları.....	82
9.1.1.4. Deprem perdeleri taban moment kontrolü.....	83
9.1.1.5. Güçlendirme-1 için maliyet hesabı.....	83
9.1.2. Güçlendirme-1 için yapının DD-3 deprem yer hareketi düzeyine göre performans analizi.....	84
9.1.2.1. Güçlendirme-1 için yapının hasar durumları.....	85
9.1.2.2. Yapı düzensizliklerinin kontrolü.....	85
9.1.2.3. Kat deprem deplasmanları.....	86
9.1.2.4. Deprem perdeleri taban moment kontrolü.....	87
9.2. İkinci Güçlendirme Önerisi.....	87
9.2.1. Güçlendirme-2 için yapının DD-1 deprem yer hareketi düzeyine göre performans analizi.....	94
9.2.1.1. Güçlendirme-2 için yapının hasar durumları.....	95
9.2.1.2. Yapı düzensizliklerinin kontrolü.....	98
9.2.1.3. Kat deprem deplasmanları.....	99
9.2.1.4. Deprem perdeleri taban moment kontrolü.....	100
9.2.1.5. Güçlendirme-2 için maliyet hesabı.....	101
9.2.2. Güçlendirme-2 için yapının DD-3 deprem yer hareketi düzeyine göre performans analizi.....	102
9.2.2.1. Güçlendirme-2 için yapının hasar durumları.....	102
9.2.2.2. Yapı düzensizliklerinin kontrolü.....	102
9.2.2.3. Kat deprem deplasmanları.....	103
9.2.2.4. Deprem perdeleri taban moment kontrolü.....	104
9.3. Üçüncü Güçlendirme Önerisi.....	105
9.3.1. Güçlendirme-3 için yapının DD-1 deprem yer hareketi düzeyine göre performans analizi.....	114
9.3.1.1. Güçlendirme-3 için yapının hasar durumları.....	114
9.3.1.2. Yapı düzensizliklerinin kontrolü.....	117
9.3.1.3. Kat deprem deplasmanları.....	118
9.3.1.4. Deprem perdeleri taban moment kontrolü.....	119
9.3.1.5. Güçlendirme-3 için maliyet hesabı.....	120
9.3.2. Güçlendirme-3 için yapının DD-3 deprem yer hareketi düzeyine göre performans analizi.....	121

9.3.2.1. Güçlendirme-3 için yapının hasar durumları.....	121
9.3.2.2. Yapı düzensizliklerinin kontrolü.....	121
9.3.2.3. Kat deprem deplasmanları.....	122
9.3.2.4. Deprem perdeleri taban moment kontrolü.....	123
<b>10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>124</b>
10.1. Sonuçların Değerlendirilmesi.....	124
10.1.1. Sonuçların DD-1 deprem yer hareketi düzeyine göre değerlendirilmesi...124	
10.1.1.1. Yapının hasar durumları.....	124
10.1.1.1.1. Kiriş hasarlarının incelenmesi.....	124
10.1.1.1.2. Kolon hasarlarının incelenmesi.....	125
10.1.1.1.3. Perde hasarlarının incelenmesi.....	126
10.1.1.2. Yapının kat deprem deplasmanları.....	126
10.1.1.3. Deprem perdeleri taban moment kontrolü.....	127
10.1.1.4. Yapının periyotlarının incelenmesi.....	128
10.1.1.5. Yapının güçlendirme maliyetlerinin incelenmesi.....	129
10.1.2. Sonuçların DD-3 deprem yer hareketi düzeyine göre değerlendirilmesi...130	
10.1.2.1. Yapının hasar durumları.....	130
10.1.2.1.1. Kiriş hasarlarının incelenmesi.....	131
10.1.2.2. Yapının kat deprem deplasmanları.....	131
10.1.2.3. Deprem perdeleri taban moment kontrolü.....	132
10.1.3. Sonuçların genel olarak değerlendirilmesi.....	133
10.2. Öneriler.....	134
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>137</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

cm	: Santimetre
C14	: Silindir numune beton dayanımı 14 Mpa olan beton
C30	: Silindir numune beton dayanımı 30 Mpa olan beton
DD-1	: 50 yılda aşılma olasılığı %2 (tekrarlanma periyodu 2475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-2	: 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-3	: 50 yılda aşılma olasılığı %50 (tekrarlanma periyodu 72 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
E	: Elastisite modülü
g	: İvme
H <sub>i</sub>	: i'inci kat yüksekliği
I	: Bina önem katsayısı
M	: Perde ve panel deprem momenti
m	: Metre
mm	: Milimetre
m <sup>2</sup>	: Metrekare
m <sup>3</sup>	: Metreküp
Mpa	: Megapascal (N/mm <sup>2</sup> )
U <sub>x</sub>	: x yönündeki deplasman
U <sub>y</sub>	: y yönündeki deplasman
s	: Saniye
S <sub>s</sub>	: Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı
S <sub>1</sub>	: 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı
S <sub>DS</sub>	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
S <sub>D1</sub>	: 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı
S220	: Akma dayanımı 220 Mpa olan çelik
S420	: Akma dayanımı 420 Mpa olan çelik
t	: Ton
tm	: Tonmetre
T	: Periyot
ZD	: Orta sıkı-sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları
∅	: Donatı çapı
α <sub>m</sub>	: Perde taban momenti oranı

### Kısaltmalar

BYS	: Bina yükseklik sınıfı
BH	: Belirgin hasar
DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
EKO	: Etki / kapasite oranı
FRP	: Elyafı güçlendirilmiş polimer
GB	: Göçme bölgesi
Güçlendirme-1	: Yapıya sadece güçlendirme perdelerinin eklendiği güçlendirme önerisi

Güçlendirme-2	: Yapıya hem güçlendirme perdesi ilavesinin yapıldığı hem de bazı kolonların FRP ile sarıldığı güçlendirme önerisi
Güçlendirme-3	: Yapıya hem güçlendirme perdesi ilavesinin yapıldığı hem de bazı kolonların manto ile sarıldığı güçlendirme önerisi
İH	: İleri hasar
K	: Kiriş
KH	: Kontrollü hasar
P	: Perde
S	: Kolon
SH	: Sınırlı hasar
ŞGDT	: Şekil değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TS 500	: Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları
TL	: Türk lirası

## 1. GİRİŞ

Güçlendirme ihtiyacı deprem riskinin fazla olduğu yerlerde her daim ortaya çıkmıştır. Çünkü yapı elemanları depremlerden sonra çeşitli boyutlarda hasar almıştır ve sistemin yeniden sağlıklı bir şekilde yeniden kullanılabilir hale getirilmesi gerekmektedir. Bu hasarların oluşmasında birçok etken söz konusu olabilir. Örneğin düşük kalitede malzeme kullanımı, işçilik-montaj hataları, projeden kaynaklanan hatalar vb. Çeşitli incelemeler sonucunda yapı eğer çeşitli güçlendirme müdahaleleri sayesinde ayakta durabiliyorsa ve bu müdahaleler binanın yeniden yapım ücretine kıyasla makul bir seviyede ise güçlendirme işlemi yapılır. Aksi takdirde ekonomik bir sonuç ortaya çıkmaz ve yapının yıkılıp tekrar yapılması uygun olur.

Ülkemizde yakın tarihte yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-(2018) bir önceki yönetmelik olan DBYBHY(2007)'den bazı farklılıklar içermektedir. Bu farklılardan ilki deprem bölgesi tanımı yeni yönetmelik ile kaldırılmıştır. Bu tanım ile DBYBHY(2007)'de daha genel deprem hesapları yapılırken TBDY-2018'e göre artık ülkemizdeki her yerleşim birimi için daha hassas deprem verilerinin elde edilebildiği AFAD altyapılı bir deprem hesabı sistemine geçilmiştir. Bir başka farklılık ise yapıları yüksekliklerine göre ayıran Bina Yükseklik (BYS) Sınıfı kavramıdır. Bu kavram ile çeşitli binalar için farklı yükseklik şartları getirilip 8 farklı yükseklik tanımı yapılmıştır. Bu yapı sınıfları için tasarım ilkeleri yine yönetmelik içerisinde farklı bir bölümde sunulmuştur. DBYBHY(2007)'de alışık olduğumuz bina deprem performans düzeyleri de yeni yönetmelikle değişip biraz daha farklı hale gelmiştir. Yapı ve deprem mühendisliğinde her zaman kullanılan kuvvet esaslı tasarım, TBDY-2018'de yerini Dayanıma Göre Tasarım yöntemine bırakmıştır. Dayanıma Göre Tasarım yaklaşımında önemli bir farklılık da (daha önceki yönetmeliklerde yer verilmeyen) betonarme yapı tasarımında taşıyıcı sistem elemanlarının boyutlandırılması sırasında brüt kesit rijitlikleri yerine etkin kesit rijitliklerinin kullanılacak olmasıdır. TBDY-2018'de Şekil Değiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım yaklaşımına da yer verilmiştir. Bu tasarım metodunda doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile taşıyıcı sistem elemanlarının şekil değiştirme kapasiteleri belirlenmekte ve elemanların hasar sınırları ile karşılaştırılarak hedeflenen performans düzeyi saptanabilmektedir. Bu yöntemin avantajı ise elemanların doğrusal olmayan davranışı hesaba katılarak modelleme ve analizler yapılacağı için sonuçlar gerçek değerlere daha yakın çıkacaktır.

Yapılan bu çalışmada, mevcut bir betonarme okul binası incelenerek 1 Ocak 2019 tarihinde yürürlüğe giren TBDY'e göre analizleri yapılmış ve betonarme perde ilavesi, kolonlara FRP sarılması ve kolonlara manto yapılması metotları kullanılarak üç farklı güçlendirme önerisinde bulunulmuştur.

### **1.1. Çalışmanın Amacı**

Bu çalışmanın amacı; birçok insan tarafından kullanılan bir kamu binasının (okulun) deprem güvenliğinin incelenmesi ve yapının en uygun şekilde ekonomik olarak güçlendirilmesi, güçlendirme sonucunda gerekli tahkiklerin gerçekleştirilip yapının sahip olması gereken performans düzeyine erişmesini sağlamaktır.

### **1.2. Çalışmanın Önemi**

Yapıların depreme dayanıklı olarak mevcut yönetmeliklere uygun projelendirilmesi ve projesine uygun şekilde inşa edilmesi önemlidir. Yönetmeliklerin zaman içerisinde teknolojik gelişmelere uygun olarak güncellenmesi veya değiştirilmesi nedeniyle önceki yönetmeliklere göre tasarımı yapılan yapıların da incelenmesi bazı durumlarda gerekebilmektedir.

Betonarme yapıların zaman içerisinde yıpranması, yapının üzerinde bulunduğu zeminde oturmaların olması, yapının inşasından sonra kullanma amacının değişmesi, uygun koşullarda imal edilmemiş beton ile inşa edilmesi, yapıya sonradan bazı kısımların eklenmesi veya çıkarılması, yapının deprem kuvveti alması, yapım aşamasında gereken kontrollerin yapılmaması ve yapıların inşası hakkındaki yönetmeliklerin değişmesi mevcut yapılarda güçlendirme ihtiyacını doğurmaktadır. Birçok mevcut binanın hiç inceleme yapılmadan hemen yıkılıp yeni yönetmeliklere göre tekrar yapılması ekonomik açıdan uygun olmayacağı için gerekli testler yapıldıktan sonra performans düzeylerinin güçlendirme ile artırılabilmesine karar verilen yapıların güçlendirilmesi uygun olacaktır. Bu durum hem maliyet açısından hem de zaman bakımından oldukça kullanışlıdır.

Bu çalışmada; deprem güvenliği yetersiz olan bir yapının nasıl irdeleneceği, TBDY 2018'e göre nasıl analiz edileceği ve sonuçlar kapsamında nasıl güçlendirilmesi gerektiği anlatılacaktır.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

(Afzali, 2018), Yapılan bu çalışmada, Edirne ilinde bulunan 5 katlı (B+Z+3) betonarme çerçeve bir okul binası projesinde güçlendirmenin görece kat öteleme ve hasar olasılığı gibi yapısal parametrelere olan etkisinin belirlenmesi ve güçlendirme yönteminin uygunluğunun saptanması amaçlanmıştır. Mevcut binanın üç boyutlu modeli Seismostruct programı ile yapılmıştır. Binanın mevcut durumundaki performans seviyesi Türk Deprem Yönetmeliği'nde gerekli görülen performans seviyelerini sağlamamaktadır. Bu nedenle, binaya Türk Deprem Yönetmeliği'ne (2007) uygun olacak şekilde güçlendirme amaçlı betonarme perde duvarları eklenmiştir. Binanın performans analizi ise artımsal dinamik analiz yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Bu analiz kapsamında 14 farklı deprem kaydı oluşturulup yapıya etkilerek daha somut sonuçlara ulaşmak hedeflenmiştir. Analizler sonucunda yapı için güçlendirme yapılmasına karar verilmiş olup iki farklı güçlendirme önerisi sunulmuştur. Bu güçlendirme önerilerinde yapının dış kısımlarının farklı yerlerine betonarme perde ilave edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

(Aynur, 2017), Yapılan bu çalışmada, ülkemizde deprem kuvvetine maruz kalmış mevcut betonarme binaları temsil etmek üzere seçilen, kolon ve kirişlerden oluşan çerçeve sistemin deprem performansının belirlenmesi için 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde tanımlanan doğrusal olmayan hesap yöntemlerinden Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'ni Yalova ilinde bulunan 5 katlı bir betonarme konut binasına uygulamıştır. Binasının statik analizini SAP2000 v18.2.0 paket programı ile yapmıştır. Yaptığı işlemler sonucunda binasının deprem güvenliği açısından yetersiz olduğu ve güçlendirilmesi gerektiği kanaatine varmıştır. Bu doğrultuda mevcut yapının çelik çapraz ilavesi yapılarak güçlendirilmesini amaçlamış ve deprem güvenliğinin artırılması gerektiği sonucuna ulaşmıştır. Binasının mimari projesinin el verdiği ölçüde yapının uygun yerlerine çelik çaprazlar ilave etmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, önerilen çelik çaprazlarla güçlendirme yönteminin yapının deprem güvenliğini artırdığı ve hedeflenen performans seviyesini sağladığı belirlenmiştir.

(Bawary, 2018), Yapılan bu çalışmada, analitik olarak dayanımı yetersiz betonarme bir binanın kolon mantolama ve betonarme perdeler ile güçlendirilmesi konusu araştırılmıştır. Bu amaçla Trabzon ili, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Merkez Kampüste bulunan Kredi Yurtlar Kurumu'na ait bir betonarme bina Etabs sonlu elemanlar programı yardımıyla modellenmiştir. Yapılan analiz sonucunda mevcut binanın



kolonlarının önemli bir kısmının deprem güvenliği açısından yetersiz olduğu görülmüştür. Yapının yetersiz olan kolonları mimari kaygılar çerçevesinde yer yer üç tarafından yer yer de dört tarafından mantolama işlemine tabi tutulmuştur. Aynı zamanda yapıya burulma düzensizliğinin önüne geçmek için simetrik olarak yerleştirilmiş betonarme perde ilavesi de yapılmıştır ve yapının beklenen deprem performansına ulaşması sağlanmıştır.

(**Kavşut, 2012**), Yapılan bu çalışmada, Gaziantep ilinde bulunan ve farklı kullanım amaçlarına sahip 3 farklı binanın (lojman, emniyet müdürlüğü, okul) performans seviyeleri belirlenmiş ve çıkan sonuçlara göre mevcut yapılar için alternatif güçlendirme önerileri sunulmuştur. Çalışma kapsamında güçlendirme ve onarım hakkında teorik birtakım bilgilere yer verilmiş, incelenen yapılarla alakalı çeşitli sayısal dokümanlar ortaya konulmuş, yapıların çeşitli açılardan fotoğraflarına yer verilmiş ve güçlendirme yöntemlerinin uygulanışı ve detaylarıyla alakalı görsel verilere yer verilmiştir. Yapıların hem mevcut durumlarının hem de güçlendirilmiş hallerinin performans analizlerinde Probrina Orion V.13 paket programından yararlanılmış ve doğrusal elastik hesap yöntemleri kullanılmıştır. Güçlendirme önerilerinin uygulandığı takdirde yapıların oluşabilecek deprem durumlarında hedeflenen performans değerlerine ulaşacağı gösterilmiştir. Ayrıca emniyet müdürlüğü binası için hazırlanan güçlendirme önerisinin yüksek maliyet gerekçesi ile uygulanması önerilmemiştir.

(**Soydan, 2019**), Yapılan bu çalışmada, DBYBHY'den (2007) önce projesi hazırlanmış inşası yapılmış ve 1999 Marmara Depremi sonrasında yapılan incelemeler sonucunda orta hasarlı olduğu için güçlendirme uygulamasına tabi tutulmuş Z+3 katlı mevcut bir betonarme konut yapısının, ilk halinin (güçlendirilmemiş yapının ilk durumu) ve mevcut güçlendirilmiş halinin DBYBHY'de (2007) yer alan mod birleştirme yöntemine göre yapı performansının belirlenmesi hedeflenmiştir. Ayrıca ortaya çıkan performanslar ile DBYBHY (2007) esaslarına uygun olarak yapılan yeni güçlendirme alternatiflerinin performans karşılaştırmaları yapılmıştır. Bu çalışmada İdecad Statik 8.62 programından faydalanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda yapının tekrardan güçlendirilmesi gerektiği sonucu ortaya çıkmıştır. Güçlendirme için beş farklı öneride bulunulup bu öneriler çeşitli parametreler bakımından birbirleri ile kıyaslanıp en uygun olan çözüme göre değerlendirmeler yapılmıştır.

(**Şahin, 2019**), Yapılan bu çalışmada, İstanbul ili, Beşiktaş ilçesinde bulunan Z+7 katlı betonarme bir konut yapısı incelenmiştir. 1973 yılında inşa edilmiş olan yapının mevcut durumu SAP2000 V20.2.0 programı ile analiz edilmiştir. Modelleme ve analiz

yapma sırasında analiz süresinin uzamaması için bazı idealleştirmeler yapılmıştır. TBDY-2018 uyarınca yapıya en az 11 adet yer hareketi uygulanmalıdır. Bu yer hareketleri 90 derece çevrilerek yeniden yapıya etkitilmelidir (TBDY-2018). Ancak bu işlem analiz süresini fazla uzatacağı için burada yalnızca 1 adet deprem yer hareketi kaydı, U1 doğrultusunda yapıya uygulanmıştır. Ülkemizin yakın tarihindeki en kritik deprem olduğu için Kocaeli Gölçük depremi ivme kayıtları yapıya uygulanmıştır. Binaya yapılan yüklemeler ve analizler sonucunda binanın performans düzeyi olarak ‘Göçme Öncesi’ performans düzeyini sağladığı görülmektedir. Bu performans düzeyi bu çalışmada hedeflenen ‘Kontrollü Hasar’ performans düzeyini sağlamamaktadır. Dolayısıyla binanın güçlendirilmesi gerektiğine kanaat getirilmiştir. Yapılacak güçlendirme için yapı sistemine çelik çaprazlar ekleyerek güçlendirme yapılması önerilmiştir.

(**Şik, 2014**), Yapılan bu çalışmada, Diyarbakır ilinde bulunan ve Eğil Alparslan Lisesine ait B+Z+4 normal katlı lojman binasının DBYBHY (2007)’ ye göre performans analizini yaparak, binanın deprem performansını belirlemiştir. Deprem güvenliği bakımından yetersiz olan binası için Can Güvenliği performans seviyesini sağlamayan 1, sağlayan ise 3 farklı çözüm önerisi sunmuştur. Bu önerilerin hepsini maliyet açısından irdelenmiştir ve en ekonomik olan çözümü uygulama açısından önermiştir.

(**Şirin, 2006**), Yapılan bu çalışmada, öncelikle yapılarda oluşan hasarlar nedenleri ile incelenmiş olup bu hasarların önüne geçmek için gerekli olan onarım ve güçlendirme yöntemleri detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Daha sonra İstanbul ilinde bulunan 1975 Deprem Yönetmeliğine göre tasarlanmış B+Z+7 katlı betonarme konut binası 1997 Deprem Yönetmeliğine göre Sta-4 Cad V12 programı ile analizi yapılmış ve bunun sonucunda yapının bazı kolonlarının mantolanmasına ve yapının bazı yerlerine betonarme perde ilave edilmesine karar verilmiştir. Bu karar doğrultusunda yapılan işlem sonucunda yapının deprem güvenliğini sağladığı saptanmıştır.

(**Uluöz, 2010**), Yapılan bu çalışmada, yapıların güçlendirmeleri yapılırken ortaya çıkan hesap giderlerine etkileyen çeşitli veriler irdelenmiş ve güçlendirme işlemine başlamadan evvel bu uygulamanın ekonomikliğini sahip olduğumuz birkaç veri ile öngörmeye çalışacak yeni bir sistem oluşturmak hedeflenmiştir. Mevcut yapıların deprem etkisi altında hasar almasına sebep olan etmenler, deprem performans belirleme metotları ve mevcut binaların güçlendirme maliyetine etkileyen parametreler ve bunların tesir nispetleri çoklu lineer regresyon yöntemi SPSS 15 paket programı ile incelenmiştir. Analize dahil edilen veriler şunlardır: mevcut yapının beton dayanımı, bulunduğu deprem bölgesi (etkin yer ivmesi katsayısı), binanın yaşı, yapının temel tipinin güçlendirme birim

maliyetini öngörmek için kullanılabilir veriler olduğu saptanmıştır. Bu çalışmanın dayandığı ana hipotez ise yapıya tesir eden taban kesme kuvvetinin yapıya uygulanacak güçlendirme maliyetine olumsuz yönden doğrudan bir etkisinin olduğudur.

(Zolmaz, 2019), Yapılan bu çalışmada, İstanbul ili Beyoğlu ilçesinde bulunan, 1975 tarihli “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik” kapsamında projelendirilmiş olan Z+3 katlı betonarme atölye binası incelenmiştir. Yapının mevcut durumu 2007 Deprem Yönetmeliğine göre İdecad Statik programında irdelenmiş olup yapının Can Güvenliği Performans Düzeyini sağlamadığı görülmüştür. Yapıya belli oranda betonarme perde ilavesi yaparak TBDY-2018’e göre güçlendirilmiş betonarme binanın zaman tanım alanında doğrusal olmayan yöntemle değerlendirilmesi Etabs 16.2.0 programı vasıtası ile yapılmıştır. Yapılan performans değerlendirmesi sonuçları sistem bazında ve eleman bazında olmak üzere iki farklı şekilde incelenmiştir. Hem sistem hem de eleman bazında yapılan analizler yapının deprem güvenliği açısından yeterli olduğunu ortaya koymuştur.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

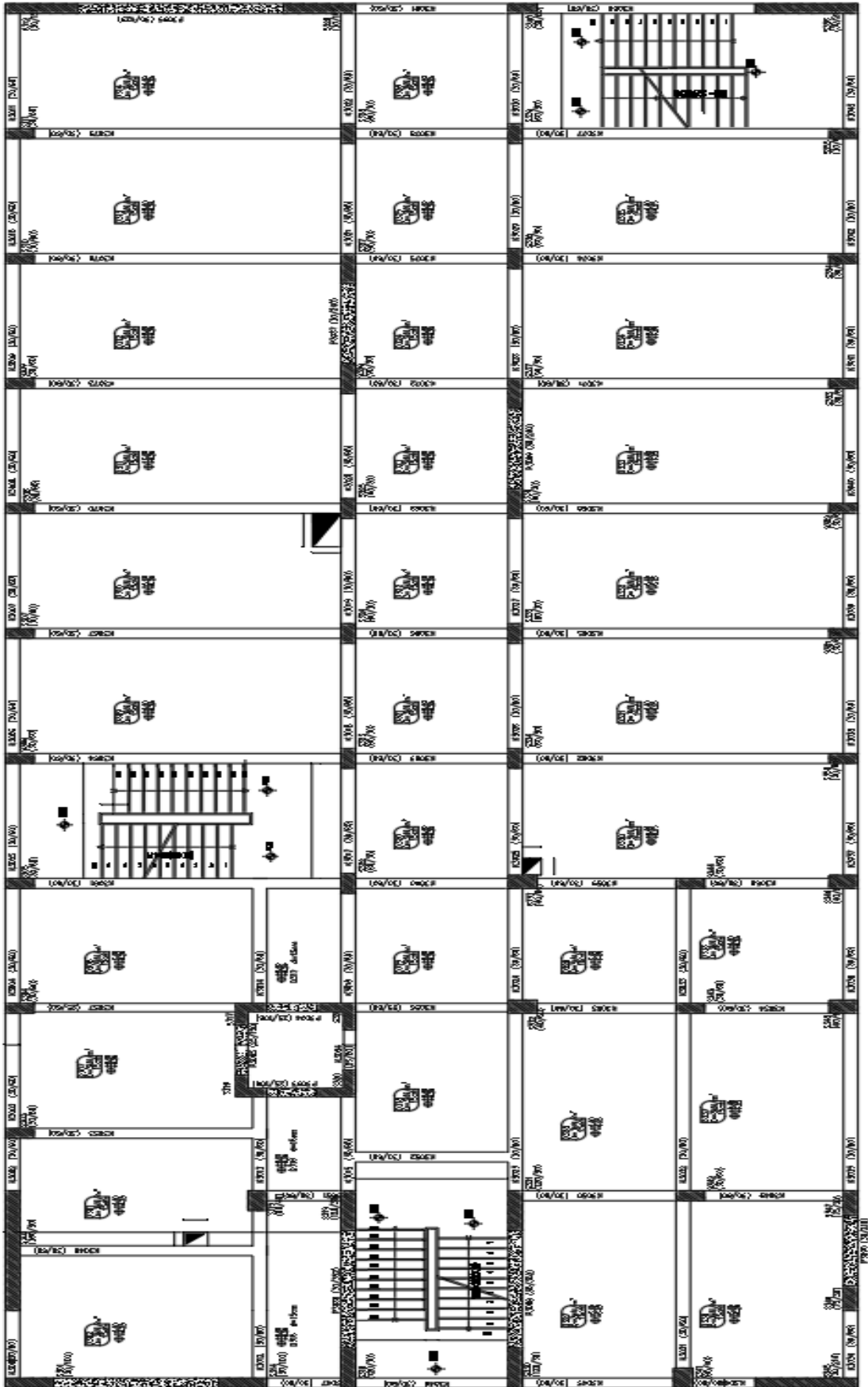
Bu çalışmada; STA4-CAD V14.1 programı kullanılarak Elazığ ilinde bulunan B+Z+4 katlı betonarme bir okul binasının mevcut durumda TBDY 2018'e göre performans analizi yapılacak ve TBDY-2018'e göre alternatif güçlendirme yöntemleri araştırılarak yapı için uygun çözüm önerileri sunulacaktır.

Aşağıda binanın mevcut yapı ve zemin değerleri verilmiştir.

- Beton sınıfı: C14
- Çelik sınıfı: S220
- Zemin sınıfı: kum, çatlaklı kaya
- Deprem bölge katsayısı:  $A_0 = 0.3$
- Deprem yapı ve davranış katsayısı  $R = 7$
- Deprem yapı önem katsayısı = 1.4
- Spektrum karakteristik katsayısı  $T_a/T_b = 0.1/0.4$
- Zemin yatak katsayısı  $K_0 = 1500 \text{ t/m}^3$
- Zemin emniyet gerilmesi =  $21 \text{ t/m}^2$

Taşıyıcı elemanların boyutları:

- Kolonlar = 30\*60 cm, 30\*100 cm, 30\*150 cm, 60\*30 cm, 90\*30 cm, 120\*30 cm, 40\*60 cm, 30\*50 cm, 75\*30 cm
- Kirişler = 30\*60 cm
- Döşemeler = 15 cm
- Perdeler = 30 cm



Şekil 3.1. Normal kat kalıp planı

## **4. BİNA PERFORMANS DÜZEYLERİ VE ELEMAN HASAR SINIRLARI**

### **4.1. Bina Performans Düzeyleri**

Deprem etkisi altında bina taşıyıcı sistemleri için Bina Performans Düzeyleri aşağıda tanımlanmıştır.

#### **4.1.1. Kesintisiz kullanım (KK) performans düzeyi**

Bina taşıyıcı sistem elemanlarında yapısal hasarın meydana gelmediği veya hasarın ihmal edilebilir ölçüde kaldığı performans düzeyine karşılık gelmektedir.

#### **4.1.2. Sınırlı hasar (SH) performans düzeyi**

Bu performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında sınırlı düzeyde hasarın meydana geldiği, diğer deyişle doğrusal olmayan davranışın sınırlı kaldığı hasar düzeyine karşı gelmektedir (TBDY, 2018).

#### **4.1.3. Kontrollü hasar (KH) performans düzeyi**

Bu performans düzeyi, can güvenliğini sağlamak üzere bina taşıyıcı sistem elemanlarında çok ağır olmayan ve çoğunlukla onarılması mümkün olan hasar düzeyine karşı gelmektedir (TBDY, 2018).

#### **4.1.4. Göçmenin önlenmesi (GÖ) performans düzeyi**

Bu performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında ileri düzeyde ağır hasarın meydana geldiği göçme öncesi duruma karşı gelmektedir. Binanın kısmen veya tamamen göçmesi önlenmiştir (TBDY, 2018).

### **4.2. Binalardan Bilgi Toplanması**

#### **4.2.1. Binalardan toplanacak bilginin kapsamı**

Mevcut binaların taşıyıcı sistem elemanlarının kapasitelerinin belirlenmesinde ve deprem dayanımlarının değerlendirilmesinde kullanılacak eleman detayları ve boyutları ile taşıyıcı sistem geometrisine ve malzeme özelliklerine ilişkin bilgiler, binaların projelerinden ve raporlarından, binada yapılacak gözlem ve ölçümlerden, binadan alınacak malzeme örneklerine uygulanacak deneylerden elde edilir.

Binalardan bilgi toplanması kapsamında yapılacak işlemler, yapısal sistemin tanımlanması, bina geometrisinin, temel sisteminin ve zemin özelliklerinin saptanması, varsa mevcut hasarın ve evvelce yapılmış olan değişiklik ve/veya onarımların belirlenmesi, eleman boyutlarının ölçülmesi, malzeme özelliklerinin saptanması, sahada derlenen tüm bu bilgilerin binanın varsa projesine uygunluğunun kontrolü olarak tanımlanır (TBDY, 2018).

### **4.3. Bilgi Düzeyleri**

Binaların incelenmesinden elde edilecek mevcut durum bilgilerinin kapsamına göre, her bina türü için bilgi düzeyi ve buna bağlı olarak bilgi düzeyi katsayıları tanımlanacaktır. Bilgi düzeyleri sırasıyla sınırlı ve kapsamlı olarak sınıflandırılacaktır. Elde edilen bilgi düzeyleri taşıyıcı eleman kapasitelerinin hesaplanmasında kullanılacaktır (TBDY, 2018).

Sınırlı Bilgi Düzeyi: Taşıyıcı sistem özellikleri yapıda ölçüm yapılarak belirlenir.

Kapsamlı Bilgi Düzeyi: Sınırlı bilgi düzeyine göre daha fazla ölçüm yapılır.

#### **4.3.1. Betonarme binalarda sınırlı bilgi düzeyi**

Bina Geometrisi: Saha çalışması ile binanın taşıyıcı sistem plan rölövesi çıkarılacaktır. Mimari projeler mevcut ise, rölöve çalışmalarına yardımcı olarak kullanılır. Elde edilen bilgiler tüm betonarme elemanların ve dolgu duvarlarının her kattaki yerini ve malzemesini, eksen açıklıklarını, yüksekliklerini ve boyutlarını içermelidir ve binanın hesap modelinin oluşturulması için yeterli olmalıdır. Temel sistemi bina içinde veya dışında açılacak yeterli sayıda inceleme çukuru ile belirlenecektir. Binadaki kısa kolonlar ve benzeri olumsuzluklar kat planına ve kesitlere işlenecektir. Binanın komşu binalarla olan ilişkisi (ayrık, bitişik, derz var/yok) belirlenecektir (TBDY, 2018).

Eleman Detayları: Betonarme projeler ve uygulama çizimleri mevcut değildir. Betonarme elemanlardaki donatı miktarı ve detaylarının binanın yapıldığı tarihteki minimum donatı koşullarını sağladığı varsayılır. Bu varsayımın doğrulanması veya hangi oranda gerçekleştiğinin belirlenmesi için her katta en az birer adet olmak üzere perde ve kolonların %5'inin beton örtüsü sıyrılarak donatı tespiti yapılacaktır. Donatı tespiti amacıyla her kattan bir adet kirişin beton örtüsü sıyrılacaktır. Sıyırma işlemi kolonların ve kirişlerin uzunluğunun açıklık ortasındaki üçte birlik bölümünde yapılmalıdır. Sıyrılan yüzeyler daha sonra yüksek dayanımlı tamir harcı ile kapatılacaktır. Ayrıca beton örtüsü sıyrılmayan perde ve kolonların %20'sinde enine ve boyuna donatı sayısı ve yerleşimi donatı tespit cihazları ile belirlenecektir. Donatı tespitinin yapılan betonarme perde ve kolonlarda bulunan mevcut donatının minimum donatıya oranını ifade eden donatı gerçekleşme katsayısı belirlenecektir. Perde ve kolon kapasitelerinin belirlenmesinde kullanılan bu katsayı 1'den büyük olamaz. Bu katsayı donatı tespiti yapılmayan diğer tüm perde ve kolonlara uygulanarak olası donatı miktarları belirlenecektir. Kirişler için yalnızca düşey tasarım yükleri altında gerekli olan donatı kullanılacaktır (TBDY, 2018).

Malzeme Özellikleri: Her katta kolonlardan veya perdelerden TS EN-12504-1'de belirtilen koşullara uygun şekilde en az üç adet beton örneği (karot) alınarak deney yapılacaktır. Uzunluğu ve anma çapı birbirine eşit ve 100 mm olan karotların deneye tabi tutulmasıyla bulunan dayanım değerleri, herhangi bir katsayı uygulanmaksızın mevcut beton dayanımının tayininde kullanılabilir. Farklı uzunluk/çap oranlarına sahip karotlardan elde edilen deney sonuçlarının dönüştürülmesinde uygun dönüştürme katsayıları esas alınmalıdır. Toplam örnek sayısı üç ise istatistiki olarak değerlendirme yapılmaksızın örneklerden elde edilen en düşük basınç dayanımı mevcut beton dayanımı olarak alınacaktır. Örnek sayısı üçten fazla ise örneklerden elde edilen (ortalama eksi standart sapma) değeri ile (0.85 çarpı ortalama) değeri arasından büyük olanı mevcut beton dayanımı olarak alınacaktır. Bir grup beton örneğine ait deney sonuçları arasında en küçük değer ile geriye kalan sonuçların ortalaması arasındaki farkın değerlendirilmesi ile en küçük değer istatistiki olarak sapan bir sonuç olup olmadığı kontrol edilecektir. Bu amaçla, gruptaki numune sonuçlarının değerlendirilmesinde, en düşük tek değer, geriye kalan diğer sonuçların ortalamasının %75' inden daha düşük ise bu numune değerlendirmeye alınmaz. Donatı sınıfı, yukarıdaki paragrafta açıklandığı şekilde sıyrılan yüzeylerde yapılan görsel inceleme ile tespit edilecek, bu sınıftaki çeliğin karakteristik akma gerilmesi mevcut çelik dayanımı olarak alınacaktır. Bu incelemede, donatısında



korozyon görünen elemanlar planda işaretlenecek ve bu durum eleman kapasite hesaplarında dikkate alınacaktır (TBDY, 2018).

#### 4.3.2. Betonarme binalarda kapsamlı bilgi düzeyi

Bina Geometrisi: Binanın betonarme projeleri mevcut ise yapılacak ölçümlerle mevcut geometrinin projelere uygunluğu kontrol edilir. Projeler ölçümler ile önemli farklılıklar gösteriyor ise proje yok sayılır. Proje yoksa saha çalışması ile binanın taşıyıcı sistem rölevesi elde edilecektir. Elde edilen bilgiler tüm betonarme elemanların ve bölme duvarların her kattaki yerini, açıklıklarını, yüksekliklerini, boyutlarını ve malzemesini içermelidir. Binadaki kısa kolonlar ve benzeri olumsuzluklar kat planına ve kesitlere işlenecektir. Komşu binalarla ilişkisi (ayrık, bitişik, derz var/yok) belirlenecektir. Bina geometrisi bilgileri, bina kütesinin hassas biçimde tanımlanması için gerekli ayrıntıları içermelidir. Temel sistemi bina içinde veya dışında açılacak yeterli sayıda inceleme çukuru ile belirlenecektir (TBDY, 2018).

Eleman detayları: Binanın betonarme detay projeleri mevcut ise donatının projeye uygunluğunun kontrolü için yukarıda belirtilen işlemler aynı miktardaki betonarme elemanda uygulanacaktır. Ayrıca beton örtüsü sıyrılmayan perde ve kolonların %20'sinde ve çerçeve kirişlerinin %10'unda enine ve boyuna donatı sayısı ve yerleşimi donatı tespit cihazları ile belirlenecektir. Proje ile uygulama arasında uyumsuzluk bulunması halinde, betonarme elemanlardaki mevcut donatının projede öngörülen donatıya oranını ifade eden donatı gerçekleşme katsayısı perdeler, kolonlar ve kirişler için ayrı ayrı belirlenecektir. Eleman kapasitelerinin belirlenmesinde kullanılan bu katsayı 1'den büyük olamaz. Bu katsayı donatı tespiti yapılmayan diğer tüm elemanlara uygulanarak olası donatı miktarları belirlenecektir. Betonarme projeler veya inşaat (uygulama) çizimleri mevcut değil ise her katta en az ikişer adet olmak üzere kolonların ve perdelerin %10'unun beton örtüsü sıyrılarak donatı tespiti yapılacaktır. Sıyrılan yüzeyler daha sonra yüksek dayanımlı tamir harcı ile kapatılacaktır. Ayrıca beton örtüsü sıyrılmayan perde ve kolonların %30'unda ve kirişlerin %15'inde enine ve boyuna donatı sayısı ve yerleşimi donatı tespit cihazları ile belirlenecektir. Ardından yapıda kullanılan malzeme özellikleri tespit edilir (TBDY, 2018).

Malzeme Özellikleri: Kolonlardan veya perdelerden TS EN 12504-1'de belirtilen koşullara uygun şekilde zemin katta üç, diğer katlarda iki adetten az olmamak üzere ve binada toplam dokuz adetten az olmamak üzere, her 400 m<sup>2</sup> 'de bir adet beton örneği

alınarak deney yapılacaktır. Uzunluğu ve anma çapı birbirine eşit ve 100 mm olan karotların deneye tabi tutulmasıyla bulunan dayanım değerleri, herhangi bir katsayı uygulanmaksızın mevcut beton dayanımının tayininde kullanılabilir. Farklı uzunluk/çap oranlarına sahip karotlardan elde edilen deney sonuçlarının dönüştürülmesinde uygun dönüştürme katsayıları esas alınmalıdır. Eleman kapasitelerinin hesaplanmasında, örneklerden elde edilen (ortalama eksi standart sapma) değeri ile (0.85 çarpı ortalama) değeri arasından büyük olanı mevcut beton dayanımı olarak alınacaktır.

Bir grup beton örneğine ait deney sonuçları arasında en küçük değer ile geriye kalan sonuçların ortalaması arasındaki farkın değerlendirilmesi ile en küçük değer in istatistiki olarak sapan bir sonuç olup olmadığı kontrol edilecektir. Bu amaçla, gruptaki numune sonuçlarının değerlendirilmesinde, en düşük tek değer, geriye kalan diğer sonuçların ortalamasının %75' inden daha düşük ise bu numune değerlendirmeye alınmaz. Beton dayanımının binadaki dağılımı, beton örnekleri deney sonuçları ile uyarlanmış beton çekici okumaları veya benzeri hasarsız inceleme araçları ile kontrol edilebilir.

Donatı sınıfı, yukarıda açıklandığı şekilde sıyrılan yüzeylerde yapılan inceleme ile tespit edilecek, her sınıftaki çelik için (S220, S420 vb.) birer adet örnek alınarak deney yapılacak, çeliğin akma gerilmesi, kopma dayanımı ve şekil değiştirme özellikleri belirlenerek projeye uygunluğu saptanacaktır. Projesine uygun ise, eleman kapasite hesaplarında projede kullanılan çeliğin karakteristik akma gerilmesi mevcut çelik akma gerilmesi olarak alınacaktır. Uygun değil ise en az 3 adet daha örnek alınarak deney yapılacak, elde edilen en elverişsiz akma gerilmesi eleman kapasite hesaplarında mevcut çelik akma gerilmesi olarak alınacaktır. Bu incelemede, donatısında korozyon görünen elemanlar planda işaretlenecek ve bu durum eleman kapasite hesaplarında dikkate alınacaktır (TBDY, 2018).

#### **4.3.3. Bilgi düzeyi katsayıları**

İncelenen binalardan edinilen bilgi düzeylerine göre eleman kapasitelerine uygulanacak bilgi düzeyi katsayıları Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Binalar için bilgi düzeyi katsayıları

Bilgi Düzeyi	Bilgi Düzeyi Katsayısı
Sınırlı	0.75
Kapsamlı	1

#### 4.4. Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri

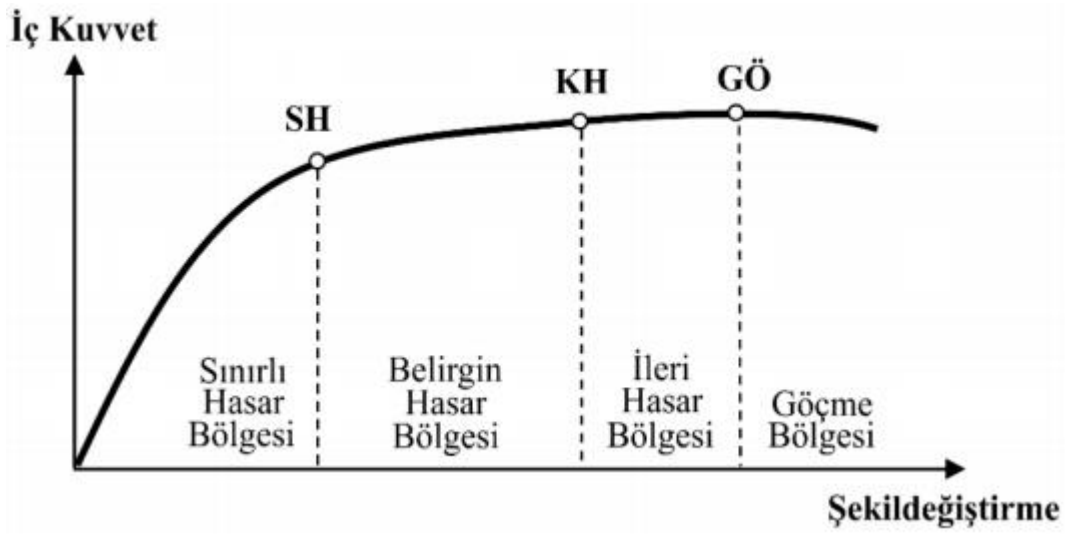
##### 4.4.1. Kesit hasar durumları

Sünek davranış gösteren kesitler için TBDY-2018’de üç hasar durumu ve hasar sınırı tanımı yapılmıştır. Bunlar Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçme Öncesi Hasar (GÖ) durumları ve bunların sınır değerleridir (TBDY, 2018).

- 1.Sınırlı Hasar (SH): İlgili kesitte sınırlı miktarda elastik ötesi davranışı,
- 2.Kontrollü Hasar (KH): Kesit dayanımının güvenli olarak sağlanabileceği elastik ötesi davranışı,
- 3.Göçme Öncesi Hasar (GÖ): Kesitte ileri düzeyde elastik ötesi davranışı tanımlamaktadır. Gevrek olarak hasar gören elemanların kesitleri için bu sınıflandırma geçerli değildir.

##### 4.4.2. Kesit hasar bölgeleri

Kritik kesitlerinin hasarı SH’ya ulaşmayan elemanlar Sınırlı Hasar Bölgesi’nde, SH ile KH arasında kalan elemanlar Belirgin Hasar Bölgesi’nde, KH ile GÖ arasında kalan elemanlar İleri Hasar Bölgesi’nde, GÖ’yü aşan elemanlar ise Göçme Bölgesi’nde yer alırlar. TBDY-2018’de hasar bölgelerinin gösterimi Şekil 4.1’de belirtilmiştir (TBDY, 2018).



Şekil 4.1. Eleman hasar sınırları ve bölgeleri

#### 4.4.3. Kesit ve eleman hasarlarının tanımlanması

Yapı sistemi elemanlarının iç kuvvetleri veya şekil değiştirmeleri, yönetmenliğin tanımladığı doğrusal veya doğrusal olmayan hesap yöntemleriyle hesaplanıp kesitlerin hangi hasar bölgesinde olduğuna karar verilir. En fazla hasar gören kesite göre elemanın hasarı belirlenecektir.

## 5. HESAP YÖNTEMLERİ

### 5.1. Doğrusal Hesap Yöntemi ile Deprem Hesabı

Yapıların dayanıma göre tasarımı (DGT) kapsamında TBDY 2018’de öngörülen doğrusal hesap esasları, malzemenin lineer elastik bölgede şekil değiştirme yapması ve yer değiştirmelerin çok küçük olduğu varsayımına dayanır. Kuvvet esaslı olan DGT yöntemlerinde yapı elemanlarının taşıma kapasitesi, yapı sisteminde etkin olan yüklerin oluşturduğu iç kuvvetlerle karşılaştırılarak kapasite değerlendirilmesi amaçlanır. Deprem etkisinin deprem azaltma katsayısıyla ile azaltılarak yapıya etkilmesi ve malzemenin elastik ötesi davranışının tam olarak ele alınmaması bu yöntemlerin yaklaşık sonuçlar vermesini doğurmaktadır. Bu yöntemler yönetmelikte Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi, Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi olarak üçe ayrılmaktadırlar (TBDY, 2018).

#### 5.1.1. Eşdeğer deprem yükü yöntemi

Yöntem, yapının birinci doğal titreşim periyodu göz önüne alınarak hesap edilen deprem kuvvetinin kat rijitliklerine veya kat kütlelerine bağlı olarak katlara dağıtılması esasına dayanır. Taşıyıcı sistemi düzenli ve düzensizliği fazla olmayan yapılar için yaklaşık deprem yükü hesabında kullanılması uygun olan yöntemdir. Bu yöntem birbirine dik (X) ve (Y) deprem doğrultularında binaya etkiyen depremler için ayrı ayrı uygulanır. Eşdeğer deprem yükü metodunun uygulanarak analizi yapılacak yapılar aşağıda Çizelge 5.1’ de sunulmuştur.

**Çizelge 5.1.** Eşdeğer deprem yükü yöntemi’ nin uygulanabileceği binalar

Bina Türü	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfı	
	DTS= 1, 1a, 2, 2a	DTS= 3, 3a, 4, 4a
Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bs} < 2.0$ koşulunu sağladığı ve ayrıca B2 türü düzensizliğinin olmadığı binalar	BYS $\geq$ 4	BYS $\geq$ 5
Diğer tüm binalar	BYS $\geq$ 5	BYS $\geq$ 6

### **5.1.2. Mod birleştirme yöntemi**

Bu elastik dinamik çözümleme yönteminde; sistem davranışının her bir serbest titreşim modunun deprem hareketine olan karşılıkları belirli istatistiksel oranlarda birleştirilmesi sonucu deprem kuvvetlerinin bulunması söz konusudur.

### **5.1.3. Zaman tanım alanında hesap yöntemi**

Bu yöntemde; benzeştirilmiş veya gerçek olan deprem kaydının yapı modeline zaman tanım alanında adım adım etkilmesiyle yapılan dinamik çözümleme sonucu yapıda oluşan deprem kuvvetlerinin bulunması sağlanır. Böylece deprem kaydı süresince taşıyıcı sistemde oluşan iç kuvvetler ve yer değiştirmeler elde edilebilir.

## **5.2. Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri**

Mevcut veya güçlendirilmiş yapıların şekil değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarımı (ŞGDT) kapsamında TBDY 2018’de öngörülen doğrusal olmayan hesap esasları malzemenin doğrusal-elastik sınırının ötesindeki davranışının hesaba katılmasına dayanır. Şekil değiştirme esaslı olan yöntemlerde belirli bir deprem etkisi altında oluşan ve yapının sigorta noktaları olarak bilinen plastik mafsallarda oluşacak şekil değiştirmelerin değerlendirilmesi hedeflenir. Bu yöntemler; yapı sistemlerinin deprem sırasındaki doğrusal elastik olmayan davranışını ilerleyen malzeme bilimi ve gelişen bilgisayar teknolojisi sayesinde daha gerçekçi şekilde kestirmektedir. Tek modlu itme yöntemi, Çok modlu itme yöntemi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi olarak üçe ayrılmaktadırlar (TBDY, 2018).

### **5.3. Birim Şekil Değiştirme ve Plastik Dönme Taleplerinin Belirlenmesi**

Eşdeğer deprem yükü veya mod birleştirme yöntemi kullanılarak yapılan hesap sonucunda herhangi bir eleman ucunda elde edilen toplam yer değiştirmiş eksen dönmesi  $\theta_k$  kullanılarak eleman kesitlerinin birim şekil değiştirme ve plastik dönme talepleri belirlenecektir. Eleman uç kesitinin toplam eğrilik talebi  $\phi_k$  aşağıdaki bağıntıdan hesaplanabilir (TBDY, 2018).

$$\Phi_t = \frac{(\theta_k - \theta_y)}{L_p} + \Phi_y \quad (5.1)$$

$\theta_y$  eleman uç kesitindeki yer değiştirmiş eksen akma dönmesi,  $\Phi_y$  ise eleman uç kesitindeki akma eğriliğidir.  $L_p$  plastik mafsal boyudur ve etkili doğrultudaki kesit boyutunun yarısına eşit alınacaktır. Betonarme sistemlerde etkin akma eğriliği  $\Phi_y$  ve etkin akma momenti  $M_y$ , moment-eğrilik analizi ile hesaplanacaktır.

#### 5.4. Betonarme Bina Elemanları İçin İzin Verilen Şekil Değiştirme Sınırları

Beton ve donatı çeliğinin birim şekil değiştirme talepleri, aşağıda tanımlanan birim şekil değiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak, kesit düzeyinde taşıyıcı sistem performansı belirlenir. TBDY-2018'de plastik şekil değiştirmelerin meydana geldiği betonarme sünek taşıyıcı sistem elemanlarında, çeşitli kesit hasar sınırlarına göre izin verilen şekil değiştirme üst sınırları (kapasiteleri) aşağıda tanımlanmıştır. Boyuna donatıları nervürsüz (düz) donatı çeliği ile düzenlenmişse, donatı çeliği birim şekil değiştirme talebi ve plastik dönme talebi 1.5 ile çarpılarak arttırılacaktır (TBDY, 2018).

- a) Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için beton ve donatı çeliği için izin verilen toplam birim şekil değiştirmeler ile plastik dönme sınırları:

$$\epsilon_C^{(G\ddot{O})} = 0.0035 + 0.04\sqrt{\omega_{WE}} \leq 0.018 \quad ; \quad \epsilon_S^{(G\ddot{O})} = 0.4\epsilon_{SU} \quad (5.2)$$

$$\theta_P^{(G\ddot{O})} = \frac{2}{3} \left[ \left[ (\varphi_u - \varphi_y) L_P \left( 1 - 0.5 \frac{L_P}{L_S} \right) \right] + 4.5\varphi_u d_b \right] \quad (5.3)$$

- (b) Kontrollü Hasar (KH) performans düzeyi için beton ve donatı çeliği için izin verilen toplam birim şekil değiştirmeler ile plastik dönme sınırları:

$$\epsilon_C^{(KH)} = 0.75\epsilon_C^{(G\ddot{O})} \quad ; \quad \epsilon_S^{(KH)} = 0.75\epsilon_S^{(G\ddot{O})} \quad (5.4)$$

$$\theta_P^{KH} = 0.75 \theta_P^{G\ddot{O}} \quad (5.5)$$

(c) Sınırlı Hasar (SH) performans düzeyi için beton ve donatı çeliği için izin verilen toplam birim şekil değiştirmeler ile plastik dönme sınırları:

$$\varepsilon_c^{(KH)} = 0.75 \varepsilon_c^{(GÖ)} \quad ; \quad \varepsilon_s^{(KH)} = 0.75 \varepsilon_s^{(GÖ)} \quad (5.6)$$

$$\theta_p^{SH} = 0 \quad (5.7)$$

belirtilen denklemler kullanılarak hesaplanacaktır.



## 6. PERFORMANS KAVRAMI

Yapıya uygulanan belirli seviyedeki deprem kuvveti altında yapının sahip olması beklenen yapısal performansa “performans hedefi” denmektedir. Yapıyı meydana getiren bütün elemanların (taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan) performansı ise “yapısal performans” olarak adlandırılabilir.

### 6.1. Mevcut Binaların Deprem Performansının Belirlenmesi

Mevcut veya güçlendirme yapılacak yapıların deprem etkisi altındaki performanslarının belirlenmesinde hesaba alınacak deprem yer hareketi düzeyleri ve bu deprem yer hareketi düzeylerinde yapılardan ulaşması istenilen minimum performans hedefleri aşağıda Çizelge 6.1’ de verilmiştir.

**Çizelge 6.1.** Deprem tasarım sınıflarına göre yeni yapılacak veya mevcut binalar için performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları

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

### 6.2. Mevcut Binalarda Sınırlı Hasar Performans Düzeyi

Betonarme binaların herhangi bir katında, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %20’si Belirgin Hasar Bölgesi’ne geçebilir, ancak diğer taşıyıcı elemanların tümü Sınırlı Hasar Bölgesi’ndedir.

Eğer varsa, gevrek olan elemanların güçlendirilmeleri kaydı ile, bu durumdaki binaların Sınırlı Hasar Performans Düzeyi’nde olduğu kabul edilir. Çelik ve prefabrike binalarda bu istisna geçerli değildir (TBDY, 2018).

### 6.3. Mevcut Binalarda Kontrollü Hasar Performans Düzeyi

Eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri kaydı ile, aşağıdaki koşulları sağlayan binaların Kontrollü Hasar Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir:

Betonarme binaların herhangi bir katında, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %35'i ve düşey elemanların (kolonlar, perdeler ve güçlendirilmiş bölme duvarlar) aşağıdaki paragrafta tanımlanan kadarı İleri Hasar Bölgesi'ne geçebilir. Çelik ve prefabrike binalarda bu istisna geçerli değildir (TBDY, 2018).

İleri Hasar Bölgesi'ndeki düşey elemanların, her bir katta düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine katkısı %20'nin altında olmalıdır. En üst katta İleri Hasar Bölgesi'ndeki düşey elemanların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm düşey elemanların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olabilir (TBDY, 2018).

Diğer taşıyıcı elemanların tümü Sınırlı Hasar Bölgesi veya Belirgin Hasar Bölgesi'ndedir. Ancak herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Belirgin Hasar Sınırı aşılmış olan düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir (TBDY, 2018).

### 6.4. Mevcut Binalarda Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi

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

Betonarme binaların herhangi bir katında, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %20'si Göçme Bölgesi'ne geçebilir. Çelik ve prefabrike binalarda bu istisna geçerli değildir (TBDY, 2018).

Diğer taşıyıcı elemanların tümü Sınırlı Hasar Bölgesi, Belirgin Hasar Bölgesi veya İleri Hasar Bölgesi'ndedir. Ancak herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Belirgin Hasar Sınırı aşılmış olan düşey elemanlar tarafından taşınan kesme

kuvvetlerinin, o kattaki tüm düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir (TBDY, 2018).

### **6.5. Göçme Durumu**

Bina Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi'ni sağlayamıyorsa Göçme Durumu'ndadır. Binanın kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır (TBDY, 2018).

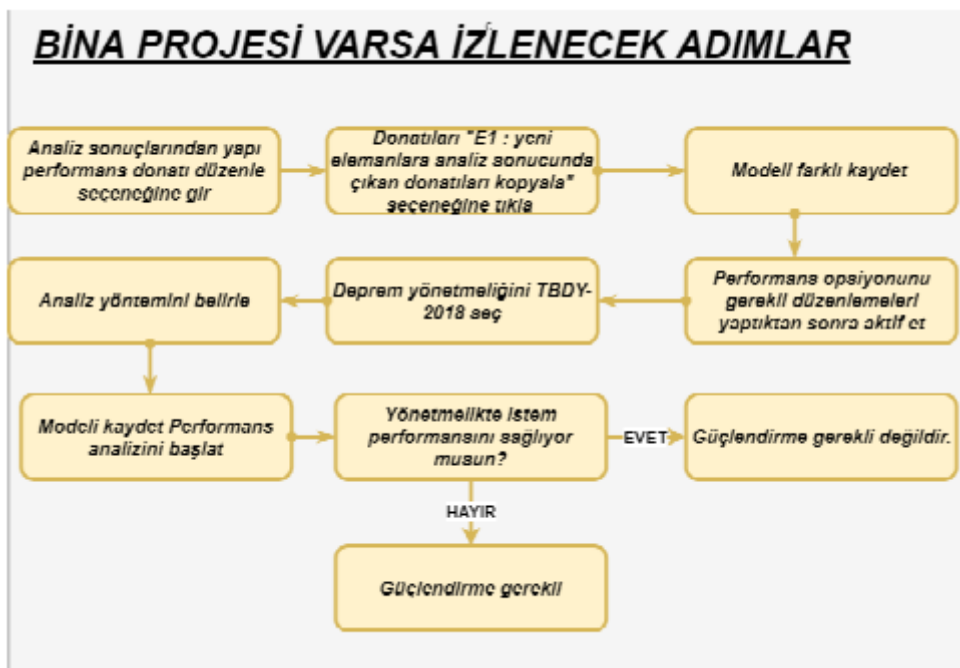
Performans seviyesi göçme öncesi ve göçme durumunda olan yapılarda kullanımın devam etmesi büyük hayati risk oluşturmaktadır. Özellikle deprem sonrasında hemen kullanımı gerekebilecek bir kamu binasının bu durumunun ivedilikle ortadan kaldırılması önem arz etmektedir.

Bu durumda bulunan binaların bir an evvel incelemelerinin yapıp sonuca göre mümkünse güçlendirilmesinin sağlanması veya da yıkılıp yeniden yapılması sağlanmalıdır.

## 7. MEVCUT BETONARME BİR OKUL BİNASININ DEPREM PERFORMANSININ BELİRLENMESİ

### 7.1. Giriş

Bu çalışmada hedef, betonarme karkas olarak inşa edilmiş bir okul binasının performans analizinin yapıp depreme karşı dayanımının belirlenmesi ve güçlendirilme yapılarak binanın istenilen performans seviyesine ulaştırılmasının sağlanmasıdır. Mevcut yapının Betonarme – Statik Projesi’nde yer alan verilerle bilgisayarda üç boyutlu statik modeli oluşturulup, yapının şu andaki deprem dayanımı hakkında mevcut veriler ışığında bir değerlendirme yapılacaktır. Yapının performans hesabının STA4-CAD programında nasıl yapıldığı aşağıdaki Şekil 7.1’de gösterilmiştir.



Şekil 7.1. Performans analizi yapılırken izlenilmesi gereken adımlar ( STA4-CAD)

### 7.2. Bina Hakkında Genel Bilgilendirme

Yapı Elazığ ilinde bulunan 24 derslikli bir ilköğretim binasıdır. Yapı taşıyıcı sistemi betonarme kolon, kiriş ve döşemelerden oluşmaktadır. Bodrum kat + zemin kat + 4 normal kattan oluşan binanın bulunduğu arazide eğim bulunmamaktadır. Yapı boyutları planda 20,5 m x 41,25 m’dir. Projeye göre tüm normal katlarda döşeme üzerinden döşeme

üzerine kat yüksekliği 3,20 m, zemin katta bu değer 3,20 m, bodrum katta 3,70 m, çatı katında ise 4,20 m değere sahiptir.

### 7.2.1. Binaya etkiyen yükler

Kat döşemelerindeki kaplama yükleri ve kirişlerdeki duvar yükleri aşağıdaki Çizelge 7.1' de belirtildiği gibi kullanılmıştır.

Çizelge 7.1. Sabit ve hareketli yükler

	Sabit Yük	Hareketli yük
Normal kat döşemeleri (Sınıf)	0.587 (t/m <sup>2</sup> )	0.35 (t/m <sup>2</sup> )
Normal kat döşemeleri (Koridor, Merdiven)	0.587 (t/m <sup>2</sup> )	0.5 (t/m <sup>2</sup> )
Normal kat dış kirişleri	0,94 (t/m)	0
Normal kat iç kirişleri	0,79 (t/m)	0
Çatı katı kirişleri	Duvar yükü yoktur.	Duvar yükü yoktur.

### 7.2.2. Taşıyıcı elemanların donatı düzenleri

Mevcut yapının statik projesinden alınan kesit örnekleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir. Kolon, kiriş veya perdelerde sargı bölgesi oluşturulmadığı ve etriye sıkılaştırılması yapılmadığı görülmüştür.

Çizelge 7.2. Kolon kesit tipleri

b1 (cm)	b2 (cm)	Donatılar	Etriyeler
30	100	2x2Ø14+2x3Ø14	Ø8/25
30	60	2x2Ø14+2x2Ø14	Ø8/25
30	150	2x2Ø14+2x6Ø14	Ø8/25
40	60	2x3Ø14+2x1Ø14	Ø8/25
120	30	2x2Ø14+2x4Ø14	Ø8/25
60	30	2x2Ø14+2x2Ø14	Ø8/25
90	30	2x2Ø14+2x3Ø14	Ø8/25
75	30	2x2Ø14+2x2Ø14	Ø8/25
30	50	2x2Ø14+2x1Ø14	Ø8/25

Çizelge 7.3. Kiriş kesit tipleri

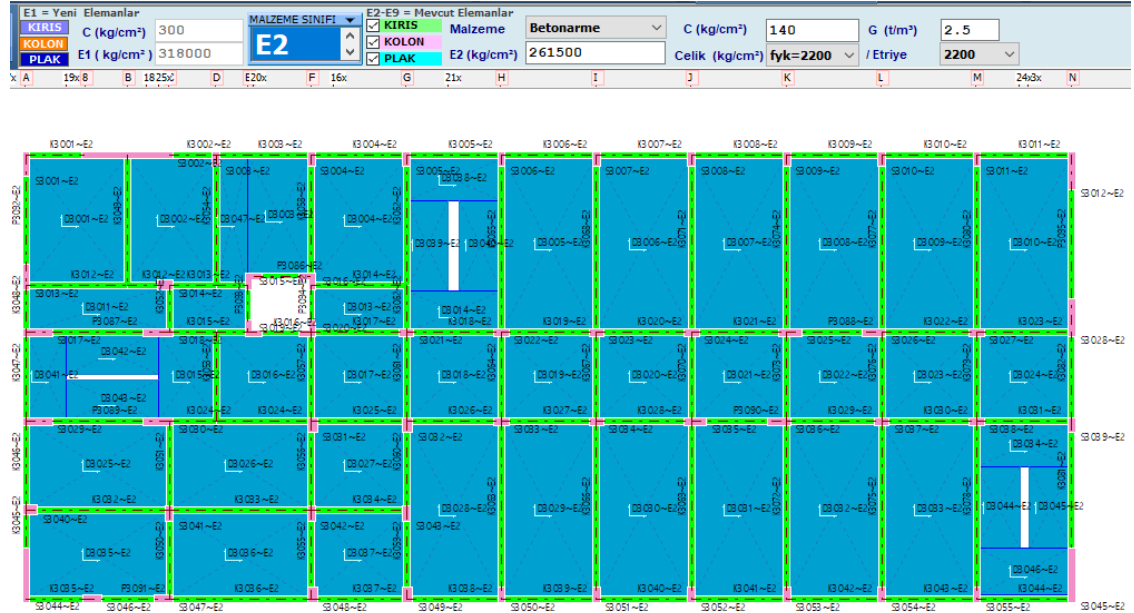
b1 (cm)	b2 (cm)	Montaj Donatısı	Düz Donatı	Gövde Donatısı	Etriyeler
30	60	3Ø12	3Ø12	Yok	Ø8/25

Çizelge 7.4. Perde kesit tipleri

b1 (cm)	b2 (cm)	Donatılar	Etriyeler
360	30	2x5Ø14+2x10Ø12	Ø8/25
30	345	2x11Ø12	Ø8/25
30	430	2x14Ø12	Ø8/25
30	240	2x8Ø12	Ø8/25
30	215	2x5Ø14+2x6Ø12	Ø8/25
30	210	2x7Ø12	Ø8/25
30	350	2x12Ø12	Ø8/25
25	150	2x6Ø12	Ø8/25
25	105	2x5Ø12	Ø8/25

### 7.2.3. Malzeme modelleri

Mevcut yapının bütün betonarme elemanlarına aşağıdaki Şekil 7.2’de görüldüğü gibi C14 beton tanımlanmıştır. Ayrıca donatı sınıfı olarak da S220 çeliği tanımlanmış olup malzemelerin özellikleri Şekil 7.2’de görülmektedir.



Şekil 7.2. Mevcut yapı malzeme modelleri (donatı ve beton)

### 7.3. Mevcut Yapı Performans Analizi

Mevcut yapı, STA4-CAD V14.1 versiyonu ile TBDY 2018'e göre modellenerek analiz edilmiştir. Buna göre yapının bulunduğu yer için öncelikle deprem parametrelerinin bulunması için AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması kullanılmıştır. Buradan çıkan sonuçlar aşağıda Şekil 7.3'te görülmektedir.

TBDY 2018 Tablo 3.1'e göre yapı okul olarak kullanıldığı için BKS = 1 (bina kullanım sınıfı) ve bina önem katsayısı  $I = 1.5$  olarak alınmıştır. Şekil 7.3'de görüldüğü üzere yapının  $S_{DS}$  değeri 0.75 değerinin üzerindedir. Bu durumda TBDY 2018 Tablo 3.2'ye göre Deprem Tasarım Sınıfı DTS = 1a olarak alınmıştır. TBDY 2018 Tablo 3.3'de yer alan bina yükseklik sınıfları ve deprem tasarım sınıflarına göre tanımlanan Bina Yükseklik Sınıfı BYS = 6 olarak alınmıştır.

TBDY 2018 Tablo 3.4 (c)'ye göre (mevcut yerinde dökme betonarme, önüretimli betonarme ve çelik binalar - BYS  $\geq 2$ ) yapının hem DD-1 hem de DD-3 deprem yer hareket düzeyine göre sırasıyla ileri performans hesabının kontrollü hasar (KH) ve sınırlı hasar (SH)'yi şekil değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım yöntemi (ŞGDT) kullanılarak sağlanması gerekmektedir.

Rapor Başlığı:	okul güçlendirme	
Deprem Yer Hareketi Düzeyi:	DD-2	50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
Yerel Zemin Sınıfı	ZD	Orta sıkı - sıkı kum, çakıl veya çok katlı tabakalan
Enlem:	38.67471°	
Boylam	39.222351°	



### Çıktılar

$S_5 = 0.923$	$S_1 = 0.260$	$S_{DS} = 1.044$	$S_{D1} = 0.541$
$PGA = 0.387$	$PGV = 24.263$		

$S_5$  : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

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

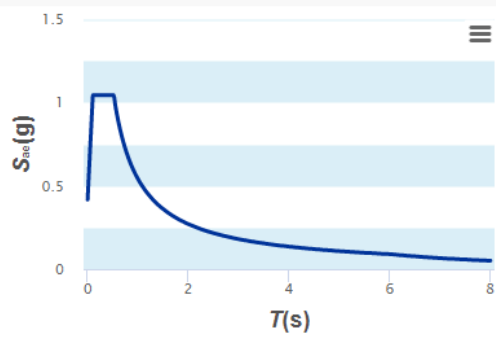
$S_{DS}$  : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

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

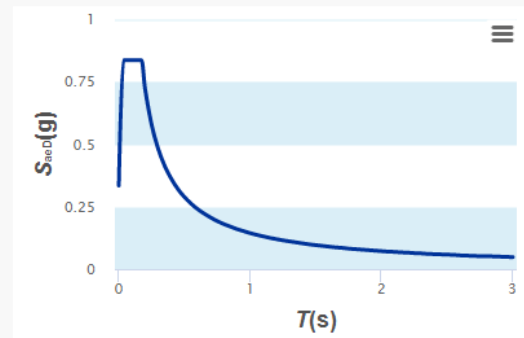
$PGA$  : En büyük yer ivmesi [g]

$PGV$  : En büyük yer hızı [cm/sn]

### Yatay Elastik Tasarım Spektrumu



### Düşey Elastik Tasarım Spektrumu



Şekil 7.3. Mevcut yapının deprem parametreleri



**STA4-CAD** TBDY 2018 Elastik Tasarım İvme Spektrumu Duzenleme

Deprem yer hareketi düzeyi	DD2	www.tdth.afad.gov.tr
Zemin sınıfı	ZD	Yerel ivmelerin haritadan okunması
Enlem	38.67471	Raporlama butonundan koordinatları girin
Boylam	39.222351	Son girilen koordinatlar: N=38.6747°, E=39.2223°
Kısa periyod bölgesi, spektral ivme katsayısı	Ss 0.9308	Ss=0.931 S1=0.262 Sds=1.05 Sd1=0.545
T=1.0 için spektral ivme katsayısı	S1 0.2624	DD3 >> Sds=0.532 Sd1=0.236
DD2 için, Kısa periyod tasarım spektral ivme katsayısı	Sds 1.0497	TBDY 2018 Deprem haritasından yaklaşık yerel ivmelerin bulunması
DD2 için, T=1.0 için tasarım spektral ivme katsayısı	Sd1 0.5445	
DD3 için, Kısa periyod tasarım spektral ivme katsayısı	Sds3 0.5321	DD3 için bulunan Sds3 ve Sd3, düşey düzensizlikte kullanılması içindir.
DD3 için, T=1.0 için tasarım spektral ivme katsayısı	Sd3 0.2363	
DD1 için, Kısa periyod tasarım spektral ivme katsayısı	Sds1 1.7635	DD1 ve DD4 performans analizi için gereklidir. Lineer analizde gerekmemektedir.
DD1 için, T=1.0 için tasarım spektral ivme katsayısı	Sd1 0.9076	
DD4 için, Kısa periyod tasarım spektral ivme katsayısı	Sds4 0.3718	
DD4 için, T=1.0 için tasarım spektral ivme katsayısı	Sd4 0.1542	

## YAPI GENEL BİLGİLERİ

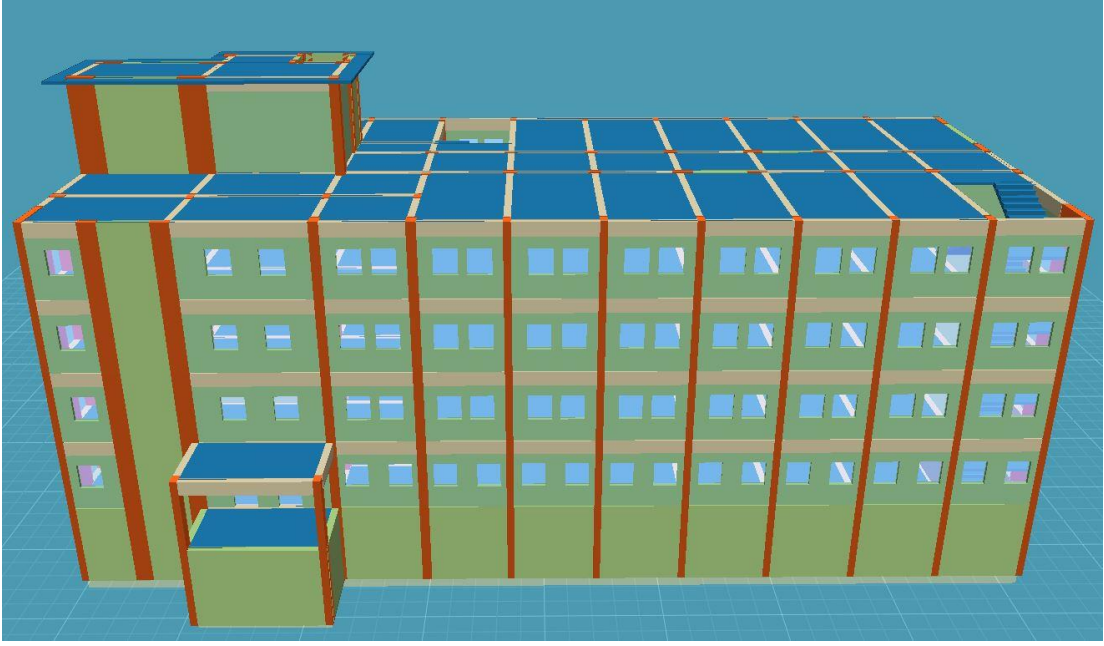
Yapı Proje İsmi	Elazığ Okul Binası Güçlendirme		
Kat Sayısı	6	<p>UserKey</p>	
Spektral ivme Katsayısı (DD2)	Sds/Sd1		1.044/0.541
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı	Rx/Ry		4
Dayanım Fazlalığı Katsayısı	D		2.5
Deprem Yapı Önem Katsayısı	I		1.5
Hareketli Yük Katsayısı	n		0.6
Deprem Yüğü Alt Yüksekliği	Hx/Hy (m)		3.7
Zemin Yatak Katsayısı	Ko (t/m <sup>2</sup> )		1500
Zemin Taşıma Gücü Gerilmesi	qt (t/m <sup>2</sup> )		21
Hareketli Yük Azaltma Katsayısı	Cz		1
Deprem Yüğü Eksantirisitesi			0
Modal Analiz Min. Yük Oranı	$\beta$		0.9
Üst Kat no (TDY için)			5
Aplikasyon Kot Farkı	(m)		0

YS. CERCEVE + YS. PERDE

PERFORMANS ANALİZ OPSİYONU

GUCLENDİRME PROJESİ DEPREM STANDARTI: TBDY2018 TASARIM STANDARTI: TS500t

Şekil 7.4. Mevcut yapının deprem parametrelerinin programa tanımlanması



Şekil 7.5. Mevcut yapının üç boyutlu görünümü

### 7.3.1. Performans analizinin yapılması ve sonuçların irdelenmesi

#### 7.3.1.1. Doğrusal (Linear) hesap yöntemi ile performans analizinin yapılması

Mevcut yapı öncelikle doğrusal hesap yöntemi ile (lineer analiz) performans analizine tabi tutulmuş lakin elemanların EKO (etki / kapasite) değerleri öngörülen aralıkta çıkmadığı için bu analiz geçersiz sayılmıştır. Aşağıda Şekil 7.6 ve Şekil 7.7’de analizlerin opsiyonları ve çıkan sonuçlar gösterilmiştir.

STA4-CAD		PROJE	OPSİYONLARI
ANALIZ	INDIS	RUZGAR / ISI	SPECTRUM
Time History			
STATİK ANALİZ			
<input checked="" type="radio"/> LINEER ANALİZ <input type="checkbox"/> TÜM YAPININ FEA ANALİZİ <input type="checkbox"/> SADECE TEMELLERİN MESH FEA ANALİZİ Plak Birim Mesh Genisliği m: 1.0		<input type="radio"/> PDELTA ANALİZ <input type="radio"/> NONLINEER ANALİZ Sta-Nonlineer analiz Sta-Perform	
DEPREM ANALİZİ			
<input type="radio"/> ESDEĞER DEPREM ANALİZİ (1 modlu analiz) <input checked="" type="radio"/> MODAL ANALİZ (çok modlu analiz) <input type="radio"/> ZAMAN TANIM ALANINDA ANALİZ (TIME HISTORY)		<input checked="" type="checkbox"/> DÜŞEY DEPREM ANALİZİ <input type="checkbox"/> Modal <input type="checkbox"/> TUĞLA DUVARLI DEPREM ANALİZİ	
YAPI-TEMEL ANALİZİ		İNŞAAT AŞAMALARI ANALİZİ	
<input checked="" type="radio"/> YAPI-TEMEL AYRI STATİK ANALİZ <input type="radio"/> YAPI+TEMEL BİRLİKTE ANALİZ (temel donmeli) <input type="radio"/> YAPI+TEMEL BİRLİKTE ANALİZ (tam etkileşim)		Ölü yük Çarpanı C: 0.0 Aşamadaki kat sayısı: 1	
<input checked="" type="checkbox"/> KIRIS OLU YUKLERİNDE, DUVARLARIN YUKSEKLIK KONTROLLU OTOMATİK DÜZENLENMESİ			

Şekil 7.6. Mevcut yapının lineer analiz opsiyonları

**STA4-CAD** **PERFORMANS PROJESİ OPSİYONLARI**  OK  X

**YAPI PERFORMANSI PROJESİ**  
Performans Opsiyonu : YAPI PERFORMANSI OPSİYONLARI

**YAPI PERFORMANSI OPSİYONLARI** **RISKLİ BİNALARIN TESBİT OPSİYONLARI**

**YAPI PERFORMANSI KONTROLÜ GENEL OPSİYONLARI**

**BİNA BİLGİ DÜZEYİ KAT SAYISI** 1.0  Kolon uçlarında kuşatılmış kolon kontrolü

Donatı kenetlenme boyu, kapasite carpanı 1  Çatlamış kesite göre analiz

Kiris dusey yuk moment carpanı 0.85  Ölü yük inşaat aşamaları analizi

Kiris  $Mg + Cq \times Mq$  Cq= 0.6  Panel Uç kolonları dönme serbestliği

Kiriş donatı gerçekleşme oranı % 100

**E1-YENİ, E2-E9: MEVCUT DONATILARA GÖRE YAPININ PERFORMANSI**

**PERDE VE KOLON DETAY OPSİYONLARI**

**PERDE OPSİYONLARI**

**BASLIK BOLGESİ KENDİ İCİNDE OLAN PERDELER**

**BASLIK PERDELI, KIRISLERE ROT İLE BAĞLANTILI**  **BASLIK PERDELI, KIRISLERİN KIRILARAK PERDE TESKİLİ**

**PANEL ELEMAN OPSİYONLARI**

**BASLIK BOLGESİ MEVCUT KOLON DAN FAYDALANARAK PANEL ELEMANLA OLUSTURULAN PERDELER**

**KIRISLERE ROT İLE BAĞLANTILI**  **KIRISLERİN KIRILARAK PERDE TESKİLİ**

**MEVCUT KOLONLARIN ÖZELLİKLERİ**

KOLON min. BOYUNA DONATI ORANI 0.01

KOLON DONATI GERÇEKLEŞME ORANI % 100

PERDE DONATI GERÇEKLEŞME ORANI % 100

STATİKCE GEREKLİ KESİTE göre betonarme hesap

KOLON BURKULMASINDA sadece E1 göre hesap

Etriye kancalarının 90° kapatılması, Rosh %30 azaltma

**MANTO DUSEY YUK OPSİYONU**

KOLON AKTİF, MANTO PASİF

KOLON AKTİF, MANTO AKTİF

KOLON PASİF, MANTO AKTİF

KOLON+MANTO KAPASİTE KONTROLÜ

**(E2-E9) MEVCUT YAPI TASARIM STANDARTI**

TBDY2018-TDY2007-TDY1997,TS500 (2000)  TDY1975,TS500 (1984)  ACI318

Şekil 7.7. Performans projesi opsiyonları

**KAT EKO KONTROLÜ**

Kat	Kiris EK0x <5	Kiris EK0y <5	Kolon EK0x <3	Kolon EK0y <3	Kir.EKO ≥ Kol.EKO
1	6.231 ×	7.917 ×	2.571 ✓	3.769 ×	BODRUM KAT
2	8.941 ×	11.746 ×	8.997 ×	15.307 ×	×
3	9.207 ×	12.359 ×	2.604 ✓	3.482 ×	✓
4	9.479 ×	12.490 ×	2.925 ✓	3.348 ×	✓
5	7.169 ×	10.130 ×	4.556 ×	5.390 ×	UST KAT

DOĞRUSAL HESAP YÖNTEMİ SINIRLARI SAĞLANMAMIŞTIR.  
PERFORMANS ANALİZİNİ, DOĞRUSAL OLMAYAN (NONLINEER) ANALİZ YÖNTEMİYLE YAPMALISINIZ.

Şekil 7.8. Mevcut yapının lineer analiz EKO kontrolü sonuçları

### 7.3.1.2. Doğrusal olmayan (nonlinear) hesap yöntemi ile performans analizinin yapılması

Yapının nonlinear analize göre performansının belirlenmesinde kullanılan opsiyonlar aşağıda Şekil 7.9’da verilmiştir.

STA4-CAD PROJE OPSİYONLARI

ANALIZ INDIS RUZGAR / ISI SPECTRUM Time History

STATİK ANALİZ

LINEER ANALİZ  PDELTA ANALİZ  NONLINEER ANALİZ

TÜM YAPININ FEA ANALİZİ  ARTIMSAL MODAL ANALİZ

Sta-Fea3d Sta-Workshop Sta-Nonlineer analiz

SADECE TEMELLERİN MESH FEA ANALİZİ

Plak Birim Mesh Genisliği m 1.0

Sta-Perform

DEPREM ANALİZİ

TEK MODLU NONLINEER ANALİZ  DUSEY DEPREM ANALİZİ  Modal

ÇOK MODLU NONLINEER ANALİZ  TUĞLA DUVARLI DEPREM ANALİZİ

YAPI-TEMEL ANALİZİ İNŞAAT AŞAMALARI ANALİZİ

YAPI-TEMEL AYRI STATİK ANALİZ  YAPI+TEMEL BİRLİKTE ANALİZ (temel donmeli)  YAPI+TEMEL BİRLİKTE ANALİZ (tam etkileşim)

Ölü yük Çarpanı C 0.0

Aşamadaki kat sayısı 1

KIRIS OLU YUKLERİNDE, DUVARLARIN YUKSEKLİK KONTROLLU OTOMATİK DÜZENLENMESİ

PLOTTER SETUP BETONARME OPSİYONLAR ANALİZ OPSİYONLARI

DİZAYN STANDARDLARI DEPREM STANDARDLARI NONLINEER ANALİZ

NONLINEER ANALİZ OPSİYONLARI

GENEL KIRIS

Düşey yük plastik analiz  P-DELTA ETKİSİ

YAPI PERFORMANS SEVİYESİ

TDY2007 performans seviyesi  FEMA356 performans seviyesi  ATC 40 performans seviyesi

KOLON BETONARME SÜNEKLİLİK KOSULU

$\epsilon_{cu}$  0.003

PERFORMANS ANALİZİ SEKİL DEĞİŞTİRME OPSİYONLARI

S220 düz donatı birim şekil değiştirme

talebinin 1.5 ile çarpılması (TBDY2018-15.7.1.2)

$E_d = E_{dx} + 0.3 E_{dy}$  (TBDY2018-4.4.2.1)

NONLINEER ANALİZ İTERASYON KONTROLU

Analiz iterasyon sayısı <30> 100

Analiz Moment hata oranı <%95> 0.98

İterasyon max. artım oranı <0.1> 0.05

Performans analiz şekil değiştirme beton hasarı üst limit kontrolü TBDY 2018 - 15.7.1.4

Kirislerde beton hasar üst limit azaltma kontrolü

Kolonlarda beton hasar üst limit azaltma kontrolü

Panellerde beton hasar üst limit azaltma kontrolü

Şekil 7.9. Mevcut yapının nonlineer analiz opsiyonları

### 7.3.1.2.1. DD-1 deprem yer hareketi düzeyine göre performans analizi



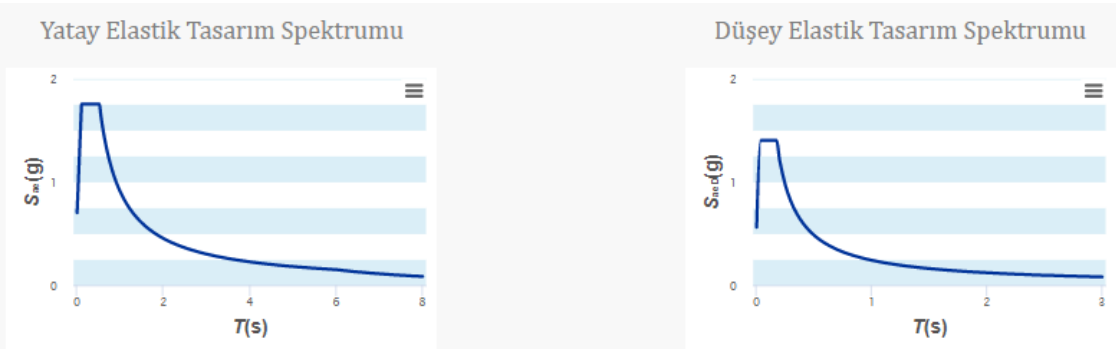
Rapor Başlığı:	okul güçlendirme	
Deprem Yer Hareketi Düzeyi:	DD-1	50 yılda aşılma olasılığı %2 (tekrarlanma periyodu 2475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
Yerel Zemin Sınıfı	ZD	Orta sıkı - sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları
Enlem:	38.87471°	
Boylam:	39.222351°	



### Çıktılar

$S_S = 1.752$	$S_1 = 0.503$	$S_{DS} = 1.752$	$S_{D1} = 0.904$
$PGA = 0.719$	$PGV = 46.590$		

- $S_S$  : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]  
 $S_1$  : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]  
 $S_{DS}$  : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]  
 $S_{D1}$  : 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]  
 PGA : En büyük yer ivmesi [g]  
 PGV : En büyük yer hızı [cm/s]



Şekil 7.10. DD-1 depremi için deprem parametreleri

Yapı öncelikle DD-1 depremine göre performans analizine tabi tutulmuştur. Sonuçlar aşağıdaki gibidir.

**BINA PERFORMANS SONUCU:**

Göçmenin önlenmesi durumu, Güçlendirme gereklidir. Kontrollü hasar performans bölgesi X

Kontrollü hasar performans bölgesi yeterlilik kontrolü:

Kiriş Hasar oranı=(IH=10.5≤20 ✓), (GB=7.9>0 X)

Kolon Hasar oranı=(IH=0.3≤20 ✓), (GB=0 ✓)

Ust kat Vc oranı=(IH=0.0≤40 ✓), (GB=0 ✓)

Plastiklesen kolon Vc oranı=(IH+GB=0.3≤30 ✓)

Şekil 7.11. DD-1 deprem yer hareketi düzeyine göre performans analizi bina performans sonucu

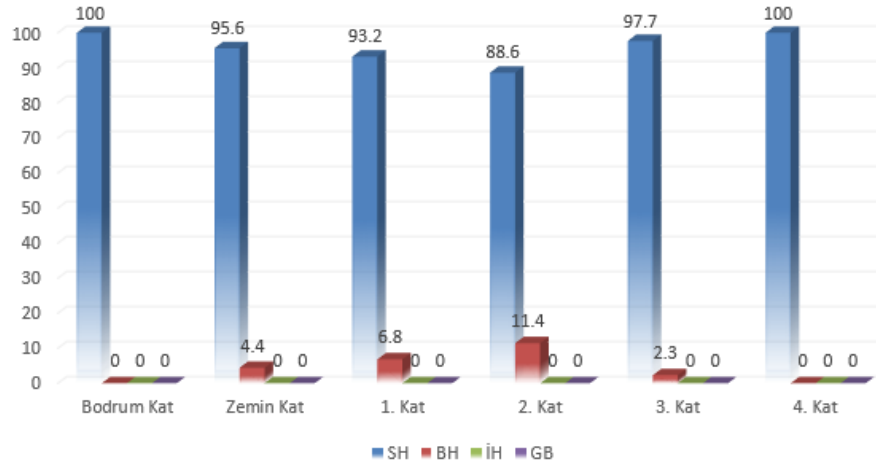
### 7.3.1.2.1.1. Mevcut yapının hasar durumları

Mevcut yapının taşıyıcı elemanlarının hasar durumları aşağıda Çizelge 7.5'te verilmiştir. Yapının tabloda belirtilmeyen diğer taşıyıcı elemanlarının (kolon, kiriş, perde) tamamı sınırlı hasar (SH) bölgesindedir.

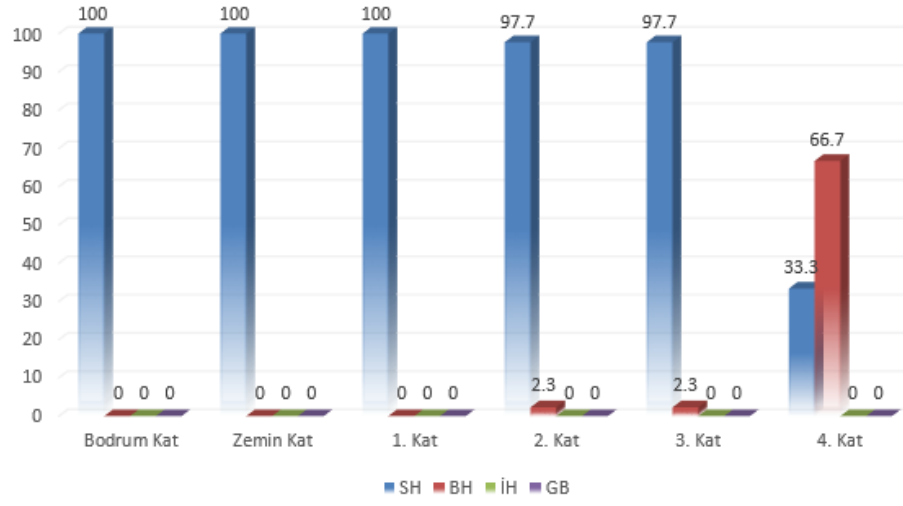
Çizelge 7.5. Mevcut yapı için taşıyıcı elemanların hasar durumları

Bodrum Kat	Zemin Kat	1. Normal Kat	2. Normal Kat	3. Normal Kat	4. Normal Kat
Kiriş	Kiriş	Kiriş	Kiriş	Kiriş	Kiriş
K1035 (BH)	K2015 (BH) / K2028 (BH) K2073 (BH) / K2079 (BH) K2046 (İH) / K2054 (İH) K2061 (İH)	K3015 (BH) / K3028 (BH) K3031 (BH) / K3070 (BH) K3050 (İH) / K3052 (İH) K3055 (İH) / K3058 (İH) K3062 (İH) K3045 (GB)	K4015 (BH) / K4021 (BH) K4023 (BH) / K4028 (BH) K4031 (BH) / K4070 (BH) K4076 (BH) K4058 (İH) / K4062 (İH) K4055 (İH) K4045 (GB) / K4050 (GB) K4052 (GB)	K5023 (BH) / K5028 (BH) K5058 (İH) / K5055 (İH) K5048 (GB) / K5050 (GB) K5050 (GB)	K6001 (BH) / K6003 (BH)
Kolon	Kolon	Kolon	Kolon	Kolon	Kolon
S1022 (BH) / S1038 (BH)	S2010 (BH)	S3002 (BH)	S4002 (BH) / S4048 (BH) S4049 (BH)	S5002 (BH) / S5004 (BH) S5007 (BH) / S5008 (BH) S5009 (BH) / S5010 (BH) S5011 (BH) / S5048 (BH) S5049 (BH) / S5050 (BH) S5051 (BH) / S5052 (BH) S5053 (BH) / S5054 (BH)	S6014 (BH)
Perde	Perde	Perde	Perde	Perde	Perde
P1058 (BH) / P1082 (BH) P1093 (BH) / P1094 (BH)	P2093 (BH) / P2094 (BH)	P3093 (BH) / P3094 (BH) P3086 (İH)	P4086 (BH) / P4093 (BH) P4094 (BH)	P5086 (BH) / P5093 (BH) P5094 (BH)	P6086 (BH)

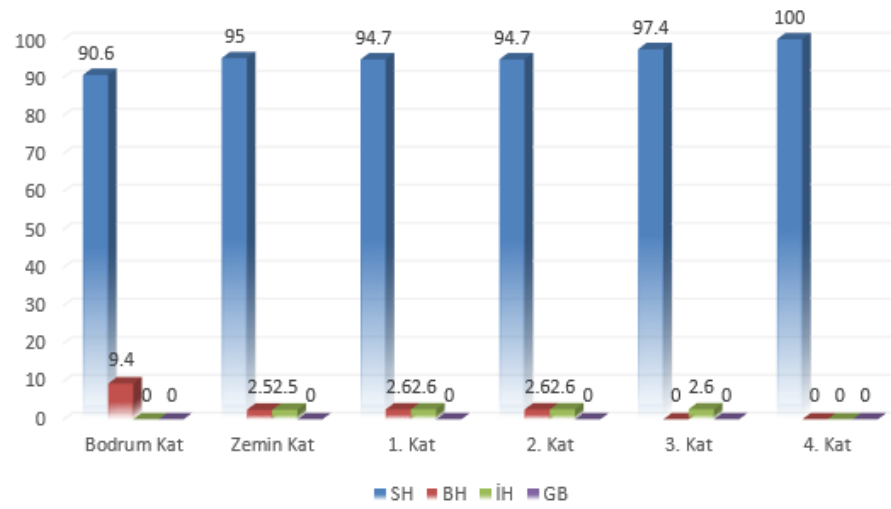
Mevcut yapının taşıyıcı elemanlarının hasar durumları yüzdesel olarak aşağıdaki grafiklerde verilmiştir.



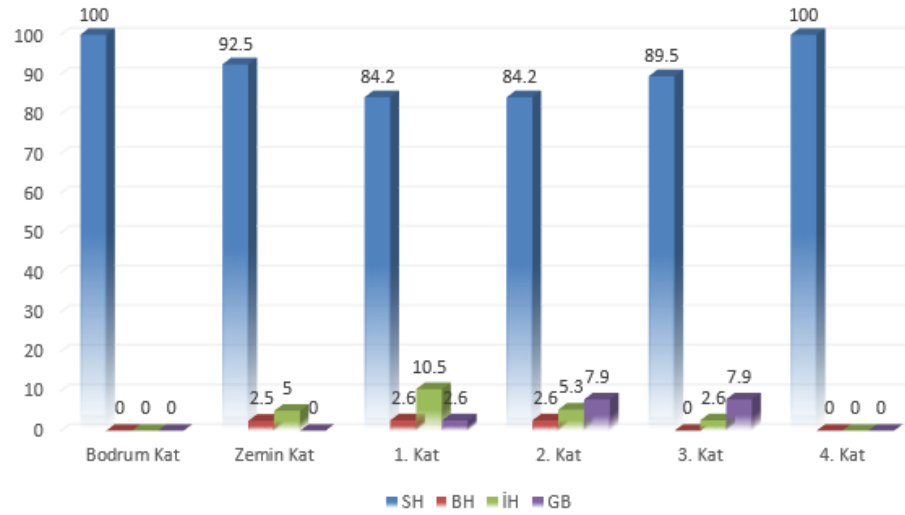
Şekil 7.12. Mevcut yapı -X yönü kiriş hasar grafiği



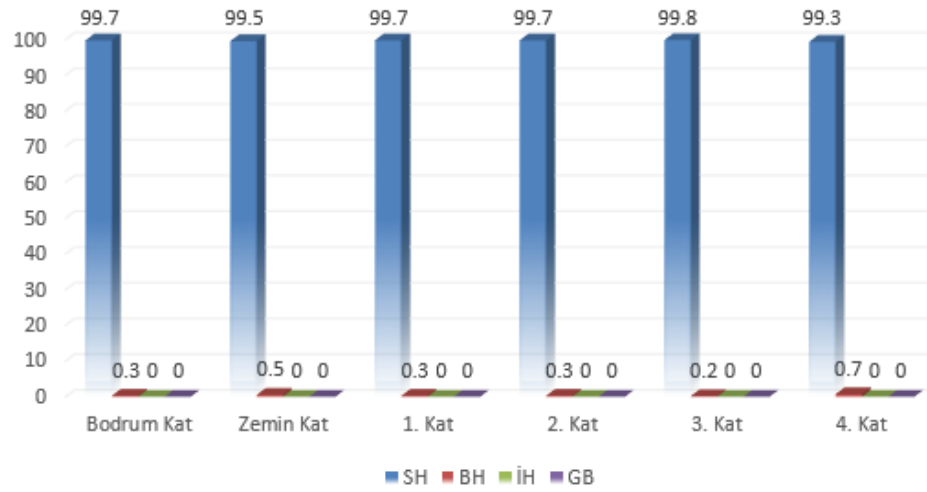
Şekil 7.13. Mevcut yapı +X yönü kiriş hasar grafiği



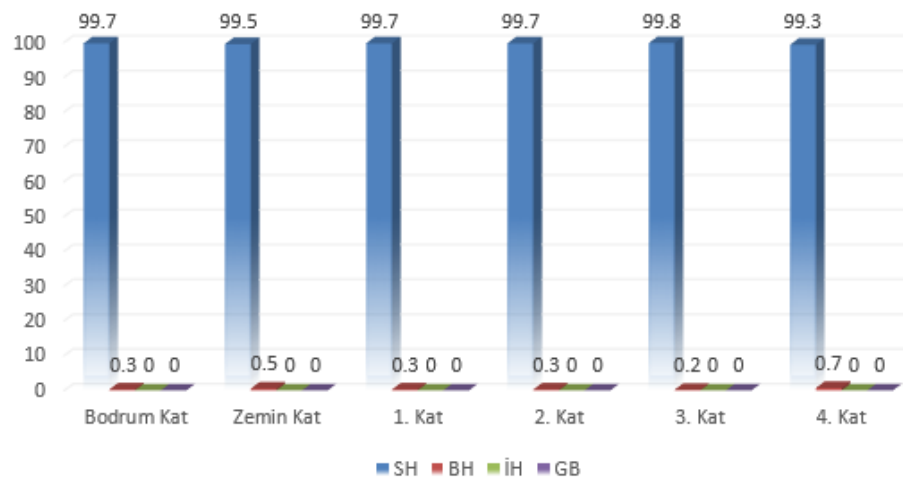
Şekil 7.14. Mevcut yapı -Y yönü kiriş hasar grafiği



Şekil 7.15. Mevcut yapı +Y yönü kiriş hasar grafiği

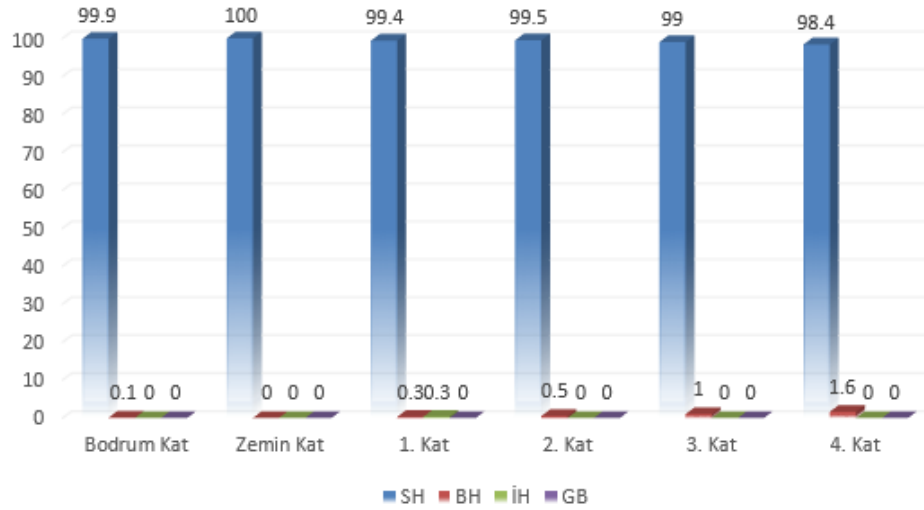


Şekil 7.16. Mevcut yapı -X yönü kolon hasar grafiği

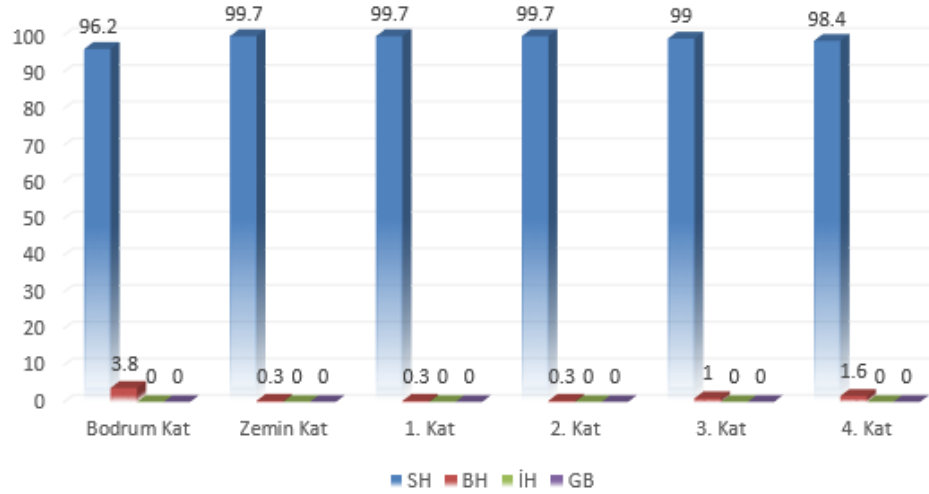


Şekil 7.17. Mevcut yapı +X yönü kolon hasar grafiği





Şekil 7.18. Mevcut yapı -Y yönü kolon hasar grafiği



Şekil 7.19. Mevcut yapı +Y yönü kolon hasar grafiği

#### 7.3.1.2.1.2. Mevcut yapının yapı düzensizliklerinin kontrolü

Mevcut yapı için düzensizlik kontrolleri, STA4-CAD programı yardımıyla, çok modlu nonlineer analiz yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Sonuçlar her yön için aşağıdaki çizelgelerde gösterilmiştir (Çizelge 7.6, Çizelge 7.7, Çizelge 7.8).

**Çizelge 7.6.** Mevcut yapı A1(burulma düzensizliği), B2 (yumuşak kat) düzensizliklerinin kontrolü (X yönü)

Kat	$\Delta X$ düst (m)	$\Delta X$ dalt (m)	$\Delta X$ ort	nbi	nki	$R/I \cdot \Delta x/h$	$\theta_i$	kat tipi
6	0.0074237	0.0084105	0.0079171	1.06	0.00	0.00801 ✓	0.00156 ✓	Normal kat
5	0.0063451	0.0062801	0.0063126	1.01	1.05	0.00793 ✓	0.00274 ✓	Normal kat
4	0.0069302	0.0068926	0.0069114	1.00	1.09	0.00866 ✓	0.00373 ✓	Normal kat
3	0.0068039	0.0067990	0.0068014	1.00	0.98	0.00850 ✓	0.00433 ✓	Normal kat
2	0.0054853	0.0055085	0.0054969	1.00	0.81	0.00689 ✓	0.00410 ✓	Normal kat
1	0.0016505	0.0015462	0.0015983	1.03	0.00	0.00178 ✓	0.00000 ✓	Bodrum kat

**Çizelge 7.7.** Mevcut yapı A1(burulma düzensizliği), B2 (yumuşak kat) düzensizliklerinin kontrolü (Y yönü)

Kat	$\Delta Y$ dsol (m)	$\Delta Y$ dsağ (m)	$\Delta Y$ ort	nbi	nki	$R/I \cdot \Delta y/h$	$\theta_i$	kat tipi
6	0.0221087	0.0152302	0.0186694	1.18	0.00	0.02106 ✓	0.00354 ✓	Normal kat
5	0.0115616	0.0062204	0.0088910	1.30	0.63	0.01445 ✓	0.00402 ✓	Normal kat
4	0.0123243	0.0068992	0.0096118	1.28	1.08	0.01541 ✓	0.00541 ✓	Normal kat
3	0.0119118	0.0068328	0.0093723	1.27	0.98	0.01489 ✓	0.00631 ✓	Normal kat
2	0.0093719	0.0054752	0.0074235	1.26	0.79	0.01171 ✓	0.00585 ✓	Normal kat
1	0.0037674	0.0028663	0.0033168	1.14	0.00	0.00407 ✓	0.00000 ✓	Bodrum kat

**Çizelge 7.8.** Mevcut yapı için B1 (zayıf kat) düşey doğrultudaki düzensizliklerin kontrolü

Kat	$A_w$	$A_{gx}$	$A_{gy}$	$A_{kx}$	$A_{ky}$	$\Sigma A_{ex}$	$\Sigma A_{ey}$	$ncix$	$nciy$	AÇIKLAMA
6	2.97	2.50	0.60	1.43	1.40	5.68	3.78	1.00	1.00	üst kat ✓
5	12.00	5.63	4.21	14.50	10.35	19.81	17.77	3.49	4.70	Düzenli ✓
4	12.00	5.63	4.21	14.50	9.65	19.81	17.66	1.00	0.99	Düzenli ✓
3	12.00	5.63	4.21	15.06	10.70	19.89	17.82	1.00	1.01	Düzenli ✓
2	12.30	5.63	4.21	14.92	11.07	20.17	18.18	1.01	1.02	Düzenli ✓
1	12.30	25.43	10.89	0.00	0.00	37.73	23.19	1.87	1.28	bodrum kat

### 7.3.1.2.1.3. Kat deprem deplasmanları

Deprem hasarı yer değiştirme ve şekil değiştirme ile doğrudan ilişkilendirilebilir. Katın yaptığı deplasman, katın taban kısmına göre yanal yönde yer değiştirmesidir. Mevcut durum için yapının her iki doğrultudaki kat deplasmanları aşağıda Çizelge 7.9'da verilmiştir.

**Çizelge 7.9.** Mevcut yapı kat deprem deplasman değerleri

Kat no	9. yükleme		10. yükleme		11. yükleme		12. yükleme	
	$\delta x$ (m)	$\theta z$ (rad)	$\delta x$ (m)	$\theta z$ (rad)	$\delta y$ (m)	$\theta z$ (rad)	$\delta y$ (m)	$\theta z$ (rad)
6	0.0351666	0.0001429	0.0351666	0.0001429	-0.060441	0.0011230	-0.060441	0.0011230
5	0.0271270	-0.000010	0.0271270	-0.000010	-0.037333	0.0005004	-0.037333	0.0005004
4	0.0208146	-0.000006	0.0208146	-0.000006	-0.028715	0.0003710	-0.028715	0.0003710
3	0.0139032	-0.000004	0.0139032	-0.000004	-0.019436	0.0002394	-0.019436	0.0002394
2	0.0071015	-0.000003	0.0071015	-0.000003	-0.010436	0.0001163	-0.010436	0.0001163
1	0.0016031	-0.000005	0.0016031	-0.000005	-0.003293	0.0000218	-0.003293	0.0000218

Deprem yapı salınımı:  $x= 0.00170$   $y= 0.00292$

Çizelge 7.10. Mevcut yapı maksimum deprem deplasmanı (mm)

Kat	Hi (m)	uiX	uiY
6	20.700	35.2	60.4
5	16.500	27.1	37.3
4	13.300	20.8	28.7
3	10.100	13.9	19.4
2	6.900	7.1	10.4
1	3.700	1.6	3.3

## 7.3.1.2.1.4. Deprem perdeleri taban moment kontrolü

Çizelge 7.11. Kat deprem yük ve momenti (tm)

Kat	H (m)	Fx	Fx . H	H (m)	Fy	Fy . H
6	17.00	149.61	2543.35	17.00	155.49	2643.33
5	12.80	545.05	6976.66	12.80	511.23	6543.71
4	9.60	402.85	3867.40	9.60	385.83	3703.95
3	6.40	286.85	1835.82	6.40	258.05	1651.53
2	3.20	198.45	635.03	3.20	185.78	594.49
1	BODRUM	-	-	BODRUM	-	-
		1582.81	15858.27		1496.37	15137.01

M : Perde ve panel deprem momenti

$\sum M_k$  : Perdelerde; bağlı olduğu kirişlerin deprem momentlerinin toplamı

Panellerde ise; başlık kolonlarından oluşan deprem momentlerinin toplamıdır.

Çizelge 7.12. Perde taban momenti (tm)

Perde	Mx	$\sum M_{xk} =$	$\sum M_{xr}$	M/Mo<1/3	My	$\sum M_{yk} =$	$\sum M_{yr}$	M/Mo<1/3
SZ002	736.00	244.27	980.27	0.062 ✓	-	-	-	-
SZ044	-	-	-	-	336.38	167.02	503.40	0.033 ✓
SZ045	-	-	-	-	290.17	56.20	346.37	0.023 ✓
PZ087	674.99	270.01	945.00	0.060 ✓	-	-	-	-
PZ088	245.45	260.64	506.09	0.032 ✓	-	-	-	-
PZ089	671.76	251.42	923.17	0.058 ✓	-	-	-	-
PZ090	246.27	261.14	507.40	0.032 ✓	-	-	-	-
PZ091	198.73	266.63	465.36	0.029 ✓	-	-	-	-
PZ092	-	-	-	-	935.13	2136.41	3071.54	0.203 ✓
PZ093	-	-	-	-	52.98	26.97	79.95	0.005 ✓
PZ095	-	-	-	-	848.45	2129.17	2977.62	0.197 ✓
PZ086+PZ094	409.19	0.00	409.19	0.026 ✓	477.16	0.00	477.16	0.032 ✓
TOPLAM			4736.48				7456.04	

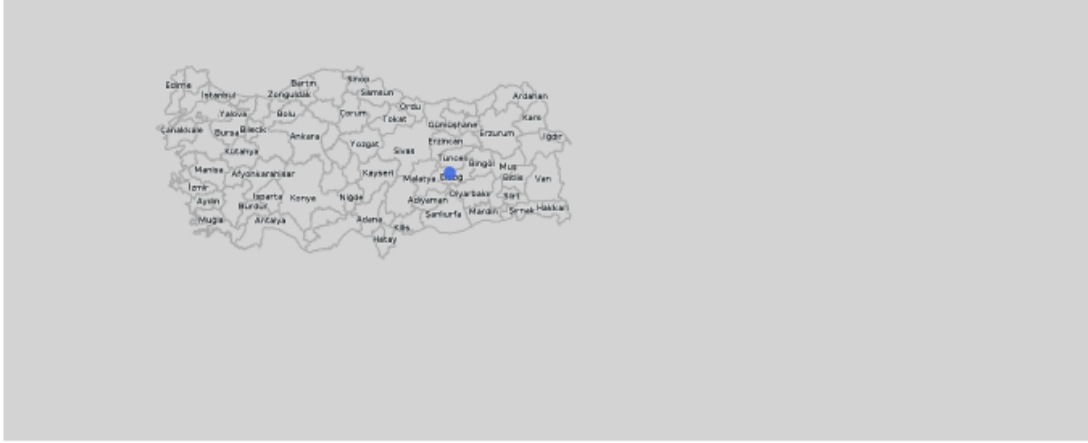
Perde taban moment oranı :

$$X \text{ yönü } \alpha_m = 4736.48 / 15858.27 = 0.3$$

$$Y \text{ yönü } \alpha_m = 7456.04 / 15137.01 = 0.49$$

### 7.3.1.2.2. DD-3 deprem yer hareketi düzeyine göre performans analizi

Rapor Başlığı:	okul güçlendirme	
Deprem Yer Hareketi Düzeyi:	DD-3	50 yılda aşılma olasılığı %50 (tekrarlanma periyodu 72 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
Yerel Zemin Sınıfı:	ZD	Orta sıkı - sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları
Enlem:	38.67471°	
Boylam:	39.222351°	

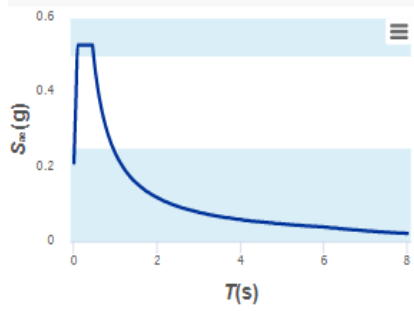


#### Çıktılar

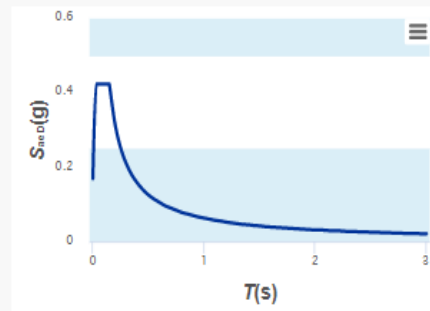
$S_S = 0.347$	$S_1 = 0.098$	$S_{D5} = 0.528$	$S_{D1} = 0.235$
$PGA = 0.149$	$PGV = 9.036$		

- $S_S$  : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
- $S_1$  : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
- $S_{D5}$  : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
- $S_{D1}$  : 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
- PGA : En büyük yer ivmesi [g]
- PGV : En büyük yer hızı [cm/sn]

#### Yatay Elastik Tasarım Spektrumu



#### Düsey Elastik Tasarım Spektrumu



Şekil 7.20. DD-3 depremi için deprem parametreleri

Yapının DD-3 depremine göre performans analizi sonuçları aşağıdaki gibidir.

**BINA PERFORMANS SONUCU:**  
 Belirgin Kiriş Hasar oranı= $\%100.0 > \%20$  Sınırlı Hasar ✗  
 Kontrollü hasar performans bölgesi durumu, DD3 ileri performans hedefi (Sınırlı Hasar performans düzeyi) sağlanmamıştır.  
 Sınırlı hasar performans bölgesi yeterlilik kontrolü:  
 Kiriş Hasar oranı=(BH= $\%100.0 > \%20$  ✗)  
 Kolon Hasar oranı=(BH= $\%0.0 = \%0$  ✓)

Şekil 7.21. DD-3 deprem yer hareketi düzeyine göre performans analizi bina performans sonucu

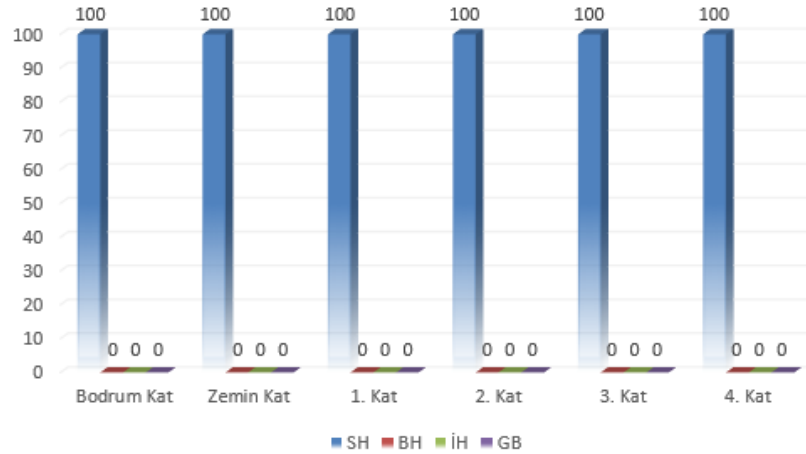
### 7.3.1.2.2.1. Mevcut yapının hasar durumları

Mevcut yapının taşıyıcı elemanlarının hasar durumları aşağıda Çizelge 7.13'te verilmiştir. Yapının tabloda belirtilmeyen diğer taşıyıcı elemanlarının (kolon, kiriş, perde) tamamı sınırlı hasar (SH) bölgesindedir.

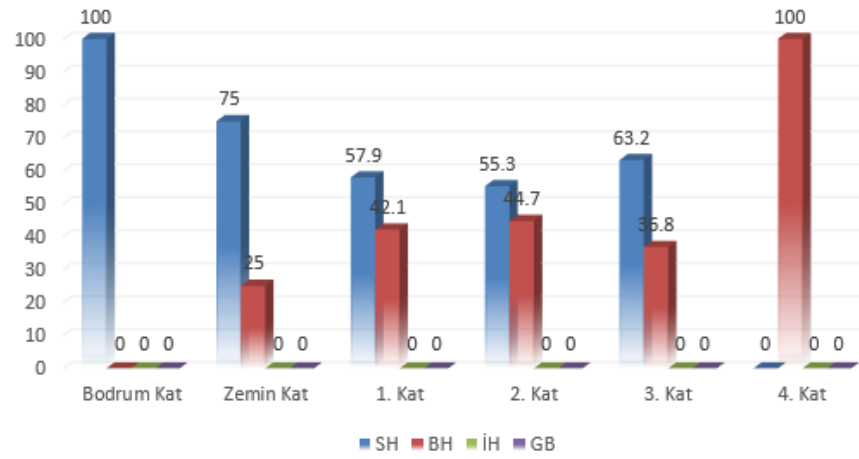
Çizelge 7.13. Mevcut yapı için taşıyıcı elemanların hasar durumları

Bodrum Kat	Zemin Kat	1. Normal Kat	2. Normal Kat	3. Normal Kat	4. Normal Kat
	Kiriş	Kiriş	Kiriş	Kiriş	Kiriş
	K2046 (BH) / K2047 (BH)	K3045 (BH) / K3046 (BH)	K4045 (BH) / K4046 (BH)	K5045 (BH) / K5046 (BH)	K6004 (BH) / K6005 (BH)
	K2048 (BH) / K2049 (BH)	K3047 (BH) / K3048 (BH)	K4047 (BH) / K4048 (BH)	K5047 (BH) / K5048 (BH)	K6006 (BH) / K6007 (BH)
	K2052 (BH) / K2053 (BH)	K3050 (BH) / K3051 (BH)	K4050 (BH) / K4051 (BH)	K5050 (BH) / K5051 (BH)	
	K2054 (BH) / K2058 (BH)	K3052 (BH) / K3055 (BH)	K4052 (BH) / K4055 (BH)	K5052 (BH) / K5055 (BH)	
	K2061 (BH) / K2062 (BH)	K3056 (BH) / K3057 (BH)	K4056 (BH) / K4057 (BH)	K5056 (BH) / K5057 (BH)	
		K3058 (BH) / K3059 (BH)	K4058 (BH) / K4059 (BH)	K5058 (BH) / K5059 (BH)	
		K3060 (BH) / K3061 (BH)	K4060 (BH) / K4061 (BH)	K5060 (BH) / K5061 (BH)	
		K3062 (BH) / K3064 (BH)	K4062 (BH) / K4064 (BH)		
			K4067 (BH)		

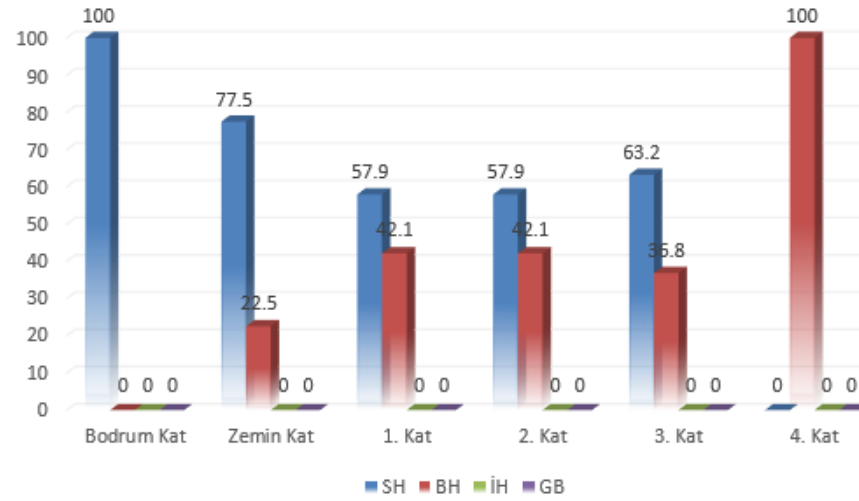
Mevcut yapının taşıyıcı elemanlarının hasar durumları yüzdesel olarak aşağıdaki grafiklerde verilmiştir. Yapının kirişlerinin tamamı +X ve -X yönünde Sınırlı Hasar (SH) bölgesindedir.



Şekil 7.22. Mevcut yapı X yönü kiriş hasar grafiği

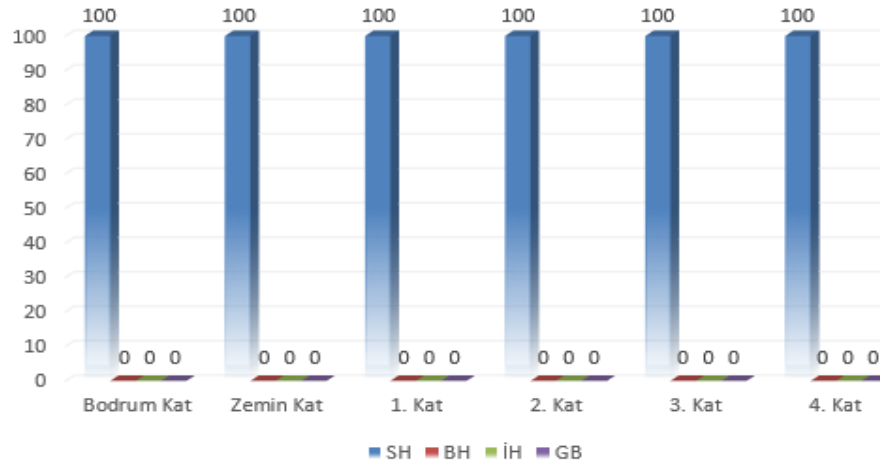


Şekil 7.23. Mevcut yapı -Y yönü kiriş hasar grafiği



Şekil 7.24. Mevcut yapı +Y yönü kiriş hasar grafiği

Yapının kolonlarının tamamı +X, -X, +Y, -Y yönlerinde Sınırlı Hasar (SH) bölgesindedir.



Şekil 7.25. Mevcut yapı +X, -X, +Y, -Y yönü kolon hasar grafikleri

### 7.3.1.2.2.2. Mevcut yapının yapı düzensizliklerinin kontrolü

**Çizelge 7.14.** Mevcut yapı A1(burulma düzensizliği), B2 (yumuşak kat) düzensizliklerinin kontrolü (X yönü)

Kat	$\Delta X$ düst (m)	$\Delta X$ dalt (m)	$\Delta X$ ort	nbi	nki	R/I· $\Delta x$ /h	$\theta_i$	kat tipi
6	0.0021560	0.0024374	0.0022967	1.06	0.00	0.00232 ✓	0.00152 ✓	Normal kat
5	0.0018333	0.0018142	0.0018238	1.01	1.04	0.00229 ✓	0.00274 ✓	Normal kat
4	0.0019988	0.0019876	0.0019932	1.00	1.09	0.00250 ✓	0.00374 ✓	Normal kat
3	0.0019608	0.0019590	0.0019599	1.00	0.98	0.00245 ✓	0.00434 ✓	Normal kat
2	0.0015801	0.0015865	0.0015833	1.00	0.81	0.00198 ✓	0.00410 ✓	Normal kat
1	0.0004832	0.0004529	0.0004681	1.03	0.00	0.00052 ✓	0.00000 ✓	Bodrum kat

**Çizelge 7.15.** Mevcut yapı A1 (burulma düzensizliği), B2 (yumuşak kat) düzensizliklerinin kontrolü (Y yönü)

Kat	$\Delta Y$ dsol (m)	$\Delta Y$ dsağ (m)	$\Delta Y$ ort	nbi	nki	R/I· $\Delta y$ /h	$\theta_i$	kat tipi
6	0.0062834	0.0043107	0.0052970	1.19	0.00	0.00598 ✓	0.00351 ✓	Normal kat
5	0.0031901	0.0016723	0.0024312	1.31	0.60	0.00399 ✓	0.00387 ✓	Normal kat
4	0.0033477	0.0018102	0.0025790	1.30	1.06	0.00418 ✓	0.00517 ✓	Normal kat
3	0.0031876	0.0017509	0.0024693	1.29	0.96	0.00398 ✓	0.00594 ✓	Normal kat
2	0.0024929	0.0013916	0.0019423	1.28	0.79	0.00312 ✓	0.00546 ✓	Normal kat
1	0.0010513	0.0007966	0.0009239	1.14	0.00	0.00114 ✓	0.00000 ✓	Bodrum kat

**Çizelge 7.16.** Mevcut yapı için B1 (zayıf kat) düşey doğrultudaki düzensizliklerin kontrolü

Kat	$A_w$	$A_{gx}$	$A_{gy}$	$A_{kx}$	$A_{ky}$	$\Sigma A_{ex}$	$\Sigma A_{ey}$	$n_{cix}$	$n_{ciy}$	AÇIKLAMA
6	2.97	2.50	0.60	1.43	1.40	5.68	3.78	1.00	1.00	üst kat ✓
5	12.00	5.63	4.21	14.50	10.35	19.81	17.77	3.49	4.70	Düzenli ✓
4	12.00	5.63	4.21	14.50	9.65	19.81	17.66	1.00	0.99	Düzenli ✓
3	12.00	5.63	4.21	15.06	10.70	19.89	17.82	1.00	1.01	Düzenli ✓
2	12.30	5.63	4.21	14.92	11.07	20.17	18.18	1.01	1.02	Düzenli ✓
1	12.30	25.43	10.89	0.00	0.00	37.73	23.19	1.87	1.28	bodrum kat

### 7.3.1.2.2.3. Kat deprem deplasmanları

**Çizelge 7.17.** Mevcut yapı kat deprem deplasman değerleri

Kat no	9. yükleme		10. yükleme		11. yükleme		12. yükleme	
	$\delta x$ (m)	$\theta z$ (rad)	$\delta x$ (m)	$\theta z$ (rad)	$\delta y$ (m)	$\theta z$ (rad)	$\delta y$ (m)	$\theta z$ (rad)
6	0.0101618	0.0000407	0.0101618	0.0000407	-0.016528	0.0003203	-0.016528	0.0003203
5	0.0078301	-0.000003	0.0078301	-0.000003	-0.009982	0.0001418	-0.009982	0.0001418
4	0.0060064	-0.000001	0.0060064	-0.000001	-0.007628	0.0001050	-0.007628	0.0001050
3	0.0040132	-0.000001	0.0040132	-0.000001	-0.005144	0.0000677	-0.005144	0.0000677
2	0.0020532	-0.000001	0.0020532	-0.000001	-0.002780	0.0000329	-0.002780	0.0000329
1	0.0004694	-0.000001	0.0004694	-0.000001	-0.000917	0.0000062	-0.000917	0.0000062

Deprem yapı salınımları:  $x = 0.00049$   $y = 0.00080$

Çizelge 7.18. Mevcut yapı maksimum deprem deplasmanı (mm)

Kat	Hi (m)	uiX	uiY
6	20.700	10.2	16.5
5	16.500	7.8	10.0
4	13.300	6.0	7.6
3	10.100	4.0	5.1
2	6.900	2.1	2.8
1	3.700	0.5	0.9

## 7.3.1.2.2.4. Deprem perdeleri taban moment kontrolü

Çizelge 7.19. Kat deprem yük ve momenti (tm)

Kat	H (m)	Fx	Fx . H	H (m)	Fy	Fy . H
6	17.00	44.47	756.05	17.00	44.51	756.62
5	12.80	156.45	2002.57	12.80	144.76	1852.87
4	9.60	114.94	1103.43	9.60	106.06	1018.16
3	6.40	82.20	526.11	6.40	71.41	457.01
2	3.20	57.75	184.78	3.20	53.22	170.30
1	BODRUM	-	-	BODRUM	-	-
		455.81	4572.94		419.95	4254.96

Çizelge 7.20. Perde taban momenti (tm)

Perde	Mx	Σ Mxk =	Σ Mxr	M/Mo<1/3	My	Σ Myk =	Σ Myr	M/Mo<1/3
SZ002	211.88	70.49	282.37	0.062 ✓	-	-	-	-
SZ044	-	-	-	-	94.63	47.08	141.71	0.033 ✓
SZ045	-	-	-	-	81.24	15.75	96.99	0.023 ✓
PZ087	194.29	77.78	272.07	0.059 ✓	-	-	-	-
PZ088	70.62	75.09	145.72	0.032 ✓	-	-	-	-
PZ089	193.35	72.43	265.78	0.058 ✓	-	-	-	-
PZ090	70.86	75.23	146.09	0.032 ✓	-	-	-	-
PZ091	57.21	76.82	134.03	0.029 ✓	-	-	-	-
PZ092	-	-	-	-	262.96	598.43	861.39	0.202 ✓
PZ093	-	-	-	-	14.87	7.55	22.42	0.005 ✓
PZ095	-	-	-	-	237.50	596.63	834.13	0.196 ✓
PZ086+PZ094	117.95	0.00	117.95	0.026 ✓	134.25	0.00	134.25	0.032 ✓
TOPLAM			1364.01				2090.90	

Perde taban moment oranı :

$$X \text{ yönü } \alpha_m = 1364.01 / 4572.94 = 0.3$$

$$Y \text{ yönü } \alpha_m = 2090.90 / 4254.96 = 0.49$$



#### 7.4. Mevcut Yapının Performans Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Elazığ ilinde mevcut durumda bulunan okul yapısının TBDY 2018'e göre hedeflenen performans seviyesi olan DD-1 deprem yer hareketi için "Kontrollü Hasar" ve DD-3 depremi için "Sınırlı Hasar" performans düzeylerini sağlamadığı görülmüştür. Bu bağlamda yapının oluşabilecek deprem durumunda depremin büyüklüğüne göre ciddi hasar alabileceği hatta göçebileceği saptanmıştır. Yapının bir kamu binası olması ve depremden hemen sonra kullanılacak öncelikli yapılar arasında bulunması da göz önüne alınarak yapının uygun güçlendirme elemanları vasıtası ile güçlendirilmesi öngörülmüştür.

Binanın bu durumda olmasının başlıca sebepleri ise şunlardır: beton dayanımının düşük çıkması, gerekli etriye sıklaştırmalarının uygun yerlerde uygun şekilde yapılmamış olması, donatı olarak S220 gibi nervürsüz donatı kullanılması ve buna ilaveten yapının belli elemanlarında korozyon oluşması, yapıda deprem esnasında donatıların birlikte çalışmasını sağlayacak çiroz elemanlarının yetersiz olması vb.

Binanın istenilen performans hedefini sağlayacak duruma getirilmesi için bazı güçlendirme alternatifleri sunulmuştur.

## 8. MEVCUT OKUL BİNALARININ GÜÇLENDİRİLMESİNDE KULLANILAN GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİ

Onarım/Güçlendirme uygulamaları deprem riskinin fazla olduğu yerlerde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Deprem etkisiyle hasar almış yapı elemanlarının onarımlarının yapılmasının yanı sıra, ileride oluşabilecek kuvvetli deprem etkilerine karşı yeterli dayanımı gösteremeyecek binaların da kesinlikle güçlendirilmesi gereklidir. Ayrıca güçlendirme ve onarım yapılmasına; mühendislik kusurları, yanlış işçilik uygulanması, yapım hataları, yapıya yeni kat eklenmesi veya yapı kullanım amacının değişiklik göstermesi gibi durumlarda ihtiyaç duyulmaktadır.

Onarım, hasar gören bir yapı veya yapı elemanının hasar almadan önceki dayanım seviyesine getirebilmek adına yapılan birtakım uygulamalara denir. Güçlendirme ise bir yapı veya yapı elemanını hedeflenen bir dayanım seviyesine yükseltmek ve taşıyıcı sistemin rijitliğini artırmak için yapılan bir dizi işlemler olarak adlandırılabilir. Hasar görmüş yapılarda hem elemanların onarımının yapılması hem de eleman bazında ve sistem bazında güçlendirmenin yapılması sağlanabilir.

Onarım/Güçlendirme işlemleri binanın genel özelliklerine, yapısal sorunlarına ve bunların bina içerisindeki yerleşimine göre önemli farklılıklar göstermektedir. Bu durumdan ötürü bütün yapılara uygulanabilir bir genel-geçer güçlendirme metodu önermek mümkün olmamaktadır. Hasarları bulunan binaların hepsinin kendine has sorunları olup bunların da yine kendine has çözümleri bulunmaktadır. Haliyle yapının güvenliğinin sağlanması için her anlamda donanımlı ve tecrübeli teknik elemanlara ve statik bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu tezin konusunu oluşturan okul yapısının mevcut durumunun modeli bilgisayar programında oluşturulmuş ve gerekli olan verilerin programa aktarılması sonucunda performans analizi yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda hem elemanların hem de sistemlerin performans düzeyleri incelenmiştir.

Analizler ışığında bu yapının, kendisi için hedeflenen performans seviyelerinden hem kontrollü hasar hem de sınırlı hasar performans düzeyini sağlamamıştır. Hatta binanın bazı elemanlarının deprem etkisi altında iken göçme durumuna geçtiği gerçeği ile karşılaşmıştır. Bu sebepten ötürü yapının güçlendirilmesi için üç farklı güçlendirme seçeneği sunulmuş ve bu seçeneklerin çeşitli opsiyonlar bakımından karşılaştırmaları yapılmıştır. Yapının güçlendirilmesi yapılırken yapının öncelikle sistem güçlendirmesi yapılarak istenilen performans seviyesine çıkarılması hedeflenmiştir. Bu durum

beraberinde de yapıya betonarme perde ilavesi yapılmasını zorunlu hale getirmiştir. Haliyle yapı için önerilen tüm güçlendirme seçenekleri içinde yapıya betonarme perde ilavesi yapılmış olup bunların yerleri ve kat alanlarına olan oranları değişiklik göstermektedir. Yapı için önerilen ikinci ve üçüncü güçlendirme seçeneklerinde yapıya ilk güçlendirme önerisine nazaran daha az oranda perde ilaveleri yapılmış olup akabinde gevrek hasar almış olan düşey taşıyıcı elemanların (kolonların) FRP sarılması ve mantolama yöntemleri ile güçlendirilmeleri sağlanmıştır.

Güçlendirme uygulamaları eleman bazında ve sistem bazında olmak üzere iki ayrı grupta incelenebilir.

Binanın kolon, kiriş, perde, birleşim bölgesi gibi deprem yüklerini karşılayan elemanlarında dayanım ve şekil değiştirme kapasitelerinin artırılmasına yönelik olarak uygulanan işlemler, eleman güçlendirmesi olarak tanımlanır.

Binanın taşıyıcı sisteminin dayanım ve şekil değiştirme kapasitesinin artırılması ve iç kuvvetlerin dağılımında sürekliliğin sağlanması, binaya yeni elemanlar eklenmesi, birleşim bölgelerinin güçlendirilmesi, deprem etkilerinin azaltılması amacıyla binanın kütlelerinin azaltılması işlemleri sistem güçlendirmesi olarak tanımlanır (Bayülke, 1995).

## **8.1. Eleman Bazında Güçlendirme**

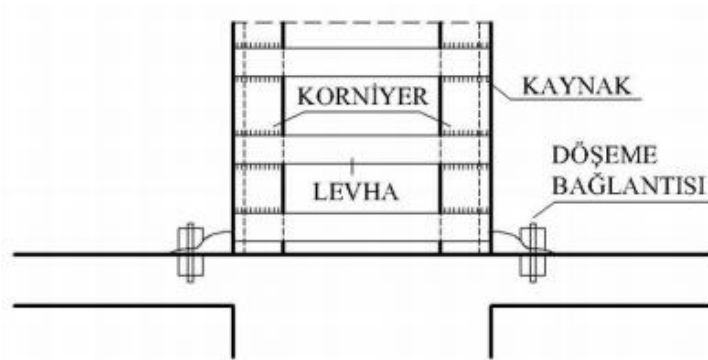
### **8.1.1. Betonarme kolonların güçlendirilmesi**

Kolonlar deprem etkisi altında hasar alabilirler ve bu hasar neticesinde kolonların onarılıp eski haline veya güçlendirilip daha da rijit hale getirilmesi sağlanmalıdır. Kolonların güçlendirilmesindeki temel amaçlar ise şunlardır: eğilme kapasitelerinin artırılması, aksenal yük taşıma kapasitesinin yükseltilmesi ve sünekliğin artırılması olarak sayılabilir. Kolonlarda taşıma gücünde meydana gelen eksiklikler betonarme sargılama yapılarak veya çelik kafes içine alarak giderilebilir. Bu yöntemlerden hangisinin kullanılacağına dikkatli karar verilmelidir zira bu yöntemler neticesinde yapıya ilave yük gelecektir dolayısıyla yapıya etkiyen deprem kuvvetlerinin de artacağı göz ardı edilmemelidir. Kolonların eğilme dayanımı yükseltmek isteniyorsa bunun için mantolama neticesinde sisteme dahil edilen boyuna donatıların üst veya alt katlara doğru uzatılarak birlikte çalışmasının sağlanması gerekmektedir. Hedeflenen kesme kuvveti dayanımının ve sünekliğin artırılması ise bu enine donatıların sıklaştırılması ile veya çelik profillerle sağlanabilir (Yıldırım, 2008).

Kolonların güçlendirilmesinde kolonun hasar durumuna göre, binanın taşıyıcı sistem elemanlarının yapı içindeki durumlarına göre ve yapıdan istenilen performansa göre birçok farklı yöntem kullanılmaktadır. Bunlar aşağıda hem teorik olarak anlatılmış hem de resimlerle gösterilmiştir.

### 8.1.1.1. Kolonların çelik kafes içine alınarak güçlendirilmesi

Kolonların çelik bir kafes içine alınarak güçlendirildiği bu yöntemde elemanların gerek aksenal yük gerekse de moment taşıma kapasitelerinde kayda değer miktarda bir artış görülmemektedir. Bu yöntemin avantajı ise hızlı teşkil edilmesi ve depremden sonra oluşabilecek artçı depremlerde kolonların parçalanmasını engellemesidir. (Şekil 8.1) (Bayülke, 1995).



Şekil 8.1. Çelik kafesle sarılarak güçlendirilen kolon detayı (Bayülke, 1995)

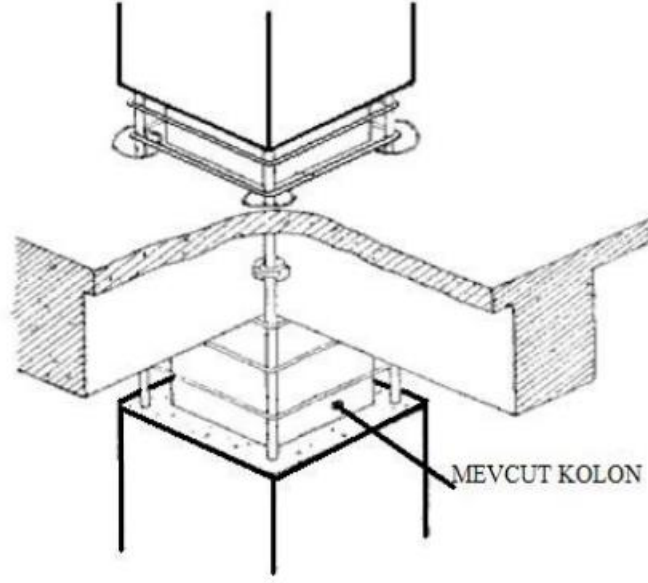


Şekil 8.2. Kolonun çelik profil iskeletle sarılarak güçlendirilmesinin sağlanması (Öncü, 2011)

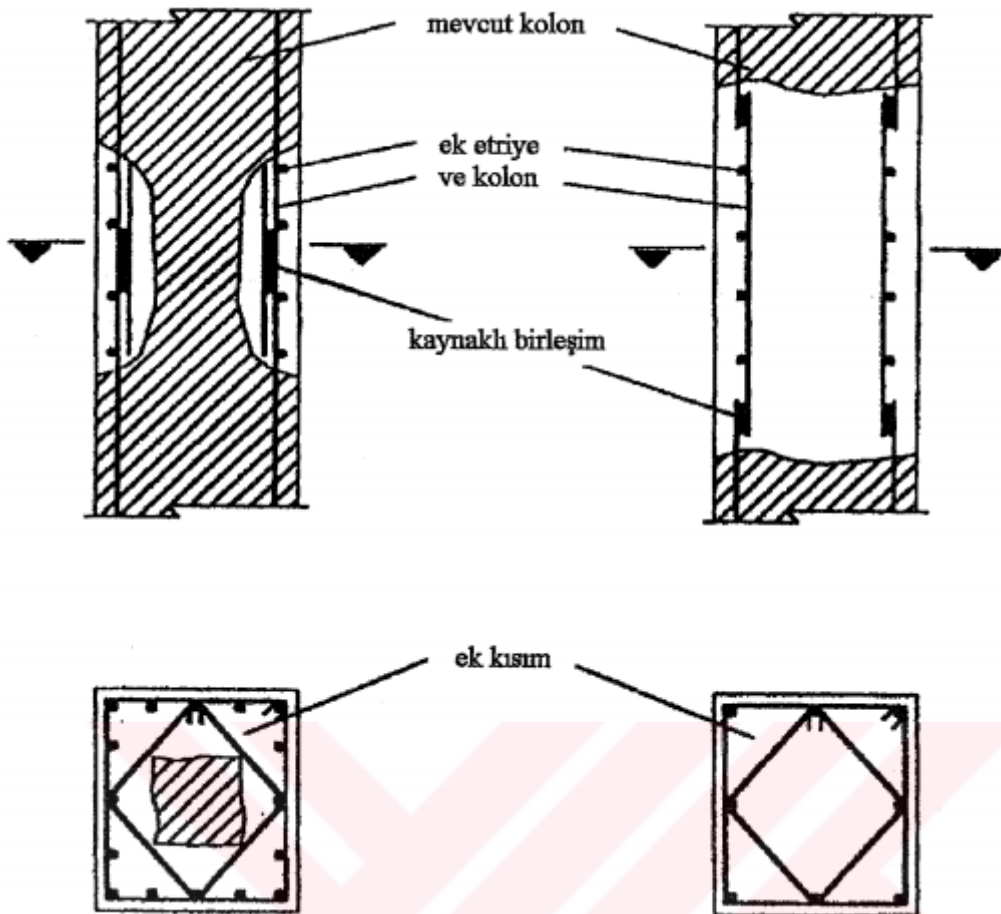
Kolonun dışında bantlar kullanılarak teşkil edilen sargı donatısı vasıtasıyla süneklik artışı ve aksenal yük taşıma kapasitesinde bir artış elde edilmiş olur (Şekil 8.2). Burada dikkat edilmesi gereken nokta çelik kafesin betonun etrafını çok iyi sarması gerektiğidir. Sarılmadığı takdirde kolonun süneklik artışına bir katkısı bulunamayacaktır. Ayrıca çelik profillerin olası bir yangın durumunda dayanımlarının düşeceği unutulmamalı ve açıkta bulunan bu elemanların uygun nitelikteki beton harçları ile üzerlerinin kapatılmasının sağlanması gerekmektedir. Kolonların çelik kafes ile mantolanmasında katlar arasında çelik manto devam etmediği için kolonun eğilme momenti dayanımında kayda değer bir artış söz konusu değildir. Ancak eski yapım tarihlerine sahip halen kullanımlarına devam edilen birçok yapıda bulunan sünekliği düşük ve yeterli kesme dayanımına sahip olmayan elemanların güçlendirmelerinin yapılmasında bu yöntem önemli alternatiflerden birisidir.

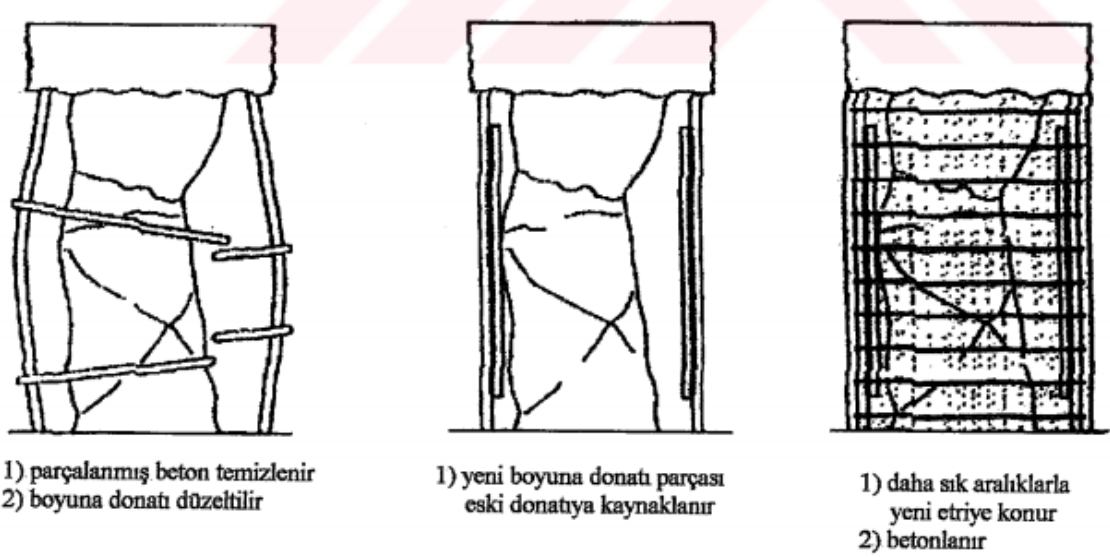
#### **8.1.1.2. Kolonların beton ile sarılarak güçlendirilmesi (mantolama)**

Mantolama, günümüzde kolonların güçlendirilmesinde en sık başvuru alan metotların başlarında gelmektedir. Bu yöntemde temel amaç kolonun betonarme enkesiti ve boyuna donatı miktarının artırılmasıdır. Mantolamada dikkat edilmesi gereken husus mevcut beton ile yeni dökülen betonun aderansının sağlanması, eski ve yeni donatıların ankrajlanarak birlikte çalışması ve yükü eski ve yeni malzemelerin birlikte karşılaması gerektiğidir. Mantolamada ulaşılmak istenen hedef elemanın normal kuvvet dayanımının artırılmasıdır. Kolon mantolaması yapılmadan evvel elemanın yüzeyinde bulunan sıva tabakası donatıların çevrelediği çekirdek tabakasına kadar sıyrılmalı ve yüzeyin iyice temizliğinin yapılması gerekmektedir. Aksi takdirde yeni dökülecek beton ile mevcut beton tabakasının kenetlenmesi sağlanmaz (Şekil 8.3).



Şekil 8.3. Beton tabakası çekirdek kısmına kadar sıyrılmış bir kolon (Bayülke, 1995)





Şekil 8.4. Yerel hasarlı kolonun donatı eklenerek onarılması (Yiğit, 2002)

Mevcut kolon yüzeyinde teşkil edilecek çıkıntıların (dişlerin) eski ve yeni elemanların birlikte çalışmasına etkisi oldukça fazladır. Ayrıca eski kolonun çekirdek kısmından geçecek çiroz ve etriyelerin de bu duruma faydasının olduğu unutulmamalıdır (Bayülke, 1995).

Kolonların kesitlerinin artırılmasının hem kesme ve basınç mukavemetlerine hem de eğilme momenti dayanımına olumlu etkisi vardır.

Mantolanan kolona ait boyuna donatıların alt ve üst katlar arasında açılan boşluklardan devamlılığının sağlanması kolonun normal yük taşıma kapasitesinde, eğilme momenti dayanımında ve süneklik artışı konusunda önemli artışa sebep olur (Şekil 8.5). Ayrıca kolon-kiriş birleşim bölgelerinde elemanlarda gerekli boşluklar açılarak yeterli enine donatının o kısımda bulundurulmasının sağlanması gerekmektedir.

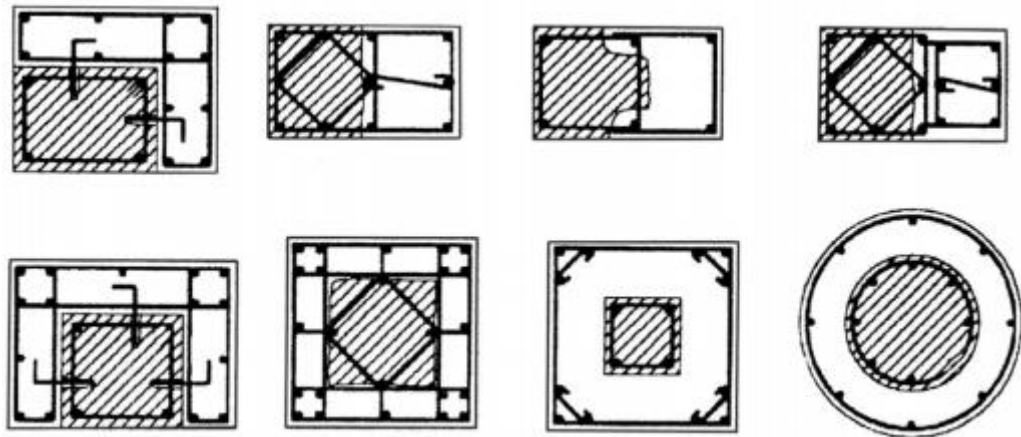


Şekil 8.5. Kolon mantolamasında donatıların sürekliliğinin sağlanması örneği (Öncü, 2011)

Mantolamaya ilişkin olarak gerçekleştirilmiş deneysel çalışmalarına göre kolonların yeterli dayanıma ulaşabilmeleri için dört taraflarından sarıldığında en iyi performans seviyelerine ulaşıldığı görülmüştür. Fakat bu durum yapıların güçlendirilmesinde mimari koşullar sebebiyle her zaman mümkün olmamaktadır. Ancak sağlıklı bir güçlendirme ve yapı sistemi için en azından üç taraftan bir mantolamanın yapılması gerektiği diğer seçeneklerin ise çok da efektif olmadığı ortadadır.

Betonarme kolonların beton ile sarılması sadece hasarlı kolonların güçlendirilmesinde kullanılan bir metot değildir. Aynı zamanda farklı bir güçlendirme alternatifi uygulanması sonucunda belli başlı kolonların performansının yetersiz kalması neticesinde de bu yöntem kullanılmaktadır. Bir aks üzerinde iki kolon arasına teşkil edilen betonarme perde ilavesi sonucunda o elemana daha fazla deprem yükü etki etmektedir. Haliyle perdenin uç kısımlarında kalan kolonların donatı oranının düşük olması, yetersiz malzeme dayanımı, etriye yetersizliği gibi sebeplerle bu elemanlar yetersiz çıkmaktadır. Sistem bir bütün olarak ele alındığı için bu elemanların da uygun şekilde mantolamasının yapılması sağlanarak uygun dayanıma ulaştırılmalıdır.

Bu yöntem ülkemizde sık kullanılan bir yöntemdir lakin mimari açıdan ve yapının kullanımını kısıtlayacak şekilde eleman boyutlarına sebep olacağı durumlarda kullanılması çok da efektif değildir. Böyle durumlarda ise kolonun çelik profil içine alınması veya FRP sarılması gibi alternatif yöntemlere yönelmesi gerekmektedir.



Şekil 8.6. Kolonda mantolanmış kesit örnekleri





Şekil 8.7. Mantolama yapılacak bir kolona alt kattan gelen boyuna donatı ( Çevik, 2003 )



Şekil 8.8. Mantolama yapılacak bir kolona epoksili ankraj uygulanması ( Çevik, 2003 )

### 8.1.1.3. Kolonların karbon lifli polimer (CFRP) ile sarılarak güçlendirilmesi

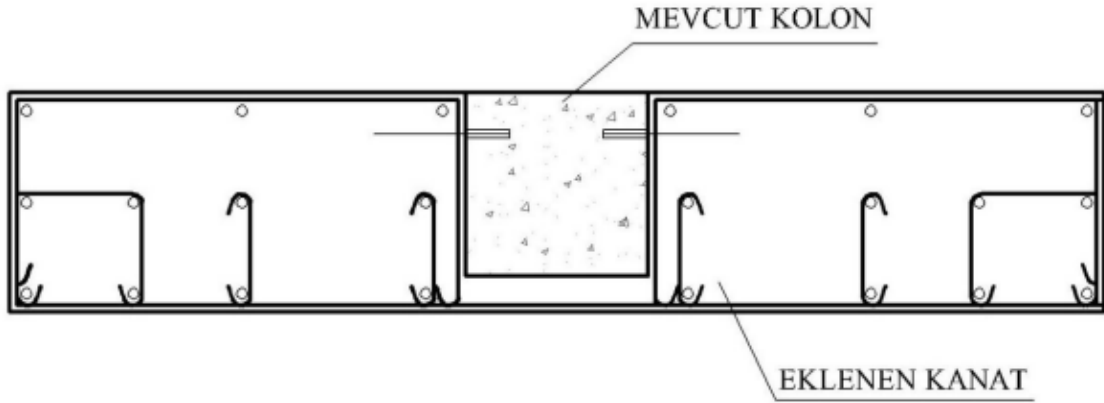
Bu metot, son dönemde kullanımı her geçen gün artan ve neredeyse bütün yapılara ve yapı taşıyıcı sistem elemanlarına uygulanabilecek bir yöntemdir. Karbon liflerin en büyük avantajları ise korozyona uğramamaları, hafif ve oldukça dayanıklı olmaları, uygulanması sırasında yapının kullanımına izin vermesi, elemanlarda boyut artışına sebep olmamasıdır. Karbon lifler kolonların etrafına, etriyelere paralel biçimde sarılırlar ve bu sayede kolonun yük taşıma kapasitesini, eğilme dayanımını artırır; yapının ölü yükünü artırmayıp sehimini ise azaltırlar (Şekil 8.9).



Şekil 8.9. Kolonun CFRP ile sarılarak güçlendirilmesi (Öncü, 2011)

#### 8.1.1.4. Kolonların kanat eklenerek güçlendirilmesi

Bu yöntemde kolonun sağ ve sol tarafına betonarme perde duvar yapılır (Şekil 8.10). Bu metot ile perdeden gelen yatay donatı kolondan gelen yatay donatılara kaynaklanmaktadır. Böylece elemanlar arasında yük aktarımı sağlanmaktadır. Ardından beton dökümü yapılır ve elemanın sanki yekpare bir elemanmış gibi davranış göstermesi sağlanır. Bu yöntemin avantajı ise eğilme ve kesme kuvveti dayanımının önemli ölçüde artışa sebep olmasıdır (Bayülke, 1995).



Şekil 8.10. Mevcut kolonun her iki tarafına betonarme perde ilave edilerek güçlendirilmesi (Bayülke, 1995)

Kolonlara kanat duvar ilave edilmesi ile elemanın taşıma gücü ve sünekliğinin artırılması için öncelikle sağ-sol perdelerin ve ortadaki kolonun tek bir perde biçimine getirilmesi ve kolon alanı ile ilave edilen perdelerin alanlarının birbirine yakın olması gerekmektedir.

#### 8.1.1.5. Kolonların güçlendirilmesinde dikkat edilecek hususlar

Depremde hasara uğramış düşey taşıyıcı sistem elemanlarından olan kolonların güçlendirme işlemlerinde yapılması gerekli adımlar aşağıda açıklanmıştır.

- Boyuna donatı oranı %1 civarında olmalıdır. Bu oran %1'den az olduğunda eleman kapasitesi yetersiz olur, fazla olduğunda ise gevrek davranış ortaya çıkar.
- Kolon güçlendirme işlemlerinde kullanılacak beton sınıfı ve agrega çapları önem arz etmektedir. Yapılan manto kalınlığı ve donatıların arasındaki mesafeye göre bir maksimum tane çapına sahip beton seçilmelidir. Bu iyi

hesaplanmazsa beton iyi yerleşmez, boşluklar oluşur ve eleman yeterli kapasiteye ulaşamaz. Ayrıca da beton sınıfı da mevcut elemana mümkün olduğunca yakın seçilmelidir ki iki eleman arasında uyumlu bir aderans sağlanmalı ve yük aktarımı gerçekleşmelidir.

- Kolonlara mantolama yapılırken katlar arasında döşemelerde boşluklar açılmalı ve donatı sürekliliği sağlanmalıdır. Bu sayede kolonun normal kuvvet taşıma kapasitesi, kesme kuvveti ve moment karşılama kapasitelerinde artma sağlanır.
- Deneysel çalışmalar neticesinde kolonların yüklerinin hidrolik kriko vb. aletlerle askıya alınması sonucunda gerçekleştirilen mantolama uygulamalarının daha gerçekçi sonuçlar ortaya koyduğu görülmüştür.

### **8.1.2. Betonarme kirişlerin güçlendirilmesi**

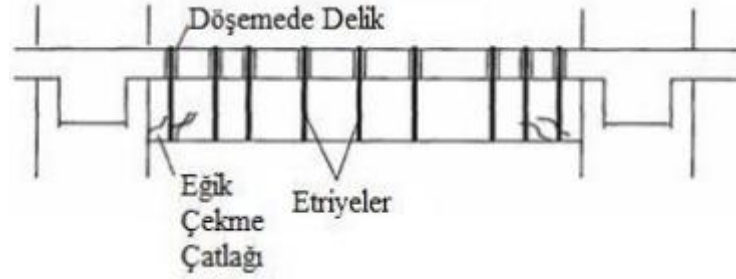
Kirişler yapının yatay taşıyıcı sistem elemanları oldukları için deprem etkisi altında oldukça mühim bir görev üstlenmektedirler. Yapıya gelen yatay yüklerin kirişler vasıtası ile düşey taşıyıcı sistem elemanlarına ve oradan zemine aktarıldığı unutulmamalıdır. Kirişlerin daha sünek tasarımlı elemanlar olması gerektiği koşulu göz ardı edilmemeli ve özellikle birleşim bölgelerinde kuvvetli kolon-zayıf kiriş etkileşiminin sağlanması gerekmektedir. Kolonların güçlendirilmesinde olduğu gibi kirişlerin güçlendirilmesinde de farklı metotlar uygulanmaktadır.

#### **8.1.2.1. Kirişlerin çelik levhalar ile sarılarak güçlendirilmesi**

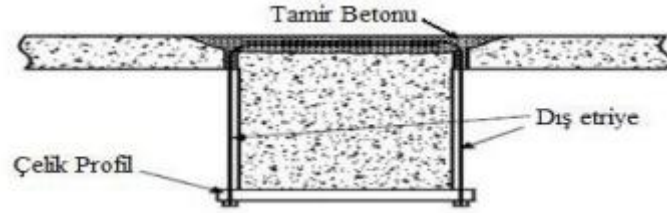
Bu yöntemde kirişlerin yüzeylerine çelik plakalar yapıştırılarak veya bulonlarla sabitlenerek güçlendirme yapılır. Kirişin alt kısmında kalan çelik profil elemanın eğilme rijitliğini artırırken, yan kısımlarda bulunan plakalar elemanın kesme kapasitesini yükseltmektedir. Daha rijit bir yaklaşım için ise (hem moment hem de kesme kapasitesinin artırılması için) U şeklindeki profiller kirişin alt kısmından geçirilip kaynak veya bulonla montajı yapılabilmektedir.

Bu metotla, kesme kapasitesi düşük olan kirişlerde üstteki döşemeye kadar boşluklar açılır ve etriyeler kirişin her iki tarafına Şekil 8.11 'de gösterildiği gibi dışarıdan ilave edilmektedir. Kirişin alt kısmında bulunan çelik plakaya etriyeler bulonla bağlanır

ve üstteki boşluğun içine yerleştirilir. Bu boşluklar Şekil 8.12’de gösterildiği gibi uygun beton veya harçla doldurulur (Bayülke, 1995).

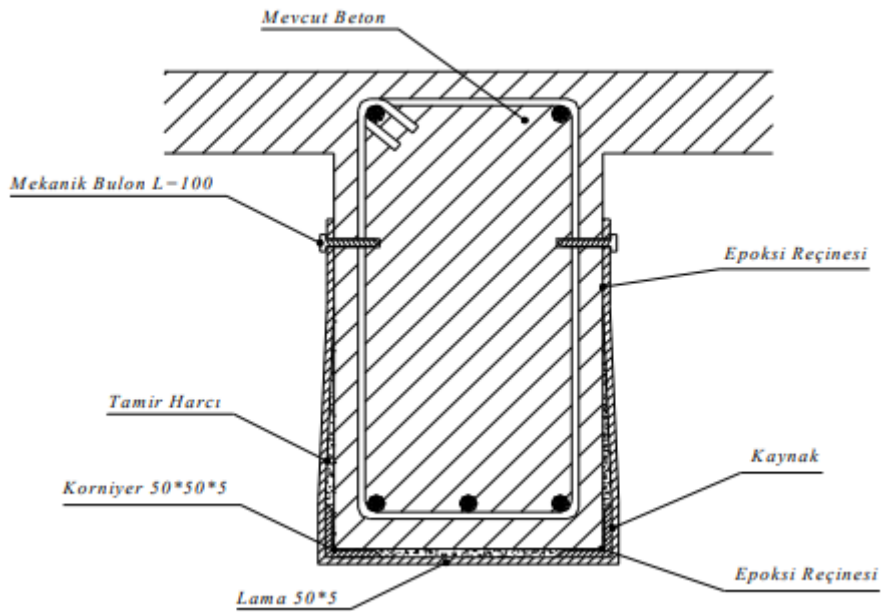


Şekil 8.11. Kirişlerin çelik levhalar ile sarılarak güçlendirilmesi



Şekil 8.12. Kirişlerin çelik levhalar ile sarılarak güçlendirilmesi (TBDY, 2018)

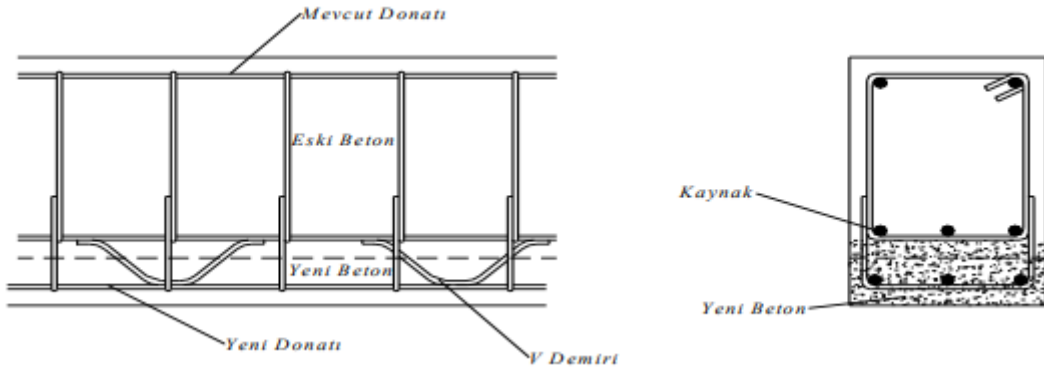
Kirişlerin bulon bağlantı detaylı güçlendirilmesinin bir örneği de aşağıda Şekil 8.13’te verilmiştir.



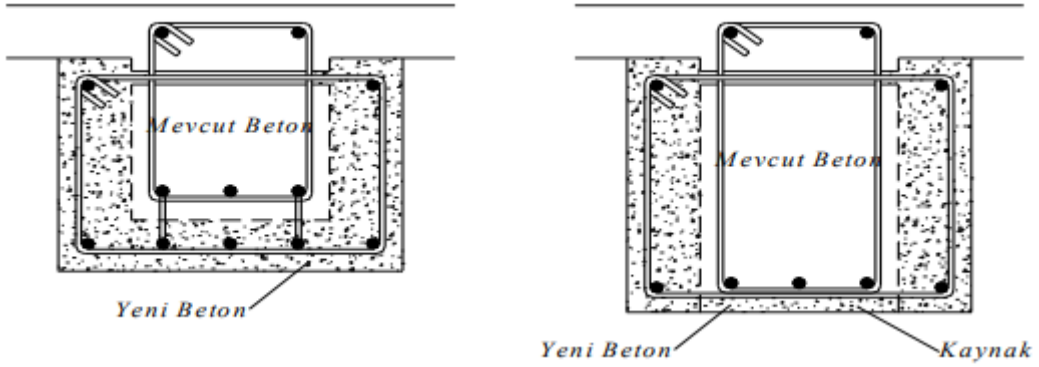
Şekil 8.13. Kirişlerin çelik lama ile güçlendirilmesi

### 8.1.2.2. Kirişlerin beton ile sarılarak güçlendirilmesi (mantolama)

Kirişlerin kesme ve eğilme dayanımlarının artırılması için mevcut kirişe yeni boyuna donatılar ve etriyeler ilave edilerek kirişin mantolanması sağlanır. (Şekil 8.14-Şekil 8.15). Burada, dikkat edilmesi gereken noktalar; mevcut kiriş ile yeni kiriş arasında tam bir kenetlenmenin oluşması ve kiriş donatılarının eğilmeyi karşılayabilecek şekilde komşu açıklıklara devam ettirilmesi (Şekil 8.16) veya sıyrılmayacak şekilde kenetlenmenin sağlanması için epoksi yardımı ile kolon içine ankre edilmesidir.



Şekil 8.14. Hasarlı bir kirişin mantolama ile güçlendirilmesi



Şekil 8.15. Çeşitli boyutlardaki kirişlerin iki ve üç yönden mantolanması

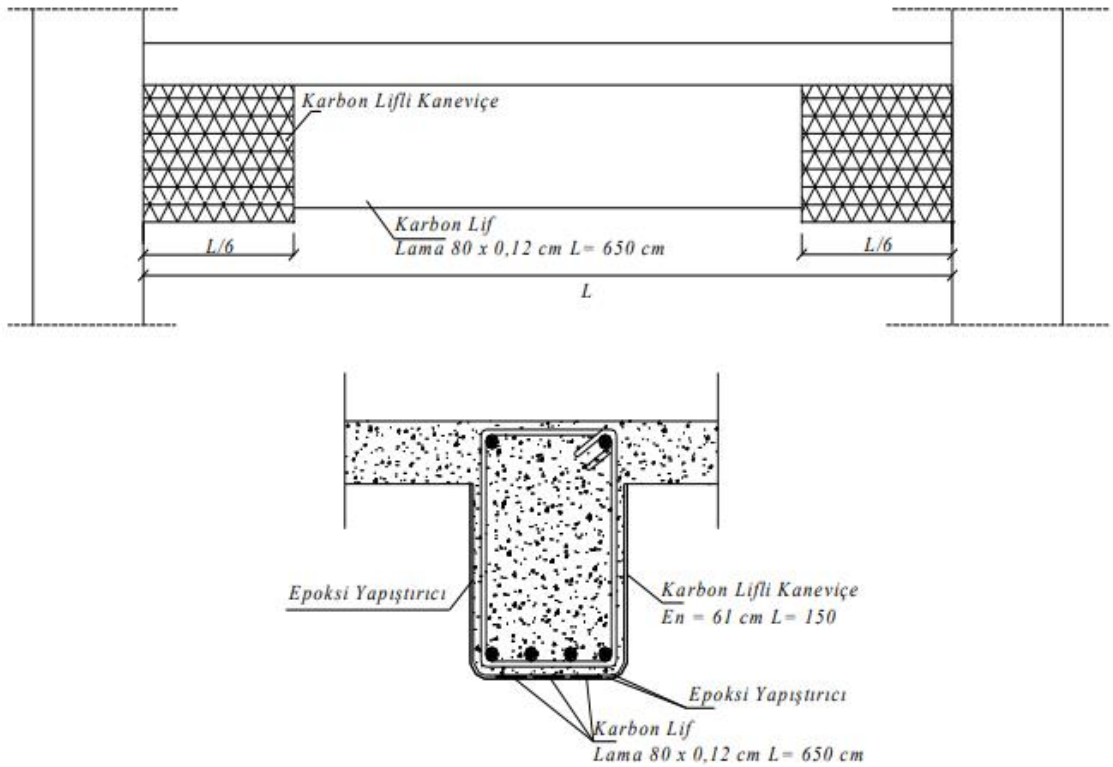




Şekil 8.16. Kiriş mantolanmasında donatılarda sürekliliğin sağlandığı bir kiriş (Öncü, 2011)

### 8.1.2.3. Kirişlerin karbon lifli polimer (CFRP) ile sarılarak güçlendirilmesi

Karbon lifli sargılama ile kiriş güçlendirilmesi, yakın zamandaki teknolojik gelişmelerle birlikte sıkça kullanılan yöntemlerden biri haline gelmiştir. Bu yöntemde, kirişin kesme dayanımını ve sünekliğini arttırmada, CFRP sargı kullanılmaktadır. Kirişin hem eğilme hem de kesme kapasitesinin maksimum seviyeye yükseltilmesi için tüm elemanın sarılması gerekmektedir (Şekil 8.17). Karbon lifli dokumalar daha çok kesme güvenliğini sağlamak için karbon lifli şeritler ise, kirişin alt bölgesine uygulanarak, kirişin eğilme dayanımının artırılması için kullanılmaktadır.



Şekil 8.17. Kirişlerin karbon lifli dokumalarla ve şeritlerle güçlendirilmesi

#### 8.1.2.4. Kirişlerin güçlendirilmesinde dikkat edilecek hususlar

Depremde hasara uğramış yatay taşıyıcı sistem elemanlarından olan kirişlerin güçlendirme işlemlerinde izlenmesi gereken adımlar aşağıda açıklanmıştır.

- Güçlendirme işlemi öncesinde kirişin hidrolik krikolar ile askıya kaldırılarak yükü boşaltılmalıdır. Bu krikolar güçlendirmesi bitmiş kiriş tam kapasitesine ulaşınca kaldırılmalıdır.
- Kirişlerin mantolanmasında yeni dökülen betonla mevcut betonun aderansının sağlanması için mevcut beton üzerinde çentiklerin oluşturulması ve dişlerin açılması önem arz etmektedir.
- Güçlendirme sonrasında kirişlerin donatı oranının sünek kırılmaya elverecek ölçüde tutulması gerekmektedir. Eğer donatı oranı fazla olursa kirişler kolonlardan daha güçlü hale gelecektir ve bu da sağlıklı yapı davranışı açısından problemlili bir sonuç ortaya çıkarmaktadır.

#### 8.1.3. Kolon-kiriş birleşim bölgelerinin güçlendirilmesi

Kolon-kiriş birleşim bölgeleri bir yapıda farklı niteliklere sahip taşıyıcı elemanların bir araya geldiği ve deprem etkisi altında hem yatay hem de düşey kuvvetlerin etkisine maruz kalan haliyle de en fazla zorlanan kısımlardır. Hassas olmaları ve rahat hareket imkanı sağlamanın çok da mümkün olmadığı bu yerlerde güçlendirme uygulamaları yapmak da oldukça güçtür.

Bu bölgede yüksek oranda moment ve kesme gerilmeleri bulunmaktadır. Birçok yapı elemanının birleştiği ve çeşitli montaj, işçilik hatalarının yapıldığı bu bölgelerde deprem etkisi altında mafsallaşmalar neticesinde dönmeler oluşmakta bunlar da kayma çatlaklarına neden olmaktadır. Bu durumların yaşanmaması için hem yeni yapılan hem de güçlendirme yapılan binalarda bu mesnet bölgelerine çok dikkatli bir montaj ve işçilik yapılması gerekmektedir (Yiğit, 2002).

Birleşim bölgelerinin güçlendirilmesinde de tıpkı kolon ve kirişlere uygulanan yöntemler kullanılabilir. Bu yöntemler aşağıda görsel ögelerle açıklanmıştır.

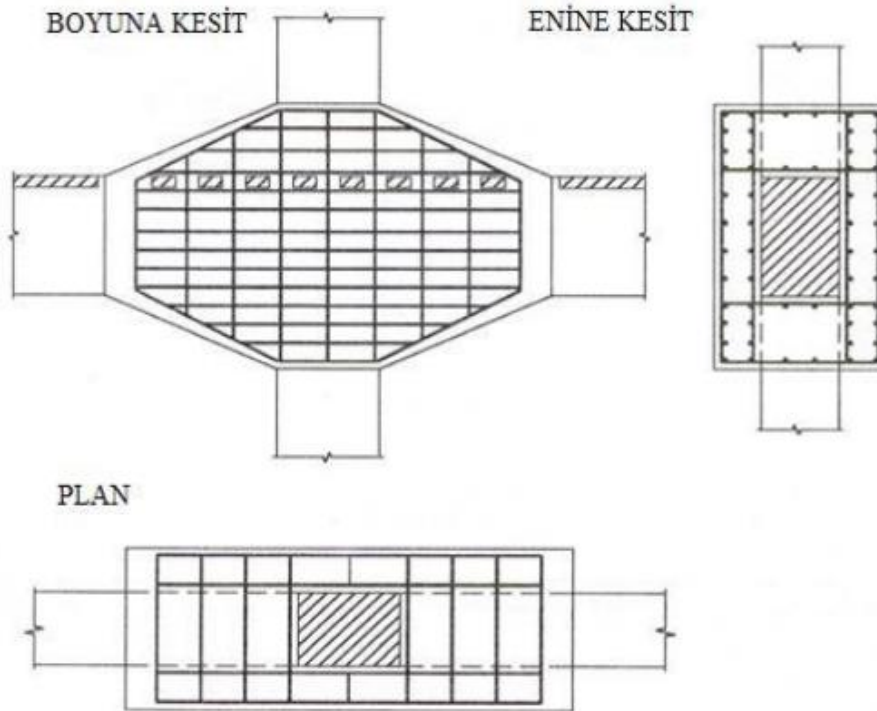
Deprem durumunda oluşan lokal çatlaklarda çimento enjekte edilmesi veya epoksi bazlı reçinelerin çatlaklara uygun miktarda sıkılarak gerekli kaynaştırmanın sağlanması uygun olacaktır (Yerci, 2001).



### 8.1.3.1. Birleşim bölgelerinin mantolama ile güçlendirilmesi

Birleşim bölgesinde birçok yapı elemanının bir araya gelmesinden ötürü donatıların montajı, ankrajların yerleştirilmesi kısıtlı alan sebebiyle oldukça zordur. Depremde hasar alan birleşim bölgelerinin beton ile sarılmasında yapılması gerekli adımlar aşağıda açıklanmıştır.

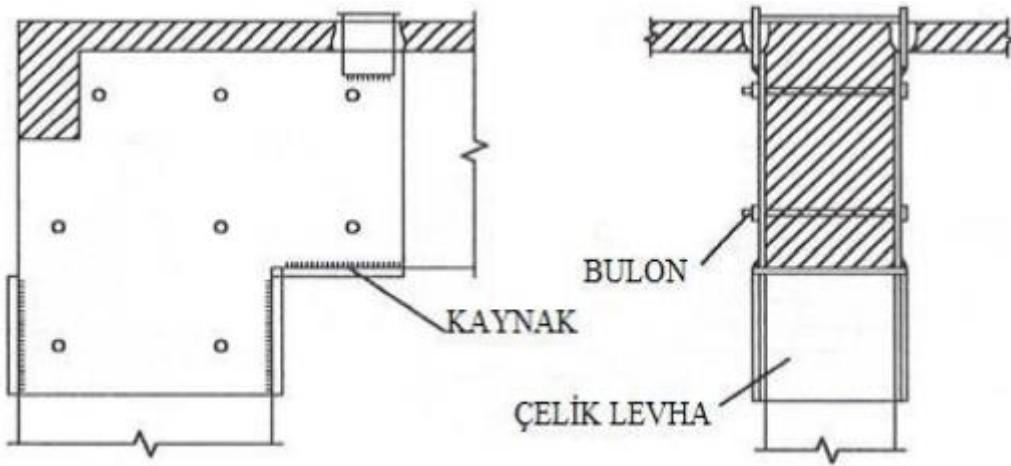
- İlave edilen donatıların, eski donatılarla bağlanması için eski beton tabakası sıyrılarak donatıların açığa çıkarılması sağlanır.
- Birleşim bölgelerinde elemanların birlikte çalışmasının sağlanması için kolon ve kirişin beraber mantolanması gereklidir.
- Düğüm bölgesinde bulunan donatıların yanına bir de manto kısmından donatılar geleceği için betonun rahat şekilde dökülebilmesi için yeterli bir mantolama genişliği seçilmelidir.
- Süneklige önemli katkısı bulunan etriyelerin yatay bir biçimde ve aralıklarının kısa tutulması önemlidir.
- Düşey doğrultudaki etriyeler döşemede açılan boşluklardan uzatılarak bağlanırlar. (Şekil 8.18) (Yakar, 2001).



**Şekil 8.18.** Kolonların kirişlere bağlandığı düğüm noktalarında mantolama yapılması (Celep ve Kumbasar, 2000)

### 8.1.3.2. Birleşim bölgelerinin çelik levhalar ile güçlendirilmesi

Çelik levhalar, et kalınlığına göre dayanımları yüksek olduğu için düğümlerin alanını artırmadan birleşim bölgelerinde güçlendirme için uygun bir alternatiftir. Montajlarının kolay olması da mantolama yöntemine göre daha fazla revaçta olmalarına sebep olmuştur. Bu yöntemde, plakalar düğüme bulonlarla ankrajlanır. Bu yöntemi eğer kolona her tarafından kiriş saplanırsa uygulamak oldukça zordur. Plakaların kolon ve kirişlerle mukavim bir şekilde bağlanması durumunda oldukça sağlıklı bir sistem elde edilmiş olur (Şekil 8.19) (Celep ve Kumbasar, 2000).

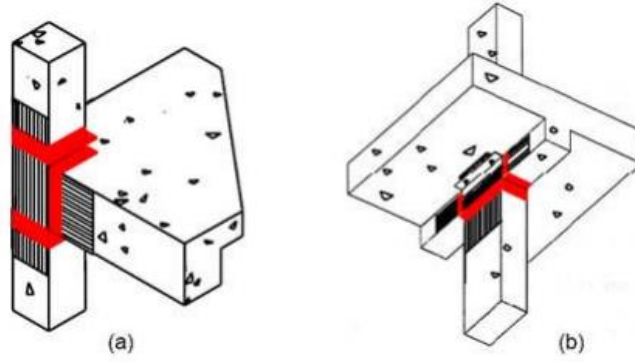


Şekil 8.19. Düğüm bölgesinin çelik levhalar ile sarılması (Celep ve Kumbasar, 2000)

Yapılan çalışmalar sonucunda bu metotla yapılan güçlendirme işlemlerinin düğüm noktasının mukavemetini ve süneklik davranışını artırdığını gözler önüne sermiştir.

### 8.1.3.3. Birleşim bölgelerinin karbon lifli polimer (CFRP) ile güçlendirilmesi

Düğüm noktalarının kapasitesinin yükseltilmesinde karbon lifli polimerler de kullanılmaktadır. Hem hızlı uygulanabilir olmaları hem de boyutlarına nazaran üstün mukavemet özellikleri göstermeleri, kesme kırılmalarının önüne geçmeleri lifli polimerlerin kullanımını her geçen gün artırmaktadır. (Şekil 8.20). Şekil 8.20 (a)'da, dış birleşim detayı, Şekil 8.20 (b)'de, iç birleşim detayı verilmiştir.



Şekil 8.20. Birleşim bölgesinin karbon lifli polimer ile güçlendirilmesi (Öncü, 2011)

Bu yöntemin tek kusuru ise biraz pahalı olması sebebiyle bütün yapılarda uygulanabilir olmamasıdır. Her geçen gün yaygınlaştığı için birim maliyetleri düştüğünde çok kullanışlı bir güçlendirme alternatifi olarak yerini alacaktır.

## 8.2. Sistem Bazında Güçlendirme

Kolon ve kirişlerde sıklaştırma bölgelerinde yeterli etriye miktarının bulunmadığı, yapıya etkileyen deprem kuvvetlerini önemli ölçüde karşılayacak yapı elemanları (perdeler) bulunmadığında elemanların güçlendirilmesinin yapılması oldukça meşakkatli ve masraflı olacaktır. Yapının güçlendirme maliyetinin yeniden yapım maliyetine oranının da oldukça artmasına sebep olacaktır. Haliyle güçlendirme yerine yeniden yapım fikri benimsenecektir. Yüksek maliyetlerden kaçınmak adına eleman bazında güçlendirme yapmak yerine sistem bazında bir iyileştirmenin daha efektif olacağı unutulmamalıdır.

Binada oluşan deprem yüklerinin önemli bir kısmını alacak yeni elemanların sisteme dahil edilmesi sonucu kolonların karşılayacağı eğilme momentleri ve kesme kuvvetleri önemli oranda azalacaktır. Yapıya gelen deprem kuvvetlerinin yeni elemanlarla karşılanacağı ve diğer elemanların ise sadece üzerlerine gelen yükleri taşıdıkları farz edilmektedir. Yine bu durumda da eğer gevrek hasarlı elemanlar varsa bunların iyileştirmelerinin de yapılması zorunludur.

Sistem iyileştirmesinin amacı, bazı çerçevelerin kuvvetlendirilerek, rijitleştirilmesidir. Bu işlem, mimari projenin de elverdiği şekilde bazı çerçevelere konacak çelik çaprazlarla veya dolgu duvarlarla sağlanır. Dolgu duvarlar; yığma duvardan, yerinde dökme betonarme perdeden veya prefabrike betonarme panolardan oluşabilir. Bu uygulama neticesinde yapının rijitliği artacağından sistemin üzerine etkileyen

deprem kuvvetleri de artar ve yeni kuvvetler sistemde daha farklı bir şekilde dağıtılır. Yapıya ilave edilen elemanların mümkün olduğunca simetrik yerleştirilmesiyle etkilerin belirli bölgelerde yoğunlaşmasının ve istenmeyen düzensizliklerin oluşmasının önüne geçilir.

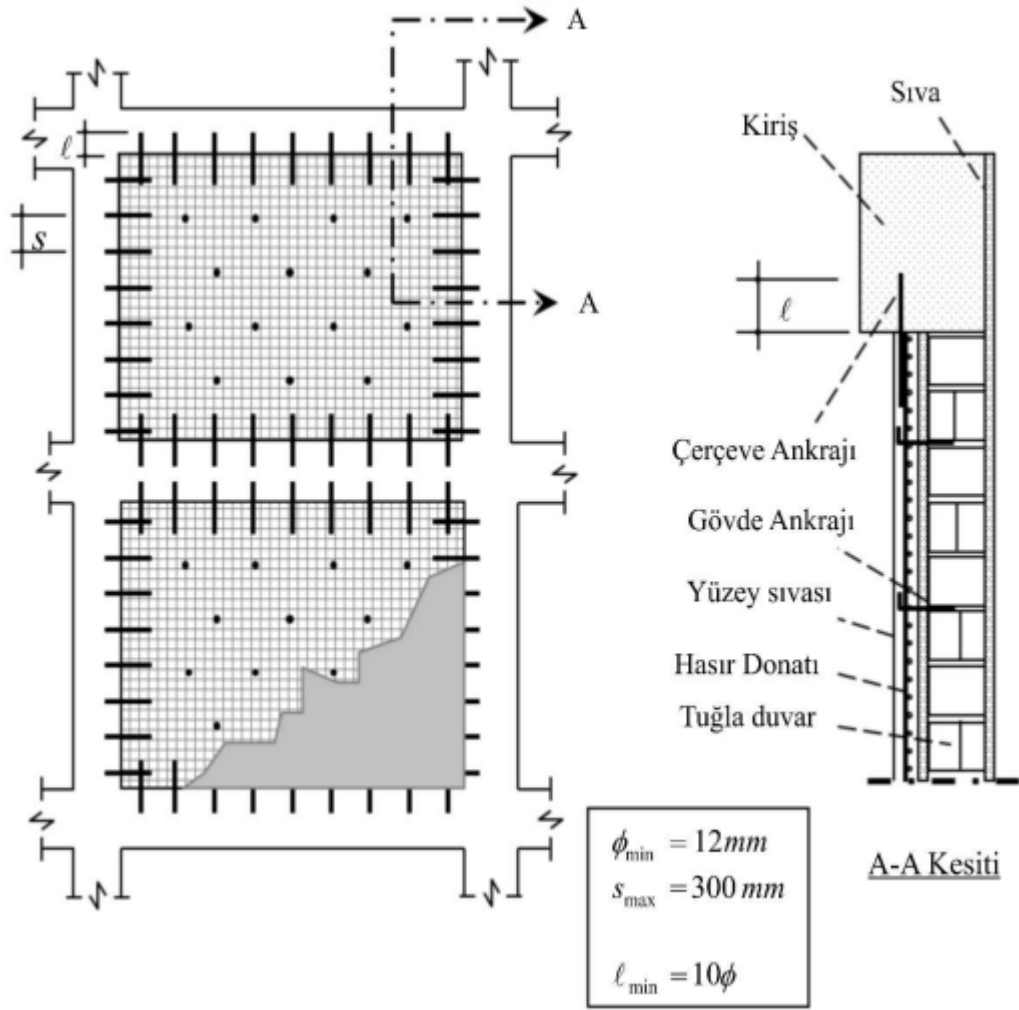
Rijit betonarme perdelerin yerleşimi yapılırken ağırlık merkezi ile rijitlik merkezinin birbirine yakınlaştırılması yapıda burulma etkilerinin oluşmaması adına önemlidir. Yeni perdelerin ise bir aks üzerinde her iki ucunda kolon olacak şekilde teşkil edilmeleri önemlidir.

### **8.2.1. Dolgu duvarların güçlendirilmesi**

Bu yöntem maksimum üç katlı binalarda (bodrum hariç) uygulanabilir. Bu yöntemde asıl amaç bir çerçeve içinde bulunan dolgu duvarların temel seviyesinden çatıya kadar devamlı bir şekilde rijitliğinin ve kesme dayanımının artırılmasıdır. Bu metodun uygulanması diğer güçlendirme yöntemlerine nazaran daha az bir sürede yapılabilmekte ve binada oturanların evlerinden ayrılmaları gerekmemektedir.

#### **8.2.1.1. Dolgu duvarların hasır çelik donatılı özel sıva ile güçlendirilmesi**

Dolgu duvarlarının rijitliği ve kesme dayanımı, duvar yüzüne uygulanan hasır çelik donatılı, özel karışımlı sıva tabakası ile arttırılabilir. Bu yöntemle uygulanan sıva tabakasının kalınlığı en az 30 mm hasır donatı, pas payı ise en az 20 mm olmalıdır. Donatılı sıva tabakası ile mevcut dolgu duvarın birlikte çalışmasının sağlanması için duvar düzlemine dik yönde, her bir metre kare duvar alanında dört adet gövde ankrajı yapılmalıdır. Duvara dik yönde yapılacak gövde ankraj çubukları dolgu duvarın harç derzleri içine gömülmeli ve çubuk çapı en az 8 mm, ankraj derinliği çubuk çapının en az on katı olmalıdır. Duvar düzlemine paralel ve dik doğrultuda yapılacak tüm ankraj çubukları açılacak deliklere, epoksi esaslı bir malzeme ile ekilerek ve uçları L şeklinde 90 derece bükülerek, hasır donatının içine geçirilmelidir. Uygulama detayları (Şekil 8.21)'de gösterilmektedir (TBDY, 2018).

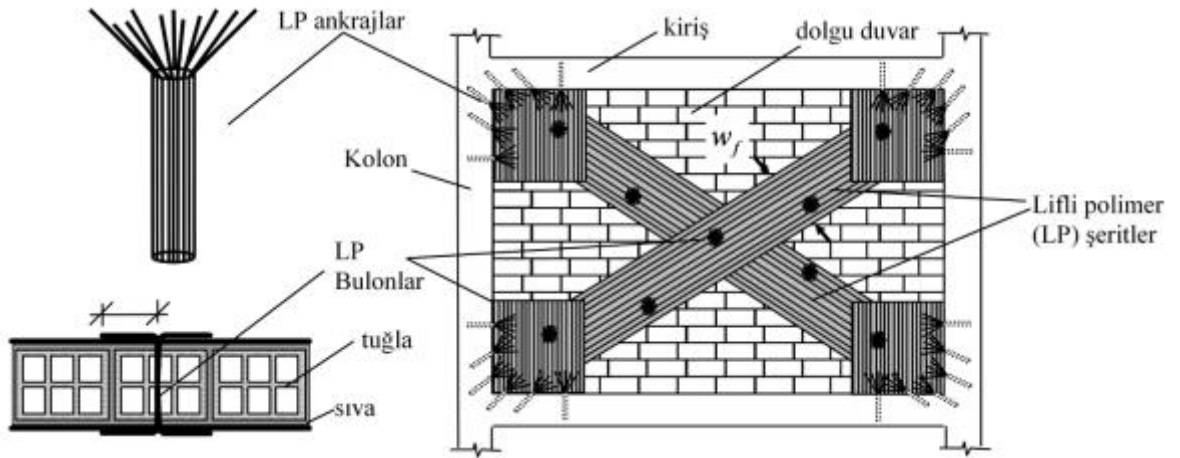


Şekil 8.21. Dolgu duvarların hasır çelik donatılı özel sıva ile güçlendirilmesi (TBDY, 2018)

### 8.2.1.2. Dolgu duvarların lifli polimer ile güçlendirilmesi

Uzunluğunun yüksekliğine oranı 0.5 ile 2 arasında olan dolgu duvarların rijitliği ve kesme dayanımı, duvar yüzeyine uygulanan lifli polimerler (LP) ile artırılabilir. Bu yöntemde, köşe bölgelerde homojen yük dağılımını sağlayabilmek ve betonarme çerçeve ile LP şeritler arasında yeterli sayıda ankraj yerleştirebilmek için şerit genişliğinin 1,5 katından az olmayan genişlikte kare LP levhalar kullanılmalıdır. Lifli polimer uygulaması mevcut duvarın iki yüzünden yapılmalı ve LP şeritler duvar kalınlığı boyunca geçen LP bulonlar ile duvara sabitlenmelidir. Köşegen LP şerit ile çerçeve arasındaki yük aktarımını sağlamak için LP ankrajlar kullanılmalıdır. LP ankrajlar LP şeritlerin epoksi ile doyurulması ve bir silikon çubuk etrafına sarılması ile oluşturulur. LP ankrajların uçları yelpaze şekline getirilerek ve en az 4 adet ankraj, köşegen LP şerit yönünde olacak

şekilde beton içinde açılan temizlenmiş deliğe, epoksi enjekte edilerek yerleştirilmelidir (Şekil 8.22).



Şekil 8.22. Dolgu duvarların CFRP takviyesi ile güçlendirilmesi (TBDY, 2018)

Bu metodun kullanılmasında eski çerçeve içerisinde basınç çubuğu oluşumu sağlanmalı ve çerçeve ile birlikte çalışmanın sağlanması için yeterli ankraj düzenlemesi yapılmalıdır. Bu işlemin gerçekleştirilmesi için güçlendirmenin gerçekleştirileceği duvarın yüzeyinden çerçevede bulunan elemana olan mesafesi minimum 30 mm olmalıdır. Bu koşulun sağlanmadığı durumda yöntem kullanılamaz (Şekil 8.23).



Şekil 8.23. Dolgu duvarların lifli polimer ile güçlendirilmesi (Öncü, 2011)

## 8.2.2. Betonarme çerçevelerin yerinde dökme perde duvar ile güçlendirilmesi

Yeterli taşıma kapasitesine sahip olmayan betonarme yapılar betonarme perde ilavesi yapılarak güçlendirilebilir. İlave edilen perdeler aşağıda belirtilen iki farklı yolla teşkil edilebilirler.

### 8.2.2.1. Çerçeve düzlemi içine betonarme perde eklenmesi

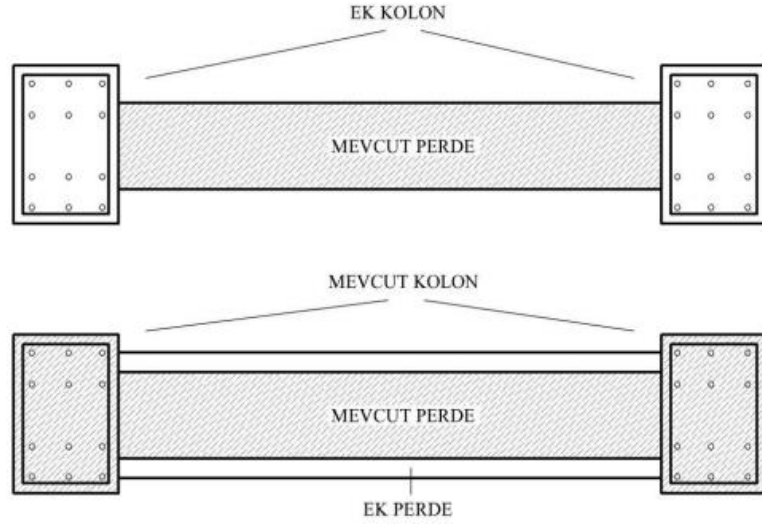
Yapıya perde ilavesi yapılmasındaki asıl amaç yapıya gelen deprem kuvvetlerinin önemli bir kısmını yeni elemanların taşıması ayrıca rijitliklerinin büyük olması sebebiyle yapının yatay deplasmanlarını kısıtlayarak daha sağlıklı bir deprem performansı elde etmektir. Betonarme sisteme eklenecek perdeler çerçeve aksının içine, iki kolon arasına yerleştirilmeli ve temel üst seviyesinden itibaren en üst kata kadar imal edilmelidir. Bunu sağlamak için, perdenin uç bölgesinde ve gövde bölgesinde bulunan boyuna donatıların da perde boyunca devam etmesi gereklidir. Perdelerin, teşkil edildiği çerçeveye ankrajının yapılması da yük aktarımı açısından hayati öneme sahiptir. Ankraj çubukları, deprem etkisi altında oluşacak gerilmelere dayanacak yeterli dayanımı sağlamalıdır.

Bu ankraj çubuklarının minimum çapı 16 mm, ankraj derinliği ise minimum ankraj çubuğunun çapının on katı ve en geniş çubuk aralığı 40 cm olmalıdır.

Mevcut sistemin yalnızca duvar kesiti arttırılırsa bu durum sadece kesme kuvveti kapasitesinde bir artışa neden olacaktır. Aynı zamanda eski duvarın yüzeyi çentiklenerek ilave edilen kısmın ise eski duvara ankrajlarla bağlanması gerekmektedir.

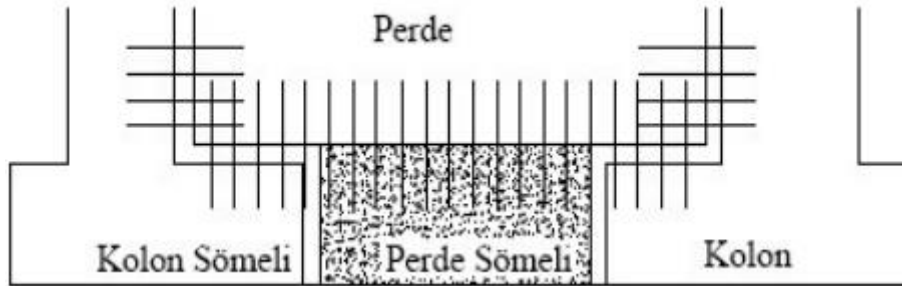
İlave edilen perdenin uç kısımlarına flanşların tertip edilmesi ile de elemanın sadece eğilme kapasitesinin arttığı görülmektedir. Bu flanşların ise sık etriyeler ile sarılıp betonlamasının yapılması gerekmektedir. Yeni flanşların eski perdeye bağlantısının sağlanması adına bu iş için hazırlanmış bağlantı elemanları ile donatılar bağlanmalıdır. Bu bağlantı epoksi ile tespit edilmiş ankraj çubukları veya kaynak metodu ile teşkil edilebilir.

Deprem perdesinin eğilme mukavemetinin ve kesme dayanımının yükseltilmesi için ise Şekil 24'te görüldüğü gibi perdenin iki ucuna flanşlar teşkil edilmeli ve eski perdeye yeni bir perde tabakası ilavesi yapılmalıdır.



Şekil 8.24. Deprem perdelerinin ilave katmanla sarılması

Burada dikkat edilmesi gereken husus sisteme dahil edilen perdelerin sağlıklı bir yük aktarımı sağlayabilmesi için bu perdenin alt kısmına denk gelen yere bu perdeden gelecek kuvvetleri zemine güvenle aktaracak bir temel düzeninin sağlanması gerektiğidir (Şekil 8.25).

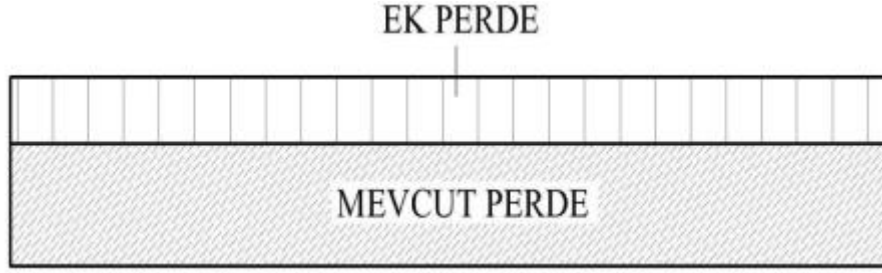


Şekil 8.25. İlave edilen perde duvarın temel örneği (Bayülke, 1995)

### 8.2.2.2. Çerçeve düzlemine bitişik betonarme perde eklenmesi

Yapı sistemine ilave edilecek perdeler binanın dış kısmında yapı çerçevesine bitişik olarak yapılmalı lakin yine de bağlı bulunduğu çerçeveye ankrajlanmalı ve sistemin birlikte çalışması sağlanmalıdır. Ayrıca yeteri dayanıma sahip ankrajlarla bu işlem yapılmalı deprem etkisi altında ankrajlar sıyrılmamalıdır. Yine bu sistem de temel üstünden en üst noktaya kadar devamlı olacak şekilde teşkil edilmelidir (Şekil 8.26).

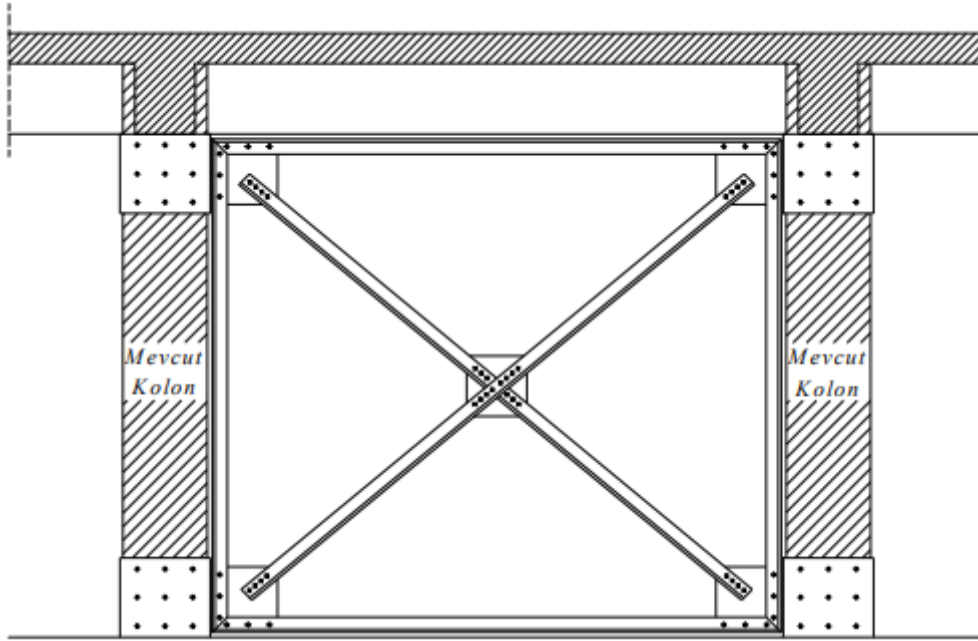




Şekil 8.26. Mevcut perdeye yeni perde eklenmesi

### 8.2.3. Betonarme çerçevelerin çelik diyagonal elemanlar ile güçlendirilmesi

Betonarme perde duvar ilavesi ile yapılan güçlendirmede yapının ağırlığı artacaktır. Bu durum yapıya tesir eden deprem yüklerini de artıracaktır. Bu durumun önüne geçmek için sisteme daha hafif ve rijitliği fazla olan elemanların dahil edilmesi gerekmektedir. Bu da çerçevelere çelik çapraz elemanların yerleştirilmesi ile mümkün olmaktadır. Bu güçlendirme yöntemi diğerlerine nazaran daha kısa bir sürede uygulanır. Çelik diyagonallerle yapılan güçlendirmenin bir diğer avantajı ise diyagonallerin kapı ve pencere boşluklarını kapatmadan yerleştirilmesindeki kolaylıktır.



Şekil 8.27. Çelik diyagonallerle çerçevenin güçlendirilmesi

Çelik çapraz ilavesi ile güçlendirmedeki dikkat edilmesi gereken problemlerden biri çelik eleman ile beton arasında yük aktarımının olup olmayacağıdır. Çelik diyagonal

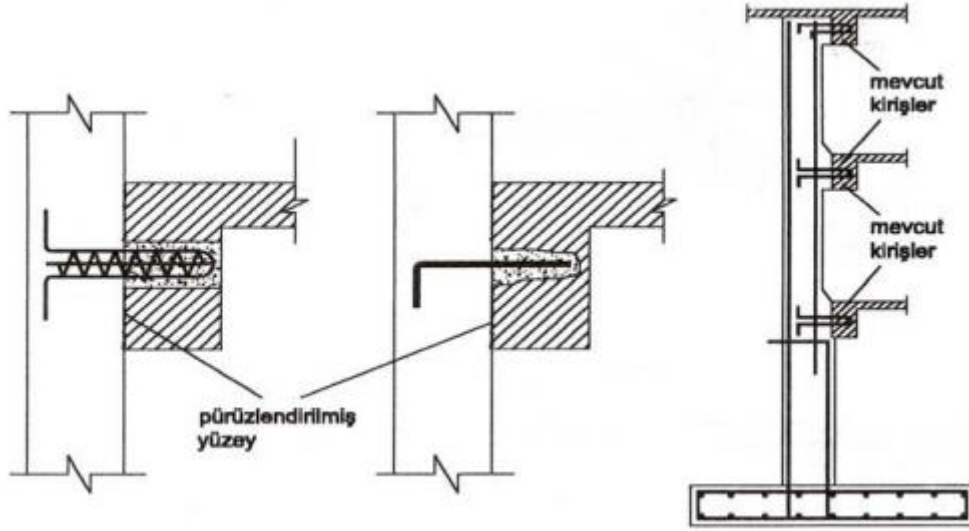
elemanların kullanıldığı durumda düğüm noktalarında önemli miktarda çekme ve basınç kuvvetleri oluşur. Oluşan bu kuvvetlerin betonarme elemanlarla ve çelik çaprazlar içinde dengeli bir biçimde aktarılması gerekmektedir. Beton kalitesinin yetersiz olduğu elemanlarda et kalınlığı fazla olan köşe plakalarına gereksinim duyulmaktadır.



Şekil 8.28. Çelik diyagonal elemanlarla güçlendirme (Öncü, 2011)

#### 8.2.4. Yapıya dış perdeler ekleyerek güçlendirme

Bu metot, yapının kullanımı dolayısıyla içeriden yapıda bir güçlendirme uygulamasının yapılamadığı ancak deprem tehdidi bulunan yerlerde yapının mimarisinin el verdiği oranda uygulanır. Yapı sistemine ilave edilecek perdeler binanın dış kısmında yapı çerçevesine bitişik olarak yapılmalı lakin yine de bağlı bulunduğu çerçeveye ankrajlanmalı ve sistemin birlikte çalışması sağlanmalıdır. Ayrıca yeteri dayanıma sahip ankrajlarla bu işlem yapılmalı deprem etkisi altında ankrajlar sıyrılmamalıdır. Yine bu sistem de temel üstünden en üst noktaya kadar devamlı olacak şekilde teşkil edilmelidir (Şekil 8.31).



Şekil 8.29. Dış perdenin bitişik olduğu çerçeveye ankraj çubukları ile bağlanması (Öncü, 2011)



Şekil 8.30. İstanbul Üniversitesi'nde yapıya dış perdeler ekleyerek güçlendirme (Öncü, 2011)

### 8.2.5. Betonarme sisteme yeni çerçeveler ekleyerek güçlendirme

Bu yöntemin en önemli avantajı yapının iç kısımlarına müdahale etmeden yani yapı kullanımına devam edilirken binanın güçlendirilmesinin sağlanmasıdır. Burada da asıl hedef yataydan gelecek olan deprem kuvvetlerinin rijit elemanlarla karşılanıp zemine aktarılmasıdır. Burada dikkatli olunması gereken kısımlar ise eleman sürekliliğinin sağlanması ve ilave edilen çerçevelerin temel sistemlerinin mevcut yapının temellerine bağlanması ve mevcut yapının döşemeleri ile yeni çerçevelerin ankrajlanması ile birlikte yük taşımasının sağlanması gerektirir.

### **8.2.6. Betonarme sistemin kütesinin azaltılması**

Kütle azaltılmasını yapı güçlendirme metotları arasında göstermek pek doğru değildir. Fakat yapıya etkiyen deprem kuvvetleri yapının ağırlığı ile doğru orantılıdır haliyle yapının ağırlığının azalması oluşacak deprem kuvvetlerinin de azalmasına neden olacaktır. Azaltılacak veya kaldırılacak kütlelerin yapı üst kotlarına yakın olması, deprem güvenliğini arttırmada alt katlara oranla daha etkilidir. En etkili kütle azaltma yöntemlerine binanın üst kısmında bulunan birkaç katın tasfiye edilmesi, çatının malzemesinin daha hafif bir malzeme alternatifi ile değiştirilmesi, çatı kısmında bulunan makine dairelerinin, elektronik aksamların bodrum veya zemin kata transfer edilmesi, balkon, kalkan duvar gibi kısımların kaldırılması gibi örnekler verilebilir.

## 9. MEVCUT OKUL BİNASININ GÜÇLENDİRMESİNİN YAPILMASI

Bu bölümde yapı üç farklı alternatifle güçlendirilmiştir ve her alternatif ayrı ayrı ele alınmıştır. Bu çalışmaya konu olan okul binası sisteme betonarme perde ilave edilerek, kolonlara FRP sarılarak ve manto yapılarak güçlendirilmiştir.

### 9.1. Birinci Güçlendirme Önerisi

Bu güçlendirme önerisinde yapıya sadece betonarme perde ilavesi yapılmıştır. Bu perdeler yapının dış akslarına simetrik bir biçimde yerleştirilmiş olup rijitlik ve ağırlık merkezlerinin arasındaki mesafenin burulma etkisi göz önüne alınarak mümkün olduğunca az olmasına dikkat edilmiştir.

Yapının üç boyutlu hali Şekil 9.1 ve Şekil 9.2’de görülmektedir. Çalışmanın ilerleyen kısımlarında kolaylık olması için bu güçlendirme önerisine kısaca “Güçlendirme-1” adı verilmiştir.

Sisteme sonradan ilave edilen perdeler, mevcut sistemin bir taraftan deprem etkisi karşısındaki kapasitesini arttırırken diğer taraftan taşıyıcı sistemdeki yanal ötelenmeleri de sınırlamaktadır. Yapıya yeni perdeler eklemeye dikkat edilmesi gereken en önemli husus, yeni perdelerin mevcut sistemle bir bütün halinde çalışmasını sağlamak için mümkün merteye perde donatılarının katlar arasındaki sürekliliği sağlanmış, birlikte çalışmanın sağlanması adına çok yüksek elastisite modülüne sahip donatı ve beton sınıfları seçilmemiştir. Zira aksi takdirde mevcut malzeme (E2) ve yeni malzeme (E1) arasında yük aktarımı olmayacak ve deprem etkisi altında gevrek kırılmalar görülebilecektir. Aynı zamanda da güçlendirme perdelerinin bütün katlarda devam ettirilmesi sağlanmıştır (Şekil 9.1, Şekil 9.2).

Sisteme yeni ilave edilen perdeler genellikle mimari açıdan herhangi bir problem oluşturmayacak biçimde binanın dış akslarına yerleştirilmiştir. Perdeler genellikle çerçeve davranışını sağlamak adına iki kolonun arasına gelecek şekilde yerleştirilmiştir.

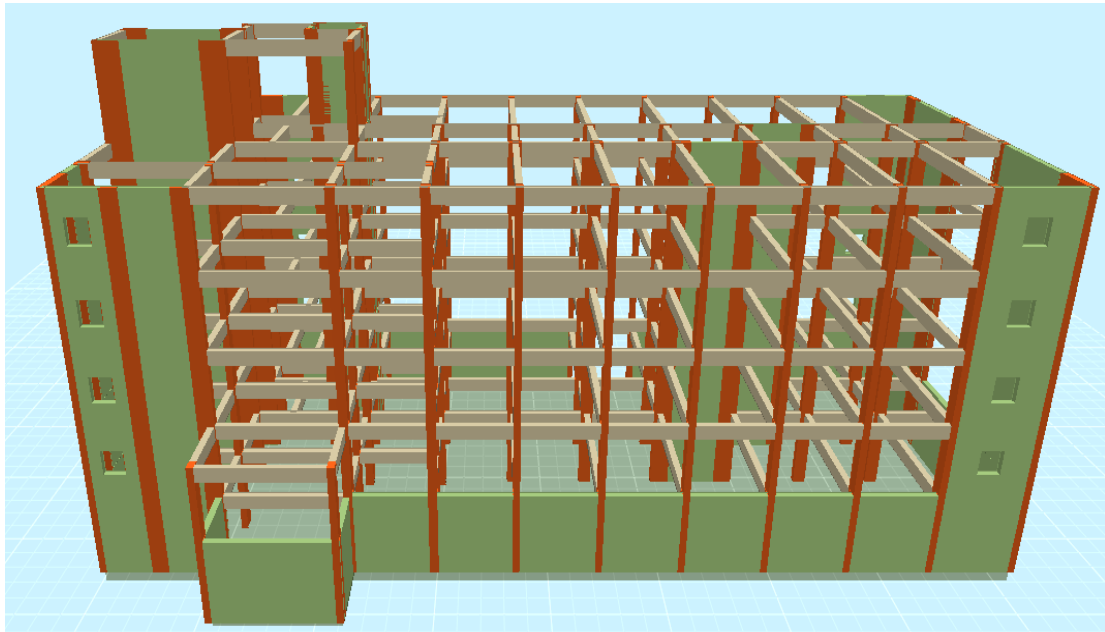
Güçlendirme projesi kapsamında yapıya her katta bulunmak kaydı ile (bodrum kat ve 4. normal kat hariç olmak üzere) 8 adet güçlendirme perdesi ilavesi yapılmıştır. Bu karar yapının mevcut durumu ve mimarisi göz önünde bulundurularak alınmıştır. İlave edilen güçlendirme perdelerinden 5 tanesi X doğrultusunda, 3 tanesi ise Y doğrultusunda yerleştirilmiştir. Yapının mevcut durumda X doğrultusunda % 1.05 oranında perde alanı bulunmaktadır (kat alanı/perde alanları toplamı). Bu oran perde ilavesi sonucu % 1.5’e

yükseltilmiştir. Y doğrultusunda ise mevcut durumda % 0.75 oranında perde alanı bulunmaktadır. Bu oran perde ilavesi sonucu % 1.13'e yükseltilmiştir. Bu sonuca aşağıdaki Çizelge 9.1'den hareketle varılmıştır.

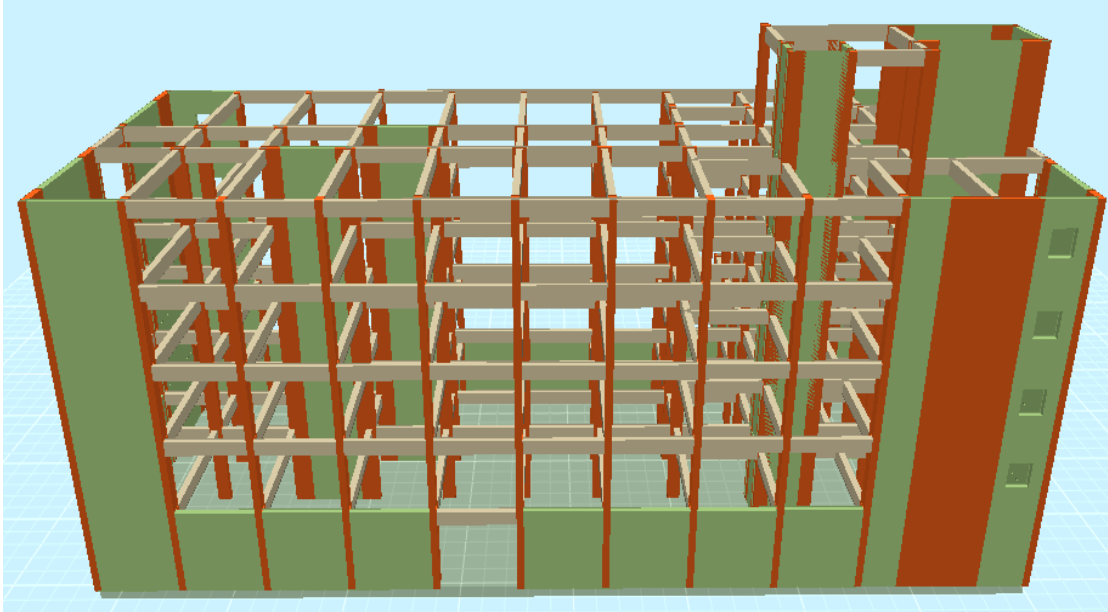
**Çizelge 9.1.** Gerekli güçlendirme perde oranlarının karşılaştırılması (Görgülü, 2015)

	Kat Adedi	Beton Sınıfı	Donatı Sınıfı	Gerekli Perde Oranı
Görgülü (2014)	3	C10	S220	%1.00
	4	C10	S220	%1.70
	5	C10	S220	%1.70
	3	C10	S420	%0.70
	4	C10	S420	%0.70
Atımtay (2000)	3	C15	S220	%0.38
	4	C15	S220	%0.50
	5	C15	S220	%0.63
Tekel (2006)	3	C15	S420	%0.60
	4	C15	S420	%0.80
	5	C15	S420	%1.00

Aşağıda Şekil 9.3'te yeşil işaretli kısımlarda bulunan kirişler C30 beton sınıfına, S420 çelik donatı sınıfına sahip betonarme perde elemanlarına çevrilmiştir.



**Şekil 9.1.** Mevcut yapıya yeni perde elemanların eklenmesi sonucu yapının önden görünüşü

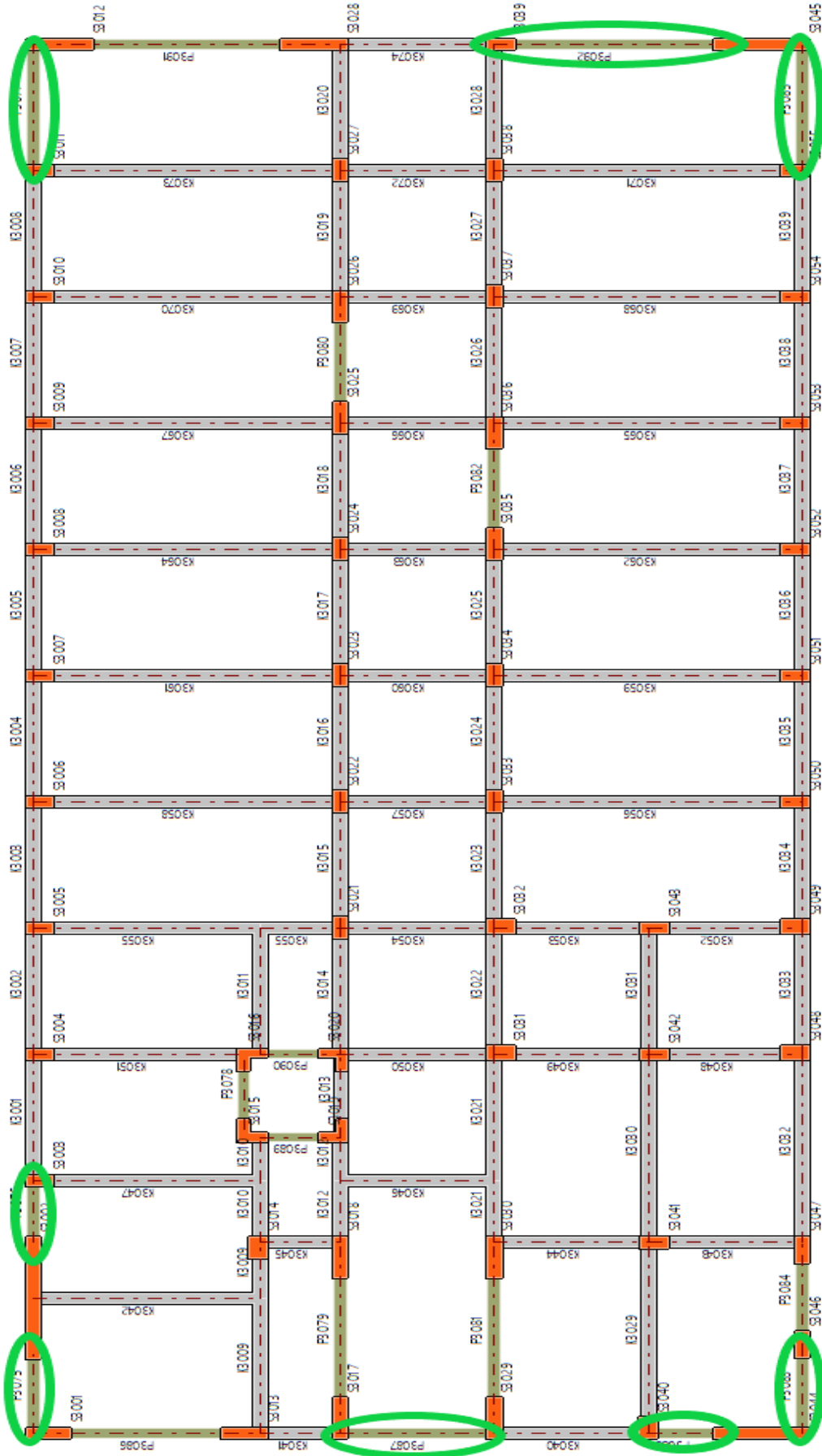


Şekil 9.2. Mevcut yapıya yeni perde elemanların eklenmesi sonucu yapının arkadan görünüşü

Çizelge 9.2. Yapıya eklenen güçlendirme perdelerinin donatıları

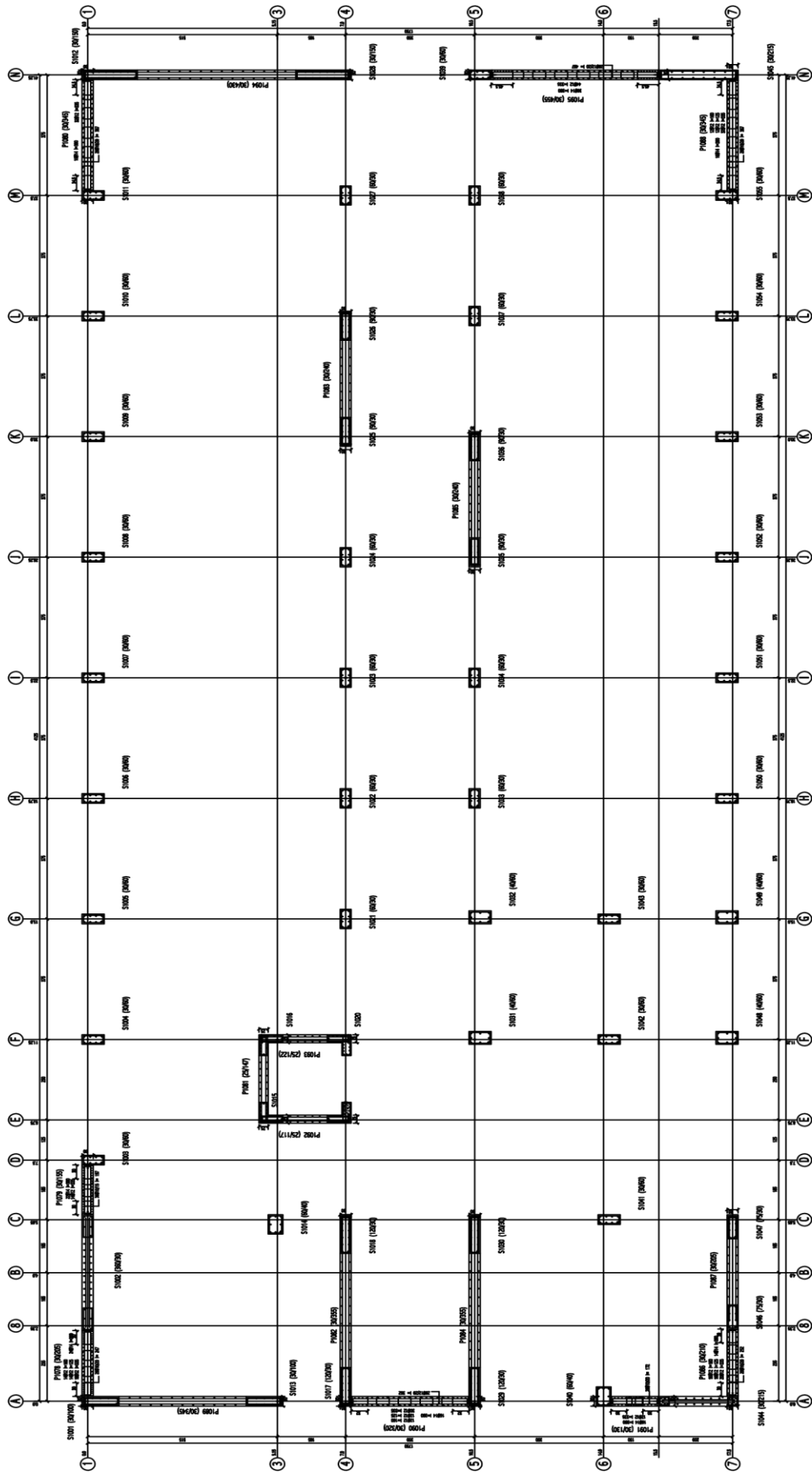
Kat No	Bodrum Kat	Zemin Kat	1. Normal Kat	2. Normal Kat	3. Normal Kat	4. Normal Kat
Perde / Ebat	P1078 (30/205)	P2078 (30/205)	P3078 (30/205)	P4078 (30/205)	P5078 (30/205)	
Düşey Donatı	2x9Ø12	2x12Ø14+2x9Ø12	2x12Ø14+2x9Ø12	2x12Ø14+2x9Ø12	2x12Ø14+2x9Ø12	
Yatay Donatı	Ø10/20	Ø10/20	Ø10/20	Ø10/20	Ø10/20	
Perde / Ebat	P1079 (30/155)	P2079 (30/155)	P3079 (30/155)	P4079 (30/155)	P5079 (30/155)	
Düşey Donatı	2x7Ø12	2x11Ø14+2x7Ø12	2x11Ø14+2x7Ø12	2x11Ø14+2x7Ø12	2x11Ø14+2x7Ø12	
Yatay Donatı	Ø10/20	Ø10/20	Ø10/15	Ø10/20	Ø10/20	
Perde / Ebat	P1080 (30/345)	P2080 (30/345)	P3080 (30/345)	P4080 (30/345)	P5080 (30/345)	
Düşey Donatı	2x17Ø12	2x8Ø14+2x16Ø12	2x8Ø14+2x16Ø12	2x8Ø14+2x16Ø12	2x8Ø14+2x16Ø12	
Yatay Donatı	Ø10/20	Ø10/15	Ø10/20	Ø10/20	Ø10/20	
Perde / Ebat	P1086 (30/210)	P2035 (30/210)	P3035 (30/210)	P4035 (30/210)	P5035 (30/210)	
Düşey Donatı	2x12Ø12	2x7Ø14+2x10Ø12	2x7Ø14+2x10Ø12	2x7Ø14+2x10Ø12	2x7Ø14+2x10Ø12	
Yatay Donatı	Ø10/20	Ø10/20	Ø10/20	Ø10/20	Ø10/20	
Perde / Ebat	P1088 (30/345)	P2088 (30/345)	P3088 (30/345)	P4088 (30/345)	P5088 (30/345)	
Düşey Donatı	2x16Ø12	2x8Ø14+2x16Ø12	2x8Ø14+2x16Ø12	2x8Ø14+2x16Ø12	2x8Ø14+2x16Ø12	
Yatay Donatı	Ø10/20	Ø12/15	Ø10/20	Ø10/20	Ø10/20	
Perde / Ebat	P1090 (30/320)	P2090 (30/320)	P3090 (30/320)	P4090 (30/320)	P5081 (30/320)	P6081 (30/320)
Düşey Donatı	2x20Ø12	2x15Ø14+2x15Ø12	2x8Ø14+2x15Ø12	2x8Ø14+2x15Ø12	2x8Ø14+2x15Ø12	2x8Ø14+2x15Ø12
Yatay Donatı	Ø12/15	Ø12/20	Ø12/20	Ø12/15	Ø10/20	Ø10/15
Perde / Ebat	P1091 (30/130)	P2091 (30/130)	P3091 (30/130)	P4091 (30/130)	P5091 (30/130)	
Düşey Donatı	2x6Ø12	2x8Ø14+2x6Ø12	2x8Ø14+2x6Ø12	2x8Ø14+2x6Ø12	2x8Ø14+2x6Ø12	
Yatay Donatı	Ø10/20	Ø10/20	Ø10/20	Ø10/20	Ø10/20	
Perde / Ebat	P1095 (30/455)	P2095 (30/455)	P3095 (30/455)	P4095 (30/455)	P5095 (30/455)	
Düşey Donatı	2x30Ø12	2x15Ø14+2x22Ø12	2x15Ø14+2x22Ø12	2x15Ø14+2x22Ø12	2x15Ø14+2x22Ø12	
Yatay Donatı	Ø12/15	Ø12/15	Ø12/20	Ø10/20	Ø10/20	





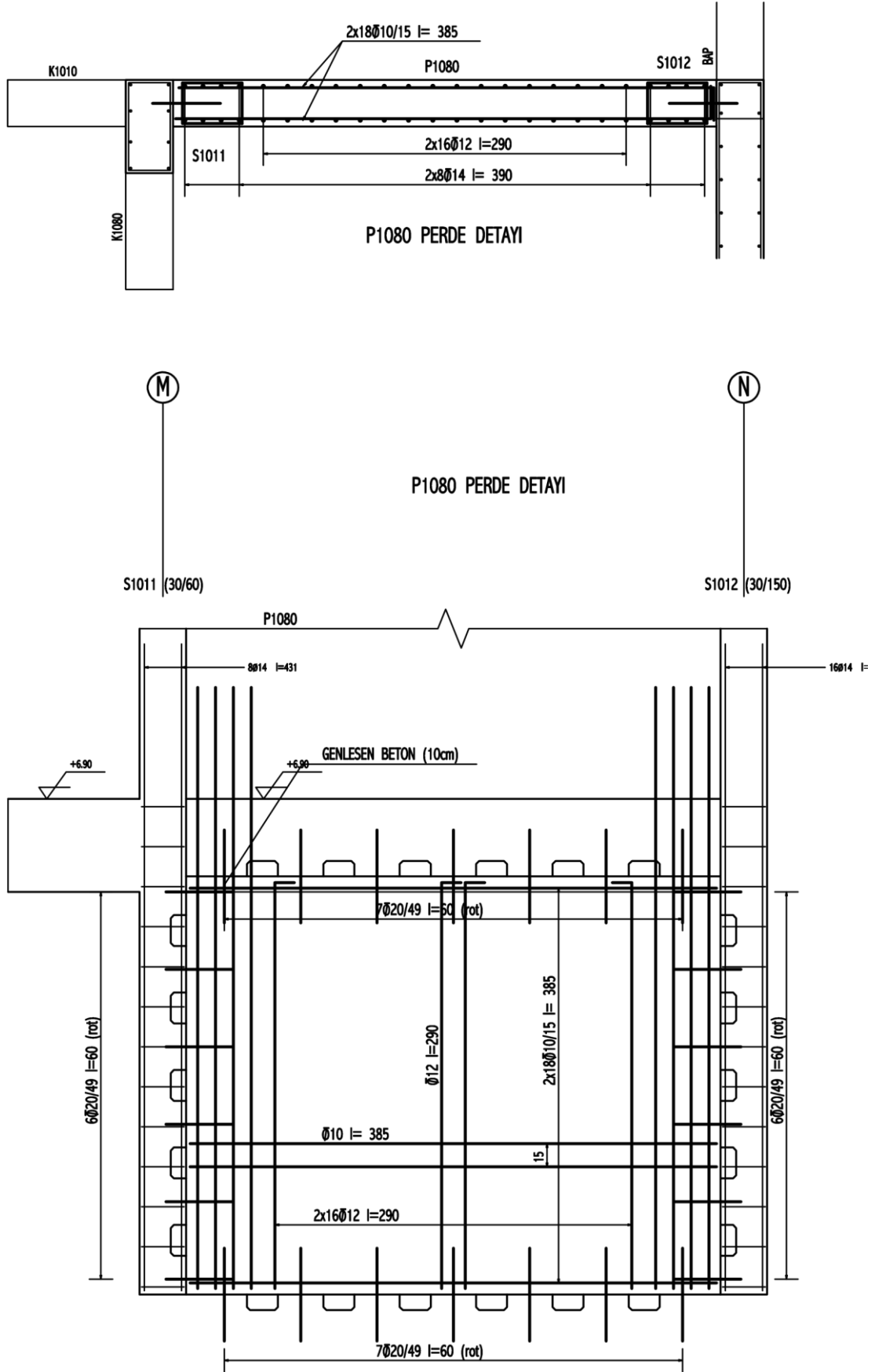
Şekil 9.3. Yeni eklenen betonarme perdelerin kat planı üzerinde gösterilmesi





1. NORMAL KAT KOLON APLİKASYON PLANI (1/25)

Şekil 9.4. Güçlendirme-1 normal kat kolon aplikasyon planı



Şekil 9.5. Yeni eklenen güçlendirme perdelerinden P1080 perdesinin donatı detayı

### 9.1.1. Güçlendirme-1 için yapının DD-1 deprem yer hareketi düzeyine göre performans analizi

Yapının performansının sonucu aşağıda Şekil 9.6’da verilmiştir.

#### BINA PERFORMANS SONUCU:

Kontrollü hasar performans bölgesi durumu, DD1 ileri performans hedefi sağlanmıştır.

Kontrollü hasar performans bölgesi yeterlilik kontrolü:

Kiriş Hasar oranı=(IH=%33.3<=%35 ✓), (GB=%0 ✓)

Kolon Hasar oranı=(IH=%0.0<=%20 ✓), (GB=%0 ✓)

Ust kat Vc oranı=(IH=%0.0<=%40 ✓), (GB=%0 ✓)

Plastiklesen kolon Vc oranı=(IH+GB=%0.0<=%30 ✓)

Şekil 9.6. Güçlendirme-1 için DD-1 deprem yer hareketi düzeyine göre performans analizi bina performans sonucu

#### 9.1.1.1. Güçlendirme-1 için yapının hasar durumları

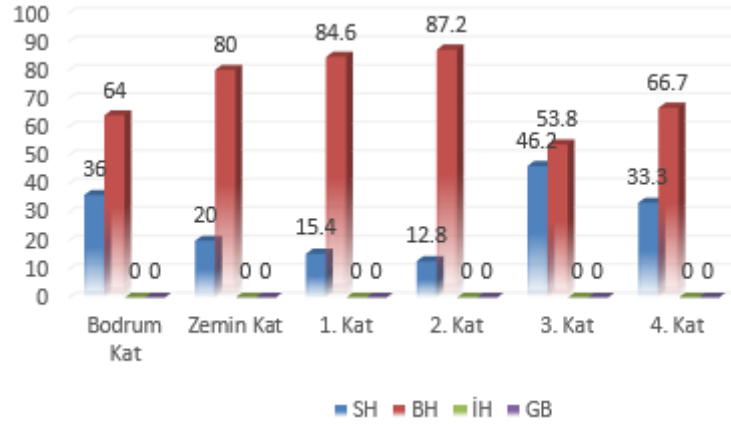
Güçlendirme-1 önerisi için yapının taşıyıcı elemanlarının hasar durumları aşağıda Çizelge 9.3’te verilmiştir. Yapının tabloda belirtilmeyen diğer taşıyıcı elemanlarının (kolon, kiriş, perde) tamamı sınırlı hasar (SH) bölgesindedir.

Çizelge 9.3. Güçlendirme-1 için yapı taşıyıcı elemanlarının hasar durumları

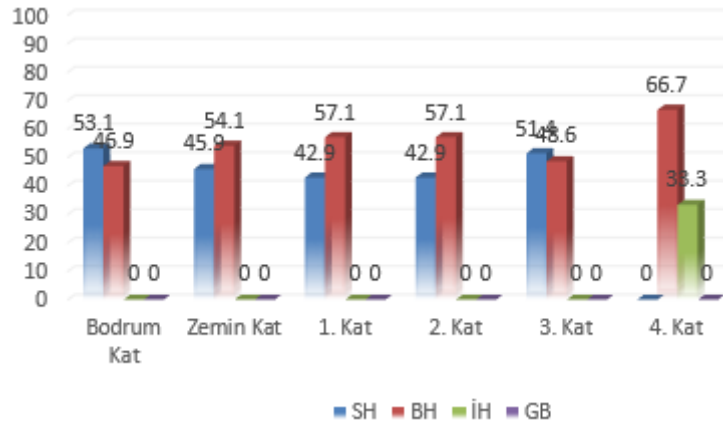
Bodrum Kat	Zemin Kat	1. Normal Kat
Kiriş	Kiriş	Kiriş
K1003 (BH) / K1005 (BH) / K1007 (BH) / K1009 (BH) K1010 (BH) / K1011 (BH) / K1012 (BH) / K1013 (BH) K1015 (BH) / K1016 (BH) / K1017 (BH) / K1018 (BH) K1019 (BH) / K1020 (BH) / K1021 (BH) / K1024 (BH) K1027 (BH) / K1028 (BH) / K1029 (BH) / K1032 (BH) K1033 (BH) / K1034 (BH) / K1035 (BH) / K1036 (BH) K1037 (BH) / K1038 (BH) / K1041 (BH) / K1047 (BH) K1050 (BH) / K1053 (BH) / K1056 (BH)	K2001 (BH) / K2002 (BH) / K2003 (BH) / K2004 (BH) K2005 (BH) / K2006 (BH) / K2007 (BH) / K2008 (BH) K2010 (BH) / K2012 (BH) / K2013 (BH) / K2014 (BH) K2016 (BH) / K2017 (BH) / K2018 (BH) / K2019 (BH) K2020 (BH) / K2022 (BH) / K2023 (BH) / K2024 (BH) K2025 (BH) / K2026 (BH) / K2027 (BH) / K2028 (BH) K2031 (BH) / K2033 (BH) / K2034 (BH) / K2035 (BH) K2036 (BH) / K2037 (BH) / K2038 (BH) / K2039 (BH) K2041 (BH) / K2042 (BH) / K2044 (BH) / K2045 (BH) K2046 (BH) / K2047 (BH) / K2050 (BH) / K2051 (BH) K2052 (BH) / K2053 (BH) / K2054 (BH) / K2055 (BH) K2056 (BH) / K2057 (BH) / K2060 (BH) / K2063 (BH) K2066 (BH) / K2069 (BH) / K2072 (BH) / K2075 (BH)	K3001 (BH) / K3002 (BH) / K3003 (BH) / K3004 (BH) K3005 (BH) / K3006 (BH) / K3007 (BH) / K3008 (BH) K3010 (BH) / K3012 (BH) / K3013 (BH) / K3014 (BH) K3016 (BH) / K3017 (BH) / K3018 (BH) / K3019 (BH) K3020 (BH) / K3022 (BH) / K3023 (BH) / K3024 (BH) K3025 (BH) / K3026 (BH) / K3027 (BH) / K3028 (BH) K3031 (BH) / K3032 (BH) / K3033 (BH) / K3034 (BH) K3035 (BH) / K3036 (BH) / K3037 (BH) / K3038 (BH) K3039 (BH) / K3040 (BH) / K3041 (BH) / K3043 (BH) K3044 (BH) / K3045 (BH) / K3048 (BH) / K3049 (BH) K3050 (BH) / K3051 (BH) / K3052 (BH) / K3053 (BH) K3054 (BH) / K3055 (BH) / K3057 (BH) / K3060 (BH) K3063 (BH) / K3066 (BH) / K3069 (BH) / K3072 (BH) K3074 (BH)
Kolon	Kolon	Kolon
S1021 (BH) / S1022 (BH) / S1023 (BH) / S1033 (BH) S1034 (BH) / S1038 (BH)	S2021 (BH) / S2022 (BH) / S2023 (BH) / S2033 (BH) S2034 (BH) / S2038 (BH) / S2041 (BH)	
Perde	Perde	Perde
P1058 (BH) / P1064 (BH) / P1072 (BH) / P1075 (BH) P1080 (BH) / P1081 (BH) / P1082 (BH) / P1084 (BH) P1086 (BH) / P1087 (BH) / P1088 (BH) / P1089 (BH) P1090 (BH) / P1091 (BH) / P1092 (BH) / P1093 (BH) P1094 (BH) / P1095 (BH)	P2081 (BH) / P2082 (BH) / P2084 (BH) / P2087 (BH) P2089 (BH) / P2091 (BH) / P2092 (BH) / P2093 (BH) P2094 (BH)	P3081 (BH) / P3082 (BH) / P3084 (BH) / P3087 (BH) P3089 (BH) / P3092 (BH) / P3093 (BH) / P3094 (BH)

2. Normal Kat	3. Normal Kat	4. Normal Kat
Kiriş	Kiriş	Kiriş
K4001 (BH) / K4002 (BH) / K4003 (BH) / K4004 (BH) K4005 (BH) / K4006 (BH) / K4007 (BH) / K4008 (BH) K4010 (BH) / K4012 (BH) / K4013 (BH) / K4014 (BH) K4016 (BH) / K4017 (BH) / K4018 (BH) / K4019 (BH) K4020 (BH) / K4022 (BH) / K4023 (BH) / K4024 (BH) K4025 (BH) / K4026 (BH) / K4027 (BH) / K4028 (BH) K4029 (BH) / K4031 (BH) / K4032 (BH) / K4033 (BH) K4034 (BH) / K4035 (BH) / K4036 (BH) / K4037 (BH) K4038 (BH) / K4040 (BH) / K4041 (BH) / K4043 (BH) K4044 (BH) / K4045 (BH) / K4048 (BH) / K4049 (BH) K4050 (BH) / K4051 (BH) / K4052 (BH) / K4053 (BH) K4054 (BH) / K4055 (BH) / K4057 (BH) / K4060 (BH) K4063 (BH) / K4066 (BH) / K4069 (BH) / K4072 (BH) K4074 (BH)	K5008 (BH) / K5009 (BH) / K5010 (BH) / K5012 (BH) K5013 (BH) / K5014 (BH) / K5015 (BH) / K5016 (BH) K5017 (BH) / K5018 (BH) / K5019 (BH) / K5020 (BH) K5022 (BH) / K5023 (BH) / K5024 (BH) / K5025 (BH) K5026 (BH) / K5027 (BH) / K5028 (BH) / K5031 (BH) K5040 (BH) / K5041 (BH) / K5043 (BH) / K5044 (BH) K5045 (BH) / K5048 (BH) / K5049 (BH) / K5050 (BH) K5051 (BH) / K5052 (BH) / K5053 (BH) / K5054 (BH) K5060 (BH) / K5066 (BH) / K5071 (BH) / K5072 (BH) K5074 (BH)	K6001 (BH) / K6003 (BH) / K6004 (BH) / K6005 (BH) K6006 (İH)
Kolon	Kolon	Kolon
S4017 (BH)	S5007 (BH) / S5008 (BH) / S5009 (BH) / S5010 (BH) S5014 (BH) / S5037 (BH) / S5050 (BH) / S5051 (BH) S5052 (BH) / S5053 (BH) / S5054 (BH)	S6014 (BH) / S6031 (BH)
Perde	Perde	Perde
P4081 (BH) / P4082 (BH) / P4084 (BH) / P4087 (BH) P4089 (BH) / P4094 (BH)	P5081 (BH) / P5082 (BH) / P5084 (BH) / P5089 (BH)	P6081 (BH)

Güçlendirme-1 önerisi için yapının kirişlerinin hasar durumları yüzdesel olarak aşağıdaki grafiklerde verilmiştir.

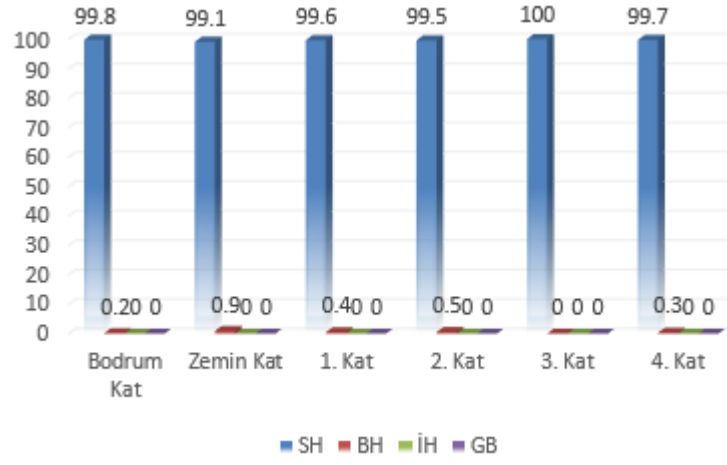


Şekil 9.7. Güçlendirme-1 için X yönü kiriş hasar grafiği

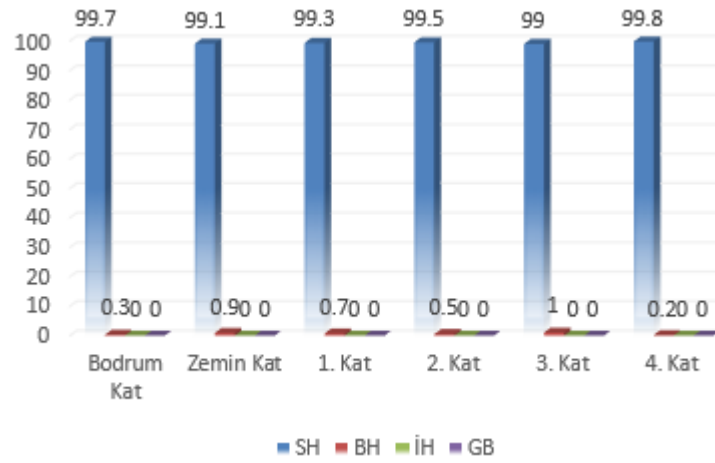


Şekil 9.8. Güçlendirme-1 için Y yönü kiriş hasar grafiği

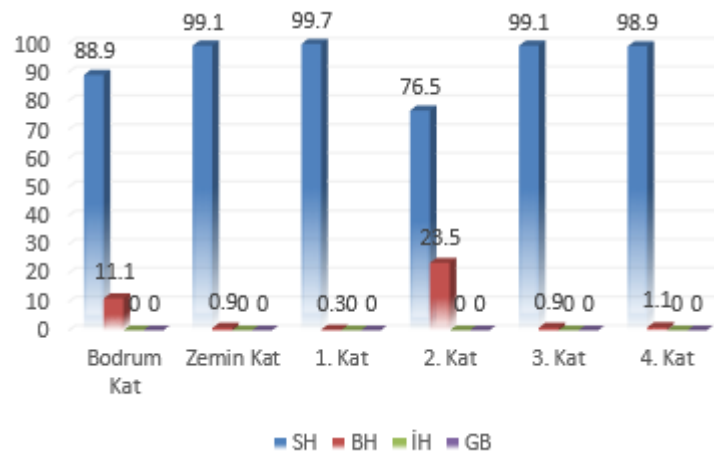
Güçlendirme-1 önerisi için yapının kolonlarının hasar durumları yüzdesel olarak aşağıdaki grafiklerde verilmiştir.



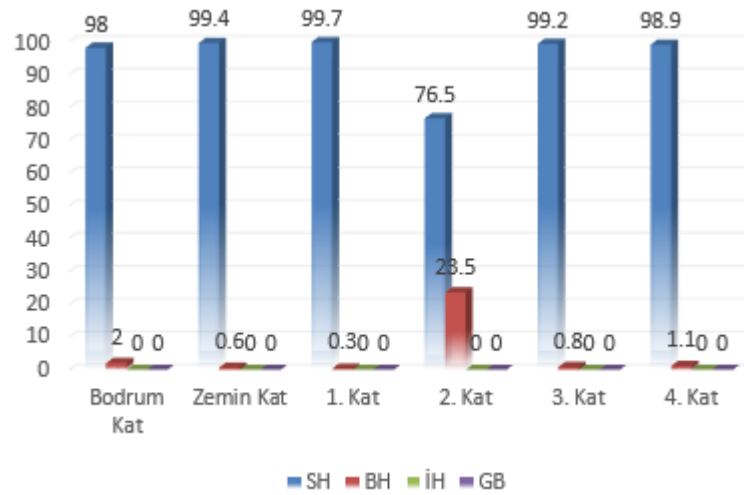
Şekil 9.9. Güçlendirme-1 için -X yönü kolon hasar grafiği



Şekil 9.10. Güçlendirme-1 için +X yönü kolon hasar grafiği



Şekil 9.11. Güçlendirme-1 için -Y yönü kolon hasar grafiği



Şekil 9.12. Güçlendirme-1 için +Y yönü kolon hasar grafiği

### 9.1.1.2. Yapı düzensizliklerinin kontrolü

Güçlendirme-1 önerisinde yapıya güçlendirme perdeleri eklenmiş olup yapının düzensizlik kontrolleri, STA4-CAD programı yardımıyla, çok modlu nonlineer analiz yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Sonuçlar her yön için aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir (Çizelge 9.4, Çizelge 9.5, Çizelge 9.6).

Çizelge 9.4. Güçlendirme-1 için A1 (burulma düzensizliği), B2 (yumuşak kat) düzensizliklerinin kontrolü (X yönü)

Kat	$\Delta X_{düst}$ (m)	$\Delta X_{dalt}$ (m)	$\Delta X_{ort}$	nbi	nki	$R/I \cdot \Delta x/h$	$\theta_i$	kat tipi
6	0.0057059	0.0058651	0.0057855	1.01	0.00	0.00559 ✓	0.00111 ✓	Normal kat
5	0.0040486	0.0043942	0.0042214	1.04	0.96	0.00549 ✓	0.00180 ✓	Normal kat
4	0.0045745	0.0049536	0.0047640	1.04	1.13	0.00619 ✓	0.00246 ✓	Normal kat
3	0.0046863	0.0050504	0.0048683	1.04	1.02	0.00631 ✓	0.00293 ✓	Normal kat
2	0.0041006	0.0044136	0.0042571	1.04	0.87	0.00552 ✓	0.00299 ✓	Normal kat
1	0.0017723	0.0017023	0.0017373	1.02	0.00	0.00192 ✓	0.00000 ✓	Bodrum kat

Çizelge 9.5. Güçlendirme-1 için A1 (burulma düzensizliği), B2 (yumuşak kat) düzensizliklerinin kontrolü (Y yönü)

Kat	$\Delta Y_{dsol}$ (m)	$\Delta Y_{dsağ}$ (m)	$\Delta Y_{ort}$	nbi	nki	$R/I \cdot \Delta y/h$	$\theta_i$	kat tipi
6	0.0063731	0.0108211	0.0085971	1.26	0.00	0.01031 ✓	0.00160 ✓	Normal kat
5	0.0062803	0.0038655	0.0050729	1.24	0.77	0.00785 ✓	0.00234 ✓	Normal kat
4	0.0070805	0.0044693	0.0057749	1.23	1.14	0.00885 ✓	0.00316 ✓	Normal kat
3	0.0072788	0.0046424	0.0059606	1.22	1.03	0.00910 ✓	0.00379 ✓	Normal kat
2	0.0065235	0.0042994	0.0054115	1.21	0.91	0.00815 ✓	0.00400 ✓	Normal kat
1	0.0040932	0.0036573	0.0038752	1.06	0.00	0.00443 ✓	0.00000 ✓	Bodrum kat

**Çizelge 9.6.** Güçlendirme-1 için B1 (zayıf kat) düşey doğrultudaki düzensizliklerin kontrolü

Kat	Aw	Agx	Agy	Akx	Aky	$\Sigma Aex$	$\Sigma Aey$	ncix	nciy	AÇIKLAMA
6	2.97	2.50	1.56	1.43	0.70	5.68	4.63	1.00	1.00	üst kat ✓
5	12.65	9.41	6.28	14.50	10.05	24.23	20.44	4.26	4.41	Düzenli ✓
4	12.65	9.41	6.28	14.50	9.35	24.23	20.33	1.00	0.99	Düzenli ✓
3	12.65	9.41	6.28	15.06	10.40	24.32	20.49	1.00	1.01	Düzenli ✓
2	12.95	9.41	6.28	14.92	10.77	24.60	20.84	1.01	1.02	Düzenli ✓
1	12.95	25.43	10.24	0.00	0.00	38.38	23.19	1.56	1.11	bodrum kat

### 9.1.1.3. Kat deprem deplasmanları

Deprem hasarı yer değiştirme ve şekil değiştirme ile doğrudan ilişkilendirilebilir. Katın yaptığı deplasman, katın taban kısmına göre yanal yönde yer değiştirmesidir. Güçlendirme-1 için yapının her iki doğrultudaki kat deplasmanları aşağıda Çizelge 9.7’de verilmiştir.

**Çizelge 9.7.** Güçlendirme-1 kat deprem deplasman değerleri

Kat no	9. yükleme		10. yükleme		11. yükleme		12. yükleme	
	$\delta x$ (m)	$\theta z$ (rad)	$\delta x$ (m)	$\theta z$ (rad)	$\delta y$ (m)	$\theta z$ (rad)	$\delta y$ (m)	$\theta z$ (rad)
6	0.0255864	0.0000987	0.0255864	0.0000987	-0.038165	-0.000136	-0.038165	-0.000136
5	0.0197116	0.0000741	0.0197116	0.0000741	-0.025547	0.0002502	-0.025547	0.0002502
4	0.0155345	0.0000543	0.0155345	0.0000543	-0.020594	0.0001917	-0.020594	0.0001917
3	0.0108109	0.0000326	0.0108109	0.0000326	-0.014976	0.0001284	-0.014976	0.0001284
2	0.0059702	0.0000118	0.0059702	0.0000118	-0.009194	0.0000645	-0.009194	0.0000645
1	0.0017405	-0.000003	0.0017405	-0.000003	-0.003882	0.0000106	-0.003882	0.0000106

Deprem yapı salınımları:  $x= 0.00124$   $y= 0.00184$

**Çizelge 9.8.** Güçlendirme-1 için maksimum deprem deplasmanı (mm)

Kat	Hi (m)	uiX	uiY
6	20.700	25.6	38.2
5	16.500	19.7	25.5
4	13.300	15.5	20.6
3	10.100	10.8	15.0
2	6.900	6.0	9.2
1	3.700	1.7	3.9

### 9.1.1.4. Deprem perdeleri taban moment kontrolü

Çizelge 9.9. Kat deprem yük ve momenti (tm)

Kat	H (m)	F <sub>x</sub>	F <sub>x</sub> . H	H (m)	F <sub>y</sub>	F <sub>y</sub> . H	
6	17.00	164.04	2788.73	17.00	169.44	2880.46	
5	12.80	581.72	7446.04	12.80	517.92	6629.37	
4	9.60	447.43	4295.34	9.60	438.76	4212.09	
3	6.40	324.38	2076.01	6.40	313.37	2005.55	
2	3.20	220.54	705.72	3.20	214.26	685.62	
1	BODRUM	-	-	BODRUM	-	-	
		1738.11	17311.85			1653.74	16413.09

Çizelge 9.10. Perde taban momenti (tm)

Perde	M <sub>x</sub>	Σ M <sub>xk</sub> =	Σ M <sub>xr</sub>	M/M <sub>0</sub> <1/3	M <sub>y</sub>	Σ M <sub>yk</sub> =	Σ M <sub>yr</sub>	M/M <sub>0</sub> <1/3
SZ002	458.44	1295.05	1753.49	0.101 ✓	-	-	-	-
SZ044	-	-	-	-	178.61	420.27	598.88	0.036 ✓
PZ091	-	-	-	-	120.15	96.74	216.89	0.013 ✓
PZ083	196.67	173.33	370.00	0.021 ✓	-	-	-	-
PZ085	199.83	174.00	373.82	0.022 ✓	-	-	-	-
PZ092	-	-	-	-	38.65	25.24	63.89	0.004 ✓
PZ078+PZ079+PZ089	3603.45	84.52	3687.97	0.213 ✓	2262.22	18.36	2280.58	0.139 ✓
PZ080+PZ094	1355.68	84.52	1440.20	0.083 ✓	2813.81	18.36	2832.18	0.173 ✓
PZ086+PZ087	1543.75	126.79	1670.54	0.096 ✓	139.19	0.00	139.19	0.008 ✓
PZ090+PZ082+PZ084	3645.26	169.05	3814.31	0.220 ✓	2065.04	12.05	2077.09	0.127 ✓
PZ088+PZ095	1448.98	84.52	1533.50	0.089 ✓	2926.06	12.05	2938.10	0.179 ✓
PZ081+PZ093	297.61	0.00	297.61	0.017 ✓	330.78	0.00	330.78	0.020 ✓
TOPLAM			14941.45				11477.58	

Perde taban moment oranı :

$$X \text{ yönü } \alpha_m = 14941.45 / 17311.85 = 0.86$$

$$Y \text{ yönü } \alpha_m = 11477.58 / 16413.09 = 0.7$$

### 9.1.1.5. Güçlendirme-1 için maliyet hesabı

Çizelge 9.11. Güçlendirme-1 için keşif özeti

Birim Fiyat Tarifi	Birim	Birim Fiyat (TL)	Miktar	Tutar (TL)
C30/37 Hazır Beton	m <sup>3</sup>	291.94	87.2	25457.17
Düz Yüzeyleli Betonarme Kalıbı	m <sup>2</sup>	82.78	503.2	41654.9
8-12 mm Betonarme Demiri	ton	10700	6.2	66340
14-50 mm Nervürlü Betonarme Demiri	ton	10500	0.2	2100
Nakliye % 10				13555.21
<b>Toplam</b>				149107.3
Kdv % 18				26839.31
<b>Toplam</b>				175946.6
Aylık Artış % 1 × 11				19354.12
<b>Genel Toplam</b>				<b>195300.7</b>



2021 yılı Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Mimarlık ve Mühendislik Bedellerinin Hesabında Kullanılacak Yapı Yaklaşık Birim Maliyetlerine göre, III. A grubu yapılarda yaklaşık birim maliyet 1360 TL'dir. Yapının toplam alanı yaklaşık  $5 \times (41.25 \times 20.5) + 13 \times 7.4 = 4324.33 \text{ m}^2$ 'dir. Buradan hareketle mevcut binanın yeniden yapılması durumunda maliyeti,  $4324.33 \times 1360 = 5,881,088.8 \text{ TL}$ 'dir. Bu değer yaklaşık % 40'ının kaba inşaat kısmının maliyeti olduğu göz önüne alındığında çıkan sonuç; 2,352,435.52 TL'dir. Güçlendirmede esas olan, güçlendirme için gerekli olan miktarın, binanın kaba inşaatının yeniden yapım masrafının toplamının % 40'ından küçük olması gerektiğidir. Bu durum sağlanmadığı zaman, ekonomik bir yaklaşım söz konusu olmaz ve yapının yıkılıp tekrar yapılması kararına varılır.

Güçlendirme-1 için  $2,352,435.52 \times 0.4 = 940,974.21 \text{ TL} > 195,300.7 \text{ TL}$

Yukarıdaki hesaptan hareketle, binanın güçlendirme maliyeti, bu güçlendirme önerisi için, kaba inşaat maliyetinden oldukça düşük çıkmıştır. Oran olarak bakıldığında ise kaba inşaatın yaklaşık olarak % 20.76'sına denk geldiği görülmüştür ve bu güçlendirme önerisinin ekonomik bir çözüm olduğu sonucuna varılmıştır.

Ayrıca bu güçlendirme önerisinde  $1 \text{ m}^3$  betonarme perde maliyeti yaklaşık olarak 2786.03 TL olarak bulunmuştur.

### 9.1.2. Güçlendirme-1 için yapının DD-3 deprem yer hareketi düzeyine göre performans analizi

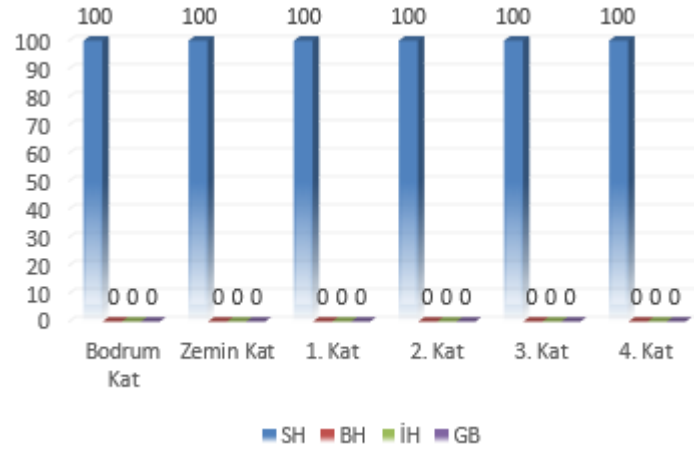
Yapının performansının sonucu aşağıda Şekil 9.13'te verilmiştir.

**BINA PERFORMANS SONUCU:**  
Kiriş Belirgin Hasar oranı=%0.0<=%20 Sınırlı Hasar ✓

**Şekil 9.13.** Güçlendirme-1 için DD-3 deprem yer hareketi düzeyine göre performans analizi bina performans sonucu

### 9.1.2.1. Güçlendirme-1 için yapının hasar durumları

Bütün yönlerde DD-3 deprem yer hareketi için yapı elemanlarının tamamının sınırlı hasar (SH) bölgesinde olduğu gözlenmiştir. Güçlendirme-1 önerisi için yapının kolon ve kirişlerinin hasar durumları yüzdesel olarak aşağıdaki grafikte verilmiştir.



Şekil 9.14. Güçlendirme-1 için tüm yönler kolon-kiriş hasar grafiği

### 9.1.2.2. Yapı düzensizliklerinin kontrolü

Güçlendirme-1 önerisinde yapıya güçlendirme perdeleri eklenmiş olup yapının düzensizlik kontrolleri, STA4-CAD programı yardımıyla, çok modlu nonlineer analiz yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Sonuçlar her yön için aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir (Çizelge 9.12, Çizelge 9.13, Çizelge 9.14).

Çizelge 9.12. Güçlendirme-1 için A1 (burulma düzensizliği), B2 (yumuşak kat) düzensizliklerinin kontrolü (X yönü)

Kat	$\Delta X$ düst (m)	$\Delta X$ dalt (m)	$\Delta X$ ort	nbi	nki	$R/I \cdot \Delta x/h$	$\theta_i$	kat tipi
6	0.0016321	0.0016774	0.0016548	1.01	0.00	0.00160 ✓	0.00107 ✓	Normal kat
5	0.0011756	0.0012757	0.0012256	1.04	0.97	0.00159 ✓	0.00179 ✓	Normal kat
4	0.0013322	0.0014419	0.0013871	1.04	1.13	0.00180 ✓	0.00247 ✓	Normal kat
3	0.0013640	0.0014692	0.0014166	1.04	1.02	0.00184 ✓	0.00295 ✓	Normal kat
2	0.0011926	0.0012831	0.0012379	1.04	0.87	0.00160 ✓	0.00301 ✓	Normal kat
1	0.0005182	0.0004978	0.0005080	1.02	0.00	0.00056 ✓	0.00000 ✓	Bodrum kat

**Çizelge 9.13.** Güçlendirme-1 için A1 (burulma düzensizliği), B2 (yumuşak kat) düzensizliklerinin kontrolü (Y yönü)

Kat	$\Delta Y_{dsol}$ (m)	$\Delta Y_{dsağ}$ (m)	$\Delta Y_{ort}$	nbi	nki	$R/I \cdot \Delta y/h$	$\theta_i$	kat tipi
6	0.0019273	0.0032238	0.0025755	1.25	0.00	0.00307 ✓	0.00164 ✓	Normal kat
5	0.0017820	0.0010795	0.0014308	1.25	0.73	0.00223 ✓	0.00229 ✓	Normal kat
4	0.0020111	0.0012532	0.0016321	1.23	1.14	0.00251 ✓	0.00310 ✓	Normal kat
3	0.0020833	0.0013193	0.0017013	1.22	1.04	0.00260 ✓	0.00376 ✓	Normal kat
2	0.0018761	0.0012313	0.0015537	1.21	0.91	0.00235 ✓	0.00399 ✓	Normal kat
1	0.0011918	0.0010646	0.0011282	1.06	0.00	0.00129 ✓	0.00000 ✓	Bodrum kat

**Çizelge 9.14.** Güçlendirme-1 için B1 (zayıf kat) düşey doğrultudaki düzensizliklerin kontrolü

Kat	$A_w$	$A_{gx}$	$A_{gy}$	$A_{kx}$	$A_{ky}$	$\Sigma A_{ex}$	$\Sigma A_{ey}$	$n_{cix}$	$n_{ciy}$	AÇIKLAMA
6	2.97	2.50	1.56	1.43	0.70	5.68	4.63	1.00	1.00	üst kat ✓
5	12.65	9.41	6.28	14.50	10.05	24.23	20.44	4.26	4.41	Düzenli ✓
4	12.65	9.41	6.28	14.50	9.35	24.23	20.33	1.00	0.99	Düzenli ✓
3	12.65	9.41	6.28	15.06	10.40	24.32	20.49	1.00	1.01	Düzenli ✓
2	12.95	9.41	6.28	14.92	10.77	24.60	20.84	1.01	1.02	Düzenli ✓
1	12.95	25.43	10.24	0.00	0.00	38.38	23.19	1.56	1.11	bodrum kat

### 9.1.2.3. Kat deprem deplasmanları

**Çizelge 9.15.** Güçlendirme-1 kat deprem deplasman değerleri

Kat no	9. yükleme		10. yükleme		11. yükleme		12. yükleme	
	$\delta x$ (m)	$\theta z$ (rad)	$\delta x$ (m)	$\theta z$ (rad)	$\delta y$ (m)	$\theta z$ (rad)	$\delta y$ (m)	$\theta z$ (rad)
6	0.0074163	0.0000284	0.0074163	0.0000284	-0.011028	-0.000040	-0.011028	-0.000040
5	0.0057357	0.0000214	0.0057357	0.0000214	-0.007287	0.0000726	-0.007287	0.0000726
4	0.0045229	0.0000157	0.0045229	0.0000157	-0.005891	0.0000556	-0.005891	0.0000556
3	0.0031476	0.0000094	0.0031476	0.0000094	-0.004304	0.0000372	-0.004304	0.0000372
2	0.0017389	0.0000034	0.0017389	0.0000034	-0.002655	0.0000187	-0.002655	0.0000187
1	0.0005090	-0.000001	0.0005090	-0.000001	-0.001130	0.0000031	-0.001130	0.0000031

Deprem yapı salınıımı:  $x= 0.00036$   $y= 0.00053$

**Çizelge 9.16.** Güçlendirme-1 için maksimum deprem deplasmanı (mm)

Kat	$H_i$ (m)	$u_{iX}$	$u_{iY}$
6	20.700	7.4	11.0
5	16.500	5.7	7.3
4	13.300	4.5	5.9
3	10.100	3.1	4.3
2	6.900	1.7	2.7
1	3.700	0.5	1.1

### 9.1.2.4. Deprem perdeleri taban moment kontrolü

Çizelge 9.17. Kat deprem yük ve momenti (tm)

Kat	H (m)	F <sub>x</sub>	F <sub>x</sub> . H	H (m)	F <sub>y</sub>	F <sub>y</sub> . H	
6	17.00	48.82	829.88	17.00	49.61	843.33	
5	12.80	167.97	2149.97	12.80	148.90	1905.95	
4	9.60	128.42	1232.85	9.60	125.66	1206.30	
3	6.40	93.45	598.08	6.40	89.70	574.08	
2	3.20	64.28	205.68	3.20	61.76	197.64	
1	BODRUM	-	-	BODRUM	-	-	
		502.93	5016.46			475.63	4727.31

Çizelge 9.18. Perde taban momenti (tm)

Perde	M <sub>x</sub>	Σ M <sub>xk</sub> =	Σ M <sub>xr</sub>	M/M <sub>0</sub> <1/3	M <sub>y</sub>	Σ M <sub>yk</sub> =	Σ M <sub>yr</sub>	M/M <sub>0</sub> <1/3
SZ002	132.48	375.42	507.90	0.101 ✓	-	-	-	-
SZ044	-	-	-	-	51.05	121.32	172.37	0.036 ✓
PZ091	-	-	-	-	34.64	27.90	62.54	0.013 ✓
PZ083	56.85	50.26	107.11	0.021 ✓	-	-	-	-
PZ085	57.77	50.45	108.22	0.022 ✓	-	-	-	-
PZ092	-	-	-	-	11.10	7.26	18.37	0.004 ✓
PZ078+PZ079+PZ089	1043.99	24.53	1068.52	0.213 ✓	652.27	5.30	657.56	0.139 ✓
PZ080+PZ094	392.56	24.53	417.09	0.083 ✓	808.55	5.30	813.84	0.172 ✓
PZ086+PZ087	447.14	36.79	483.94	0.096 ✓	39.74	0.00	39.74	0.008 ✓
PZ090+PZ082+PZ084	1056.62	49.06	1105.68	0.220 ✓	595.90	3.44	599.33	0.127 ✓
PZ088+PZ095	419.57	24.53	444.10	0.089 ✓	840.51	3.44	843.94	0.179 ✓
PZ081+PZ093	86.19	0.00	86.19	0.017 ✓	95.31	0.00	95.31	0.020 ✓
TOPLAM			4328.75				3303.01	

Perde taban moment oranı :

$$X \text{ yönü } \alpha_m = 4328.75 / 5016.46 = 0.86$$

$$Y \text{ yönü } \alpha_m = 3303.01 / 4727.31 = 0.7$$

## 9.2. İkinci Güçlendirme Önerisi

Bu güçlendirme önerisinde yapıya hem betonarme perde ilavesi yapılmış olup hem de gevrek hasarlı bazı kolonlar FRP ile sarılarak yapının istenilen deprem performans hedeflerine ulaşması sağlanmıştır. Yapıya eklenen perdeler yine mümkün olduğunca yapının dış akslarına yerleştirilmiş olup bir önceki önerideki yerlerden biraz daha farklı kısımlara yerleştirilerek yapının davranışında ne gibi değişiklikler olduğunu gözlemlemek amaçlanmıştır.

Yapının üç boyutlu hali Şekil 9.18 ve Şekil 9.19’da görülmektedir. Çalışmanın ilerleyen kısımlarında kolaylık olması için bu güçlendirme önerisine kısaca “Güçlendirme-2” adı verilmiştir.

Güçlendirme projesi kapsamında yapıya her kat için 5 adet güçlendirme perdesi ilavesi yapılmıştır. İlave edilen güçlendirme perdelerinden 2 tanesi X doğrultusunda, 3 tanesi ise Y doğrultusunda yerleştirilmiştir. Yapının mevcut durumda X doğrultusunda % 1.05 oranında perde alanı bulunmaktadır (kat alanı/perde alanları toplamı). Bu oran perde ilavesi sonucu % 1.22’ye yükseltilmiştir. Y doğrultusunda ise mevcut durumda % 0.75 oranında perde alanı bulunmaktadır. Bu oran perde ilavesi sonucu % 1.2’ye yükseltilmiştir. Bu kararın alınmasında yapının perde alanı bakımından Y yönünde nispeten zayıf olması etkili olmuştur.

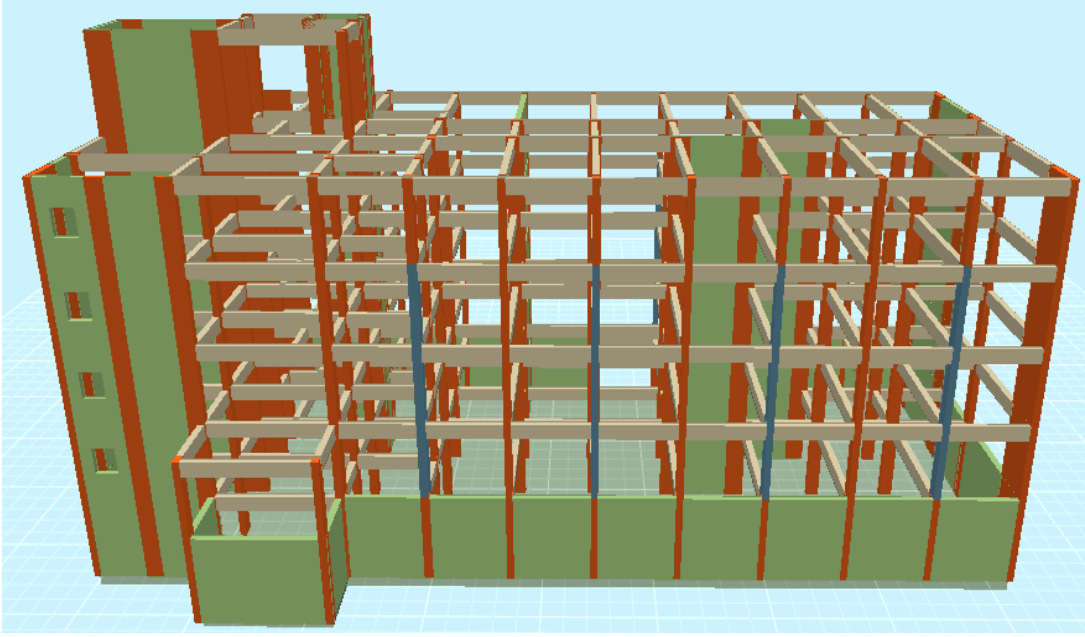
Aşağıda Şekil 9.17’de yeşil işaretli kısımlarda bulunan kirişler C30 beton sınıfına, S420 çelik donatı sınıfına sahip betonarme perde elemanlarına çevrilmiştir. Bu işlem yapının bodrum katı ve 4. normal katı hariç olmak üzere uygulanmıştır. Ayrıca işaretlenmiş kolonların gevrek hasar aldığı tespit edilmiş ve bu kolonlara bir kat TeknoWrap-600 FRP sarımı yapılmıştır. Bu işlem ise zemin kat, 1. normal kat ve 2. normal katta uygulanmıştır, (sadece 4. normal katta S6014 kolonu gevrek hasarlı olduğu için aynı işlem ona da uygulanmıştır). FRP sarımı yapılan kolonlar kat planında ise sarı renk ile işaretlenmiştir.

Lifli polimer ismi		TeknoWrap 600
Lifli polimer kalınlığı	tf (mm)	0.34
Lifli polimer elastisite modulu	Ef (MPa)	230000
Lifli polimer kopma uzaması	Efu	0.021
Lifli polimer çekme dayanımı	fy (MPa)	4900

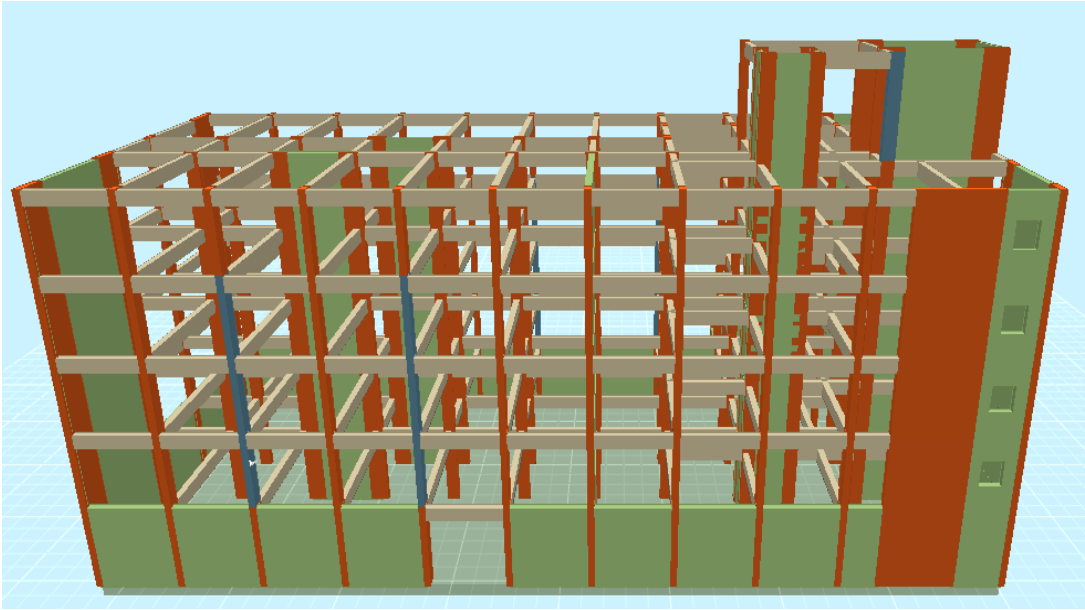
Şekil 9.15. TeknoWrap-600 teknik özellikleri

Şekil 9.16. TeknoWrap-600’ün programda tanımlanması





**Şekil 9.18.** Mevcut yapıya yeni perde elemanların eklenmesi ve bazı kolonlara FRP sarılması sonucu yapının önden görünüşü



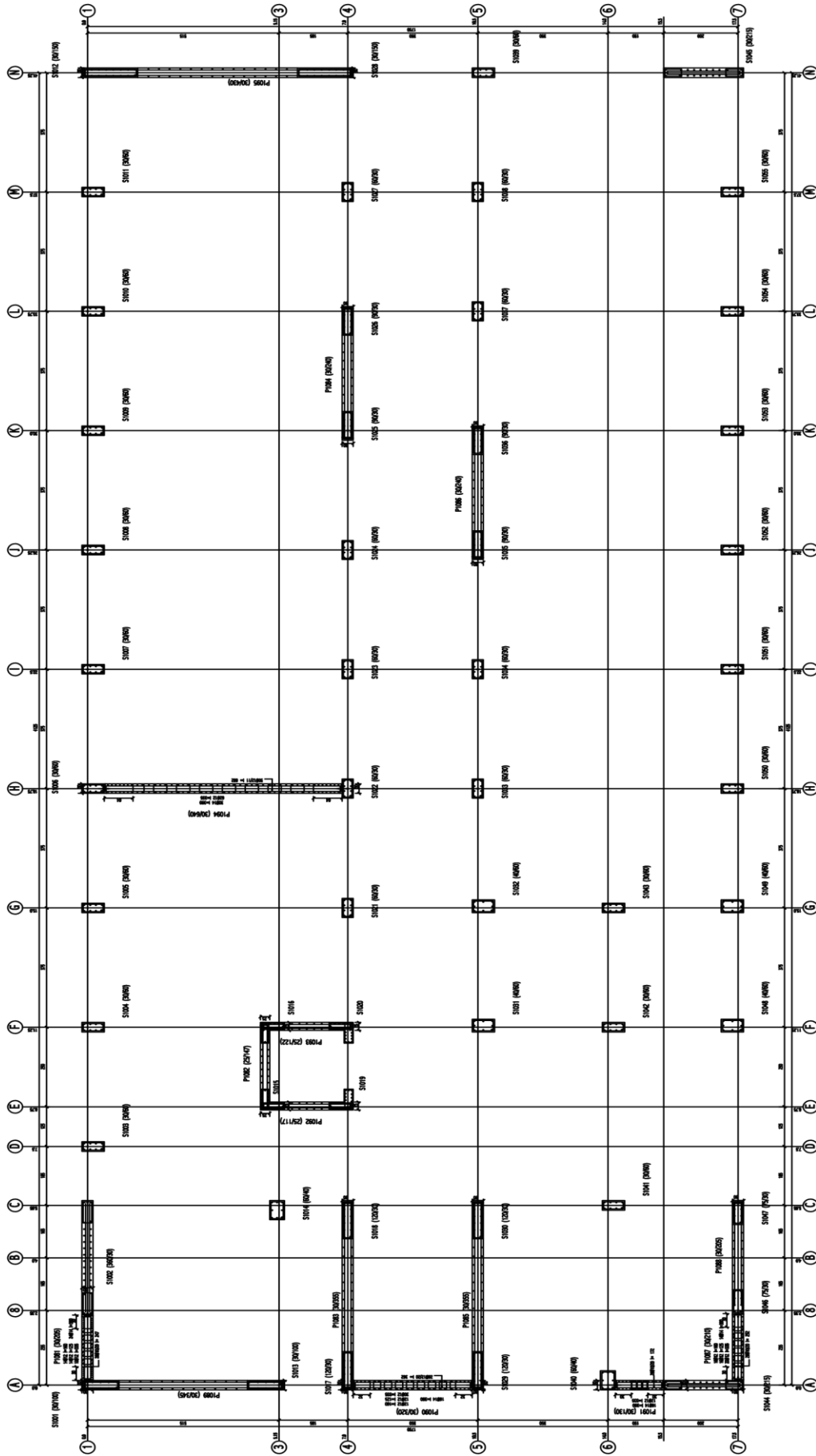
**Şekil 9.19.** Mevcut yapıya yeni perde elemanların eklenmesi ve bazı kolonlara FRP sarılması sonucu yapının arkadan görünüşü

FRP sarımı yapılan kolonlar Şekil 9.18 ve Şekil 9.19'da mavi renkli olarak gözükmektedir.

Çizelge 9.19. Yapıya eklenen güçlendirme perdelerinin donatıları

Kat No	Bodrum Kat	Zemin Kat	1. Normal Kat	2. Normal Kat	3. Normal Kat	4. Normal Kat
Perde / Ebat	P1081 (30/205)	P2081 (30/205)	P3081 (30/205)	P4081 (30/205)	P5081 (30/205)	
Düşey Donatı	2x9Ø12	2x12Ø14+2x9Ø12	2x12Ø14+2x9Ø12	2x12Ø14+2x9Ø12	2x12Ø14+2x9Ø12	
Yatay Donatı	Ø10/20	Ø10/20	Ø10/20	Ø10/20	Ø10/20	
Perde / Ebat	P1087 (30/210)	P2087 (30/210)	P3087 (30/210)	P4087 (30/210)	P5087 (30/210)	
Düşey Donatı	2x12Ø18	2x7Ø14+2x10Ø12	2x7Ø14+2x10Ø12	2x7Ø14+2x10Ø12	2x7Ø14+2x10Ø12	
Yatay Donatı	Ø10/20	Ø10/20	Ø10/20	Ø10/20	Ø10/20	
Perde / Ebat	P1090 (30/320)	P2090 (30/320)	P3090 (30/320)	P4090 (30/320)	P5081 (30/320)	P6081 (30/320)
Düşey Donatı	2x18Ø14	2x8Ø14+2x15Ø12	2x8Ø14+2x15Ø12	2x8Ø14+2x15Ø12	2x8Ø14+2x15Ø12	2x8Ø14+2x15Ø12
Yatay Donatı	Ø12/15	Ø12/20	Ø12/20	Ø10/20	Ø10/20	Ø10/15
Perde / Ebat	P1091 (30/130)	P2045 (30/210)	P3045 (30/210)	P4045 (30/210)	P5045 (30/210)	
Düşey Donatı	2x6Ø12	2x8Ø14+2x6Ø12	2x8Ø14+2x6Ø12	2x8Ø14+2x6Ø12	2x8Ø14+2x6Ø12	
Yatay Donatı	Ø10/20	Ø10/20	Ø10/20	Ø10/20	Ø10/20	
Perde / Ebat	P1094 (30/640)	P2048 (30/155)	P3048 (30/155)	P4048 (30/155)	P5058 (30/155)	
Düşey Donatı	2x41Ø14+2x31Ø12	2x37Ø14+2x31Ø12	2x15Ø14+2x31Ø12	2x15Ø14+2x31Ø12	2x15Ø14+2x31Ø12	
Yatay Donatı	Ø12/10	Ø12/10	Ø12/10	Ø10/20	Ø10/20	





1. NORMAL KAT KOLON APLİKASYON PLANI (1/50)

Şekil 9.20. Güçlendirme-2 normal kat kolon aplikasyon planı





**BINA PERFORMANS SONUCU:**

Kontrollü hasar performans bölgesi durumu, DD1 ileri performans hedefi sağlanmıştır.

Kontrollü hasar performans bölgesi yeterlilik kontrolü:

Kiriş Hasar oranı=(IH=%33.3<=%35 ✓), (GB=%0 ✓)

Kolon Hasar oranı=(IH=%0.0<=%20 ✓), (GB=%0 ✓)

Ust kat Vc oranı=(IH=%0.0<=%40 ✓), (GB=%0 ✓)

Plastiklesen kolon Vc oranı=(IH+GB=%0.0<=%30 ✓)

**Şekil 9.23.** Güçlendirme-2 için DD-1 deprem yer hareketi düzeyine göre performans analizi bina performans sonucu

### 9.2.1.1. Güçlendirme-2 için yapının hasar durumları

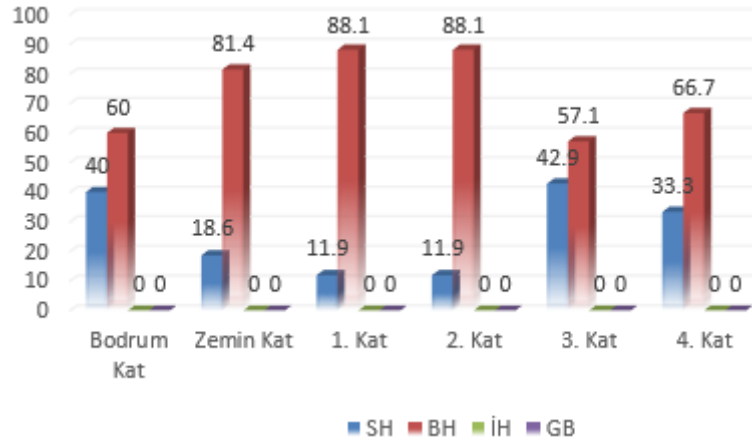
Güçlendirme-2 önerisi için yapının taşıyıcı elemanlarının hasar durumları aşağıda Çizelge 9.20’de verilmiştir. Yapının tabloda belirtilmeyen diğer taşıyıcı elemanlarının (kolon, kiriş, perde) tamamı sınırlı hasar (SH) bölgesindedir.

**Çizelge 9.20.** Güçlendirme-2 için yapı taşıyıcı elemanlarının hasar durumları

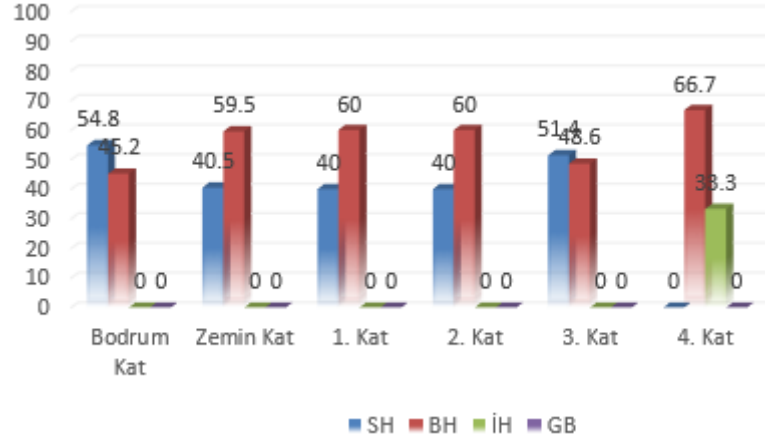
Bodrum Kat	Zemin Kat	1. Normal Kat
Kiriş	Kiriş	Kiriş
K1003 (BH) / K1007 (BH) / K1008 (BH) / K1009 (BH) K1010 (BH) / K1011 (BH) / K1012 (BH) / K1013 (BH) K1015 (BH) / K1016 (BH) / K1017 (BH) / K1018 (BH) K1019 (BH) / K1020 (BH) / K1024 (BH) / K1027 (BH) K1028 (BH) / K1029 (BH) / K1032 (BH) / K1033 (BH) K1034 (BH) / K1035 (BH) / K1036 (BH) / K1037 (BH) K1038 (BH) / K1046 (BH) / K1049 (BH) / K1052 (BH) K1055 (BH)	K2001 (BH) / K2002 (BH) / K2003 (BH) / K2004 (BH) K2005 (BH) / K2006 (BH) / K2007 (BH) / K2008 (BH) K2009 (BH) / K2010 (BH) / K2012 (BH) / K2014 (BH) K2015 (BH) / K2016 (BH) / K2017 (BH) / K2018 (BH) K2019 (BH) / K2020 (BH) / K2021 (BH) / K2022 (BH) K2024 (BH) / K2025 (BH) / K2026 (BH) / K2027 (BH) K2028 (BH) / K2029 (BH) / K2033 (BH) / K2035 (BH) K2036 (BH) / K2037 (BH) / K2038 (BH) / K2039 (BH) K2040 (BH) / K2041 (BH) / K2042 (BH) / K2044 (BH) K2045 (BH) / K2047 (BH) / K2048 (BH) / K2049 (BH) K2050 (BH) / K2053 (BH) / K2054 (BH) / K2055 (BH) K2056 (BH) / K2057 (BH) / K2058 (BH) / K2059 (BH) K2060 (BH) / K2063 (BH) / K2065 (BH) / K2068 (BH) K2071 (BH) / K2074 (BH) / K2077 (BH) / K2079 (BH) K2096 (BH)	K3001 (BH) / K3002 (BH) / K3003 (BH) / K3004 (BH) K3005 (BH) / K3006 (BH) / K3007 (BH) / K3008 (BH) K3009 (BH) / K3010 (BH) / K3012 (BH) / K3014 (BH) K3015 (BH) / K3016 (BH) / K3017 (BH) / K3018 (BH) K3019 (BH) / K3020 (BH) / K3021 (BH) / K3022 (BH) K3024 (BH) / K3025 (BH) / K3026 (BH) / K3027 (BH) K3028 (BH) / K3029 (BH) / K3030 (BH) / K3033 (BH) K3035 (BH) / K3036 (BH) / K3037 (BH) / K3038 (BH) K3039 (BH) / K3040 (BH) / K3041 (BH) / K3042 (BH) K3043 (BH) / K3044 (BH) / K3046 (BH) / K3047 (BH) K3048 (BH) / K3051 (BH) / K3052 (BH) / K3053 (BH) K3054 (BH) / K3055 (BH) / K3056 (BH) / K3057 (BH) K3058 (BH) / K3060 (BH) / K3062 (BH) / K3065 (BH) K3068 (BH) / K3071 (BH) / K3074 (BH) / K3076 (BH) K3077 (BH)
Kolon	Kolon	Kolon
S1021 (BH) / S1038 (BH)	S2021 (BH) / S2023 (BH) / S2024 (BH) / S2027 (BH) S2033 (BH) / S2034 (BH) / S2037 (BH) / S2038 (BH) S2041 (BH)	S3014 (BH) / S3038 (BH)
Perde	Perde	Perde
P1057 (BH) / P1060 (BH) / P1061 (BH) / P1077 (BH) P1081 (BH) / P1082 (BH) / P1083 (BH) / P1085 (BH) P1088 (BH) / P1089 (BH) / P1090 (BH) / P1091 (BH) P1093 (BH) / P1094 (BH)	P2082 (BH) / P2083 (BH) / P2085 (BH) / P2088 (BH) P2089 (BH) / P2090 (BH) / P2091 (BH) / P2092 (BH) P2093 (BH) / P2095 (BH)	P3082 (BH) / P3083 (BH) / P3085 (BH) / P3088 (BH) P3089 (BH) / P3090 (BH) / P3091 (BH) / P3092 (BH) P3093 (BH) / P3095 (BH)

2. Normal Kat	3. Normal Kat	4. Normal Kat
Kiriş	Kiriş	Kiriş
K4001 (BH) / K4002 (BH) / K4003 (BH) / K4004 (BH) K4005 (BH) / K4006 (BH) / K4007 (BH) / K4008 (BH) K4009 (BH) / K4010 (BH) / K4012 (BH) / K4014 (BH) K4015 (BH) / K4016 (BH) / K4017 (BH) / K4018 (BH) K4019 (BH) / K4020 (BH) / K4021 (BH) / K4022 (BH) K4024 (BH) / K4025 (BH) / K4026 (BH) / K4027 (BH) K4028 (BH) / K4029 (BH) / K4030 (BH) / K4033 (BH) K4034 (BH) / K4035 (BH) / K4036 (BH) / K4037 (BH) K4038 (BH) / K4039 (BH) / K4040 (BH) / K4041 (BH) K4042 (BH) / K4043 (BH) / K4044 (BH) / K4046 (BH) K4047 (BH) / K4048 (BH) / K4051 (BH) / K4052 (BH) K4053 (BH) / K4054 (BH) / K4055 (BH) / K4056 (BH) K4057 (BH) / K4058 (BH) / K4060 (BH) / K4062 (BH) K4065 (BH) / K4068 (BH) / K4071 (BH) / K4074 (BH) K4076 (BH) / K4077 (BH)	K5001 (BH) / K5004 (BH) / K5010 (BH) / K5011 (BH) K5012 (BH) / K5014 (BH) / K5015 (BH) / K5016 (BH) K5017 (BH) / K5018 (BH) / K5019 (BH) / K5020 (BH) K5021 (BH) / K5022 (BH) / K5024 (BH) / K5025 (BH) K5026 (BH) / K5027 (BH) / K5028 (BH) / K5029 (BH) K5030 (BH) / K5033 (BH) / K5042 (BH) / K5043 (BH) K5044 (BH) / K5046 (BH) / K5047 (BH) / K5048 (BH) K5051 (BH) / K5052 (BH) / K5053 (BH) / K5054 (BH) K5055 (BH) / K5056 (BH) / K5057 (BH) / K5060 (BH) K5062 (BH) / K5068 (BH) / K5076 (BH) / K5077 (BH)	K6001 (BH) / K6003 (BH) / K6004 (BH) / K6005 (BH) K6006 (İH)
Kolon	Kolon	Kolon
	S5007 (BH) / S5008 (BH) / S5009 (BH) / S5010 (BH) S5011 (BH) / S5014 (BH) / S5024 (BH) / S5037 (BH) S5050 (BH) / S5051 (BH) / S5052 (BH) / S5053 (BH) S5054 (BH)	S6014 (BH) / S6031 (BH)
Perde	Perde	Perde
P4082 (BH) / P4083 (BH) / P4085 (BH) / P4088 (BH) P4089 (BH) / P4092 (BH) / P4093 (BH)	P5082 (BH) / P5089 (BH) / P5093 (BH)	P6082 (BH)

Güçlendirme-2 önerisi için yapının kirişlerinin hasar durumları yüzdesel olarak aşağıdaki grafiklerde verilmiştir.

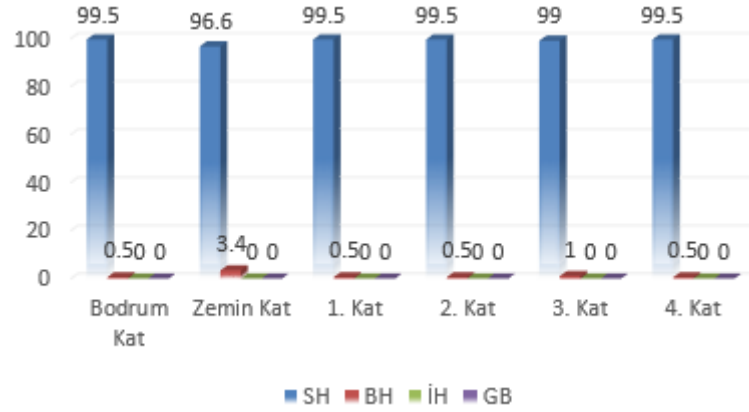


Şekil 9.24. Güçlendirme-2 için X yönü kiriş hasar grafiği

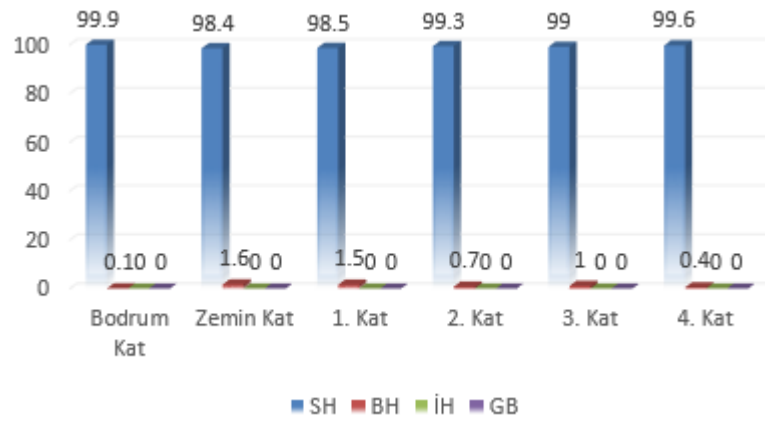


Şekil 9.25. Güçlendirme-2 için Y yönü kiriş hasar grafiği

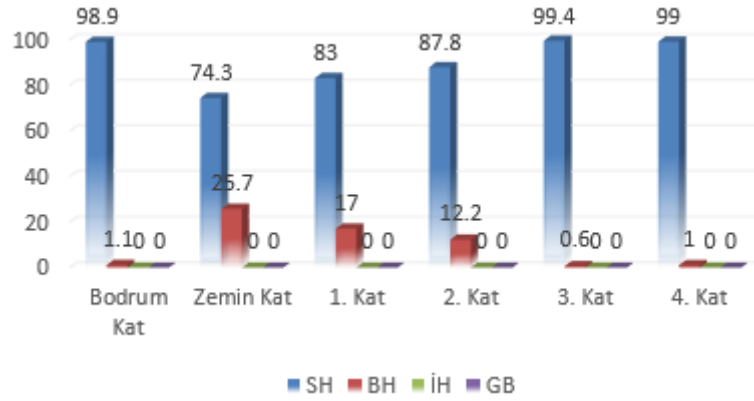
Güçlendirme-2 önerisi için yapının kolonlarının hasar durumları yüzdesel olarak aşağıdaki grafiklerde verilmiştir.



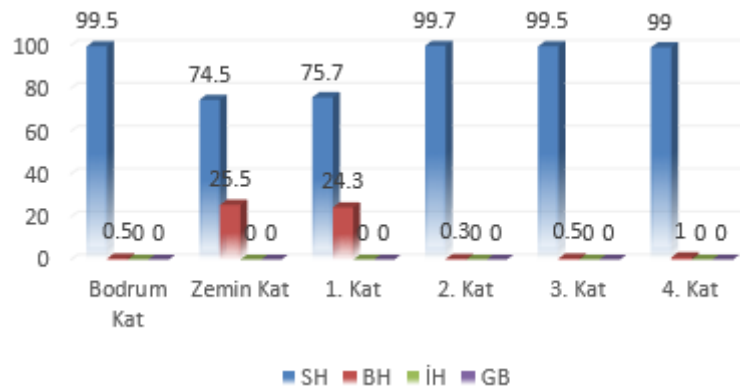
Şekil 9.26. Güçlendirme-2 için -X yönü kolon hasar grafiği



Şekil 9.27. Güçlendirme-2 için +X yönü kolon hasar grafiği



Şekil 9.28. Güçlendirme-2 için -Y yönü kolon hasar grafiği



Şekil 9.29. Güçlendirme-2 için +Y yönü kolon hasar grafiği

### 9.2.1.2. Yapı düzensizliklerinin kontrolü

Güçlendirme-2 önerisinde yapıya hem güçlendirme perdeleri eklenmiş olup hem de gevrek hasarlı bazı kolonlara FRP sarılmıştır; yapının düzensizlik kontrolleri, STA4-CAD programı yardımıyla, çok modlu nonlineer analiz yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Sonuçlar her yön için aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir (Çizelge 9.21, Çizelge 9.22, Çizelge 9.23).

Çizelge 9.21. Güçlendirme-2 için A1 (burulma düzensizliği), B2 (yumuşak kat) düzensizliklerinin kontrolü (X yönü)

Kat	$\Delta X$ üst (m)	$\Delta X$ alt (m)	$\Delta X$ ort	nbi	nki	R/I · $\Delta x$ /h	$\theta_i$	kat tipi
6	0.0065238	0.0067344	0.0066291	1.02	0.00	0.00641 ✓	0.00135 ✓	Normal kat
5	0.0051811	0.0053396	0.0052603	1.02	1.04	0.00667 ✓	0.00230 ✓	Normal kat
4	0.0059493	0.0061453	0.0060473	1.02	1.15	0.00768 ✓	0.00323 ✓	Normal kat
3	0.0061377	0.0063483	0.0062430	1.02	1.03	0.00794 ✓	0.00390 ✓	Normal kat
2	0.0052440	0.0054504	0.0053472	1.02	0.86	0.00681 ✓	0.00391 ✓	Normal kat
1	0.0017372	0.0016351	0.0016861	1.03	0.00	0.00188 ✓	0.00000 ✓	Bodrum kat

**Çizelge 9.22.** Güçlendirme-2 için A1 (burulma düzensizliği), B2 (yumuşak kat) düzensizliklerinin kontrolü (Y yönü)

Kat	$\Delta Y_{dsol}$ (m)	$\Delta Y_{dsağ}$ (m)	$\Delta Y_{ort}$	nbi	nki	$R/I \cdot \Delta y/h$	$\theta_i$	kat tipi
6	0.0063869	0.0108712	0.0086290	1.26	0.00	0.01035 ✓	0.00172 ✓	Normal kat
5	0.0049398	0.0052496	0.0050947	1.03	0.77	0.00656 ✓	0.00225 ✓	Normal kat
4	0.0053569	0.0058909	0.0056239	1.05	1.10	0.00736 ✓	0.00293 ✓	Normal kat
3	0.0053184	0.0058973	0.0056078	1.05	1.00	0.00737 ✓	0.00341 ✓	Normal kat
2	0.0046933	0.0048051	0.0047492	1.01	0.85	0.00601 ✓	0.00338 ✓	Normal kat
1	0.0033078	0.0027379	0.0030229	1.09	0.00	0.00358 ✓	0.00000 ✓	Bodrum kat

**Çizelge 9.23.** Güçlendirme-2 için B1 (zayıf kat) düşey doğrultudaki düzensizliklerin kontrolü

Kat	$A_w$	$A_{gx}$	$A_{gy}$	$A_{lx}$	$A_{ly}$	$\Sigma A_{ex}$	$\Sigma A_{ey}$	ncix	nciy	AÇIKLAMA
6	2.97	2.50	1.56	1.43	0.70	5.68	4.63	1.00	1.00	üst kat ✓
5	12.00	6.88	7.48	13.96	8.88	20.97	20.82	3.69	4.49	Düzenli ✓
4	12.00	6.88	7.48	13.96	8.18	20.97	20.71	1.00	0.99	Düzenli ✓
3	12.00	6.88	7.48	14.52	9.23	21.06	20.87	1.00	1.01	Düzenli ✓
2	12.30	6.88	7.48	14.38	9.60	21.34	21.22	1.01	1.02	Düzenli ✓
1	12.30	25.43	12.81	0.00	0.00	37.73	25.11	1.77	1.18	bodrum kat

### 9.2.1.3. Kat deprem deplasmanları

Deprem hasarı yer değiştirme ve şekil değiştirme ile doğrudan ilişkilendirilebilir. Katın yaptığı deplasman, katın taban kısmına göre yanal yönde yer değiştirmesidir. Güçlendirme-2 için yapının her iki doğrultudaki kat deplasmanları aşağıda Çizelge 9.24'te verilmiştir.

**Çizelge 9.24.** Güçlendirme-2 kat deprem deplasman değerleri

Kat no	9. yükleme		10. yükleme		11. yükleme		12. yükleme	
	$\delta x$ (m)	$\theta z$ (rad)	$\delta x$ (m)	$\theta z$ (rad)	$\delta y$ (m)	$\theta z$ (rad)	$\delta y$ (m)	$\theta z$ (rad)
6	0.0312080	0.0000700	0.0312080	0.0000700	-0.031669	-0.000413	-0.031669	-0.000413
5	0.0245490	0.0000374	0.0245490	0.0000374	-0.024015	-0.000023	-0.024015	-0.000023
4	0.0192956	0.0000283	0.0192956	0.0000283	-0.018955	-0.000015	-0.018955	-0.000015
3	0.0132574	0.0000171	0.0132574	0.0000171	-0.013372	-0.000002	-0.013372	-0.000002
2	0.0070234	0.0000051	0.0070234	0.0000051	-0.007789	0.0000111	-0.007789	0.0000111
1	0.0016908	-0.000005	0.0016908	-0.000005	-0.003024	0.0000138	-0.003024	0.0000138

Deprem yapı salınımları:  $x= 0.00151$   $y= 0.00153$



Çizelge 9.25. Güçlendirme-2 için maksimum deprem deplasmanı (mm)

Kat	Hi (m)	uiX	uiY
6	20.700	31.2	31.7
5	16.500	24.5	24.0
4	13.300	19.3	19.0
3	10.100	13.3	13.4
2	6.900	7.0	7.8
1	3.700	1.7	3.0

### 9.2.1.4. Deprem perdeleri taban moment kontrolü

Çizelge 9.26. Kat deprem yük ve momenti (tm)

Kat	H (m)	Fx	Fx . H	H (m)	Fy	Fy . H
6	17.00	155.36	2641.16	17.00	158.20	2689.41
5	12.80	563.20	7209.00	12.80	552.69	7074.48
4	9.60	428.67	4115.25	9.60	463.02	4445.03
3	6.40	307.74	1969.51	6.40	320.90	2053.75
2	3.20	207.97	665.51	3.20	214.49	686.37
1	BODRUM	-	-	BODRUM	-	-
		1662.95	16600.43		1709.31	16949.04

Çizelge 9.27. Perde taban momenti (tm)

Perde	Mx	Σ Mxk =	Σ Mxr	M/Mo<1/3	My	Σ Myk =	Σ Myr	M/Mo<1/3
SZ002	706.35	960.86	1667.21	0.100 ✓	-	-	-	-
SZ044	-	-	-	-	114.34	311.36	425.69	0.025 ✓
SZ045	-	-	-	-	293.00	57.63	350.63	0.021 ✓
PZ091	-	-	-	-	84.81	63.34	148.15	0.009 ✓
PZ094	-	-	-	-	2540.97	711.14	3252.11	0.192 ✓
PZ084	258.74	217.78	476.51	0.029 ✓	-	-	-	-
PZ086	261.21	218.64	479.86	0.029 ✓	-	-	-	-
PZ092	-	-	-	-	28.95	17.32	46.27	0.003 ✓
PZ095	-	-	-	-	884.76	175.16	1059.92	0.063 ✓
PZ081+PZ089	2560.96	54.30	2615.26	0.158 ✓	1612.75	13.75	1626.51	0.096 ✓
PZ087+PZ088	1955.88	162.90	2118.77	0.128 ✓	60.80	0.00	60.80	0.004 ✓
PZ090+PZ083+PZ085	4635.78	217.19	4852.98	0.292 ✓	1547.26	0.83	1548.09	0.091 ✓
PZ082+PZ093	380.53	0.00	380.53	0.023 ✓	284.83	0.00	284.83	0.017 ✓
TOPLAM			12591.12				8803.00	

Perde taban moment oranı :

$$X \text{ yönü } \alpha_m = 12591.12 / 16600.43 = 0.76$$

$$Y \text{ yönü } \alpha_m = 8803 / 16949.04 = 0.52$$

### 9.2.1.5. Güçlendirme-2 için maliyet hesabı

Çizelge 9.28. Güçlendirme-2 için keşif özeti

Birim Fiyat Tarifi	Birim	Birim Fiyat (TL)	Miktar	Tutar (TL)
C30/37 Hazır Beton	m <sup>3</sup>	291.94	68.9	20114.67
Düz Yüzeyle Betonarme Kalıbı	m <sup>2</sup>	82.78	400.6	33161.67
8-12 mm Betonarme Demiri	ton	10700	5.8	62060
TeknoWrap-600 (FRP)	m <sup>2</sup>	449.5	88.92	39969.54
Nakliye % 10				15530.59
<b>Toplam</b>				170836.5
Kdv % 18				30750.56
<b>Toplam</b>				201587
Aylık Artış % 1 x 11				22174.57
<b>Genel Toplam</b>				<b>223761.6</b>

2021 yılı Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Mimarlık ve Mühendislik Bedellerinin Hesabında Kullanılacak Yapı Yaklaşık Birim Maliyetlerine göre, III. A grubu yapılarda yaklaşık birim maliyet 1360 TL'dir. Yapının toplam alanı yaklaşık  $5 \times (41.25 \times 20.5) + 13 \times 7.4 = 4324.33$  m<sup>2</sup>'dir. Buradan hareketle mevcut binanın yeniden yapılması durumunda maliyeti,  $4324.33 \times 1360 = 5,881,088.8$  TL'dir. Bu değer yaklaşık % 40'ının kaba inşaat kısmının maliyeti olduğu göz önüne alındığında çıkan sonuç; 2,352,435.52 TL'dir. Güçlendirmede esas olan, güçlendirme için gerekli olan miktarın, binanın kaba inşaatının yeniden yapım masrafının toplamının % 40'ından küçük olması gerektiğidir. Bu durum sağlanmadığı zaman, ekonomik bir yaklaşım söz konusu olmaz ve yapının yıkılıp tekrar yapılması kararına varılır.

Güçlendirme-2 için  $2,352,435.52 \times 0.4 = 940,974.21$  TL > 223,761.6 TL

Yukarıdaki hesaptan hareketle, binanın güçlendirme maliyeti, bu güçlendirme önerisi için, kaba inşaat maliyetinden oldukça düşük çıkmıştır. Oran olarak bakıldığında ise kaba inşaatın yaklaşık olarak % 23.78'ine denk geldiği görülmüştür ve bu güçlendirme önerisinin ekonomik bir çözüm olduğu sonucuna varılmıştır.

Ayrıca bu güçlendirme önerisinde 1 m<sup>3</sup> betonarme perde maliyeti yaklaşık olarak 3372.33 TL olarak bulunmuştur. Bir kolonun (30x60 boyutlarında) FRP ile sarılması için gerekli tutar yaklaşık olarak 2103.66 TL olarak bulunmuştur.

## 9.2.2. Güçlendirme-2 için yapının DD-3 deprem yer hareketi düzeyine göre performans analizi

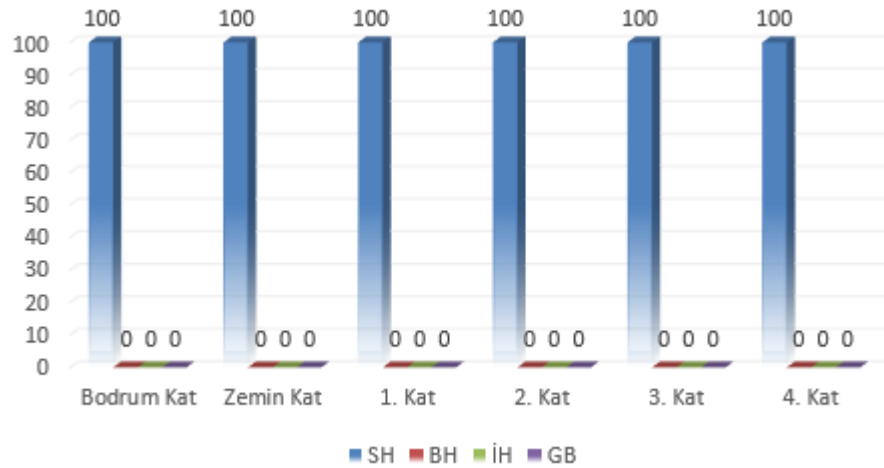
Yapının performansının sonucu aşağıda Şekil 9.30'da verilmiştir.

**BINA PERFORMANS SONUCU:**  
Kiriş Belirgin Hasar oranı=%0.0<=%20 Sınırlı Hasar ✓

Şekil 9.30. Güçlendirme-2 için DD-3 deprem yer hareketi düzeyine göre performans analizi bina performans sonucu

### 9.2.2.1. Güçlendirme-2 için yapının hasar durumları

Bütün yönlerde DD-3 deprem yer hareketi için yapı elemanlarının tamamının sınırlı hasar (SH) bölgesinde olduğu gözlenmiştir. Güçlendirme-2 önerisi için yapının kolon ve kirişlerinin hasar durumları yüzdesel olarak aşağıdaki grafikte verilmiştir.



Şekil 9.31. Güçlendirme-2 için tüm yönler kolon-kiriş hasar grafiği

### 9.2.2.2. Yapı düzensizliklerinin kontrolü

Güçlendirme-2 önerisinde yapıya güçlendirme perdeleri eklenmiş ve bazı kolonlara FRP sarımı yapılmış olup yapının düzensizlik kontrolleri, STA4-CAD programı yardımıyla, çok modlu nonlineer analiz yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Sonuçlar her yön için aşağıdaki çizelgelerde gösterilmiştir (Çizelge 9.29, Çizelge 9.30, Çizelge 9.31).

**Çizelge 9.29.** Güçlendirme-2 için A1 (burulma düzensizliği), B2 (yumuşak kat) düzensizliklerinin kontrolü (X yönü)

Kat	$\Delta X$ düst (m)	$\Delta X$ dalt (m)	$\Delta X$ ort	nbi	nki	$R/I \cdot \Delta x/h$	$\theta_i$	kat tipi
6	0.0019119	0.0019718	0.0019418	1.02	0.00	0.00188 ✓	0.00133 ✓	Normal kat
5	0.0014985	0.0015442	0.0015213	1.02	1.03	0.00193 ✓	0.00230 ✓	Normal kat
4	0.0017158	0.0017722	0.0017440	1.02	1.15	0.00222 ✓	0.00323 ✓	Normal kat
3	0.0017679	0.0018284	0.0017982	1.02	1.03	0.00229 ✓	0.00390 ✓	Normal kat
2	0.0015097	0.0015691	0.0015394	1.02	0.86	0.00196 ✓	0.00390 ✓	Normal kat
1	0.0005095	0.0004798	0.0004947	1.03	0.00	0.00055 ✓	0.00000 ✓	Bodrum kat

**Çizelge 9.30.** Güçlendirme-2 için A1 (burulma düzensizliği), B2 (yumuşak kat) düzensizliklerinin kontrolü (Y yönü)

Kat	$\Delta Y$ dsol (m)	$\Delta Y$ dsağ (m)	$\Delta Y$ ort	nbi	nki	$R/I \cdot \Delta y/h$	$\theta_i$	kat tipi
6	0.0018047	0.0031156	0.0024601	1.27	0.00	0.00297 ✓	0.00167 ✓	Normal kat
5	0.0014307	0.0015106	0.0014706	1.03	0.78	0.00189 ✓	0.00224 ✓	Normal kat
4	0.0015456	0.0016907	0.0016182	1.04	1.10	0.00211 ✓	0.00293 ✓	Normal kat
3	0.0015332	0.0016922	0.0016127	1.05	1.00	0.00212 ✓	0.00341 ✓	Normal kat
2	0.0013621	0.0013879	0.0013750	1.01	0.85	0.00173 ✓	0.00339 ✓	Normal kat
1	0.0009676	0.0008010	0.0008843	1.09	0.00	0.00105 ✓	0.00000 ✓	Bodrum kat

**Çizelge 9.31.** Güçlendirme-2 için B1 (zayıf kat) düşey doğrultudaki düzensizliklerin kontrolü

Kat	$A_w$	$A_{gx}$	$A_{gy}$	$A_{kx}$	$A_{ky}$	$\Sigma A_{ex}$	$\Sigma A_{ey}$	$ncix$	$nciy$	AÇIKLAMA
6	2.97	2.50	1.56	1.43	0.70	5.68	4.63	1.00	1.00	üst kat ✓
5	12.00	6.88	7.48	13.96	8.88	20.97	20.82	3.69	4.49	Düzenli ✓
4	12.00	6.88	7.48	13.96	8.18	20.97	20.71	1.00	0.99	Düzenli ✓
3	12.00	6.88	7.48	14.52	9.23	21.06	20.87	1.00	1.01	Düzenli ✓
2	12.30	6.88	7.48	14.38	9.60	21.34	21.22	1.01	1.02	Düzenli ✓
1	12.30	25.43	12.81	0.00	0.00	37.73	25.11	1.77	1.18	bodrum kat

### 9.2.2.3. Kat deprem deplasmanları

**Çizelge 9.32.** Güçlendirme-2 kat deprem deplasman değerleri

Kat no	9. yükleme		10. yükleme		11. yükleme		12. yükleme	
	$\delta x$ (m)	$\theta z$ (rad)	$\delta x$ (m)	$\theta z$ (rad)	$\delta y$ (m)	$\theta z$ (rad)	$\delta y$ (m)	$\theta z$ (rad)
6	0.0090379	0.0000200	0.0090379	0.0000200	-0.009127	-0.000119	-0.009127	-0.000119
5	0.0070876	0.0000107	0.0070876	0.0000107	-0.006939	-0.000005	-0.006939	-0.000005
4	0.0055683	0.0000081	0.0055683	0.0000081	-0.005478	-0.000004	-0.005478	-0.000004
3	0.0038269	0.0000049	0.0038269	0.0000049	-0.003871	-0.000000	-0.003871	-0.000000
2	0.0020313	0.0000014	0.0020313	0.0000014	-0.002264	0.0000034	-0.002264	0.0000034
1	0.0004960	-0.000001	0.0004960	-0.000001	-0.000884	0.0000040	-0.000884	0.0000040

Deprem yapı salınımı:  $x= 0.00044$   $y= 0.00044$

Çizelge 9.33. Güçlendirme-2 için maksimum deprem deplasmanı (mm)

Kat	Hi (m)	uiX	uiY
6	20.700	9.0	9.1
5	16.500	7.1	6.9
4	13.300	5.6	5.5
3	10.100	3.8	3.9
2	6.900	2.0	2.3
1	3.700	0.5	0.9

### 9.2.2.4. Deprem perdeleri taban moment kontrolü

Çizelge 9.34. Kat deprem yük ve momenti (tm)

Kat	H (m)	Fx	Fx . H	H (m)	Fy	Fy . H
6	17.00	46.18	785.11	17.00	46.54	791.16
5	12.80	161.89	2072.18	12.80	159.54	2042.05
4	9.60	122.58	1176.73	9.60	132.74	1274.28
3	6.40	88.30	565.11	6.40	91.85	587.83
2	3.20	60.39	193.25	3.20	62.30	199.35
1	BODRUM	-	-	BODRUM	-	-
		479.34	4792.38		492.96	4894.67

Çizelge 9.35. Perde taban momenti (tm)

Perde	Mx	Σ Mxk =	Σ Mxr	M/Mo<1/3	My	Σ Myk =	Σ Myr	M/Mo<1/3
SZ002	203.48	277.48	480.96	0.100 ✓	-	-	-	-
SZ044	-	-	-	-	32.77	90.24	123.02	0.025 ✓
SZ045	-	-	-	-	84.22	16.60	100.81	0.021 ✓
PZ091	-	-	-	-	24.54	18.34	42.88	0.009 ✓
PZ094	-	-	-	-	732.20	204.38	936.58	0.191 ✓
PZ084	74.53	62.89	137.42	0.029 ✓	-	-	-	-
PZ086	75.24	63.14	138.38	0.029 ✓	-	-	-	-
PZ092	-	-	-	-	8.34	5.00	13.33	0.003 ✓
PZ095	-	-	-	-	254.27	50.86	305.13	0.062 ✓
PZ081+PZ089	738.88	15.69	754.57	0.157 ✓	466.87	3.98	470.85	0.096 ✓
PZ087+PZ088	564.39	47.08	611.47	0.128 ✓	17.37	0.00	17.37	0.004 ✓
PZ090+PZ083+PZ085	1338.50	62.78	1401.28	0.292 ✓	448.27	0.23	448.50	0.092 ✓
PZ082+PZ093	109.79	0.00	109.79	0.023 ✓	82.32	0.00	82.32	0.017 ✓
TOPLAM			3633.87				2540.78	

Perde taban moment oranı :

$$X \text{ yönü } \alpha_m = 3633.87 / 4792.38 = 0.76$$

$$Y \text{ yönü } \alpha_m = 2540.78 / 4894.67 = 0.52$$

### 9.3. Üçüncü Güçlendirme Önerisi

Bu güçlendirme önerisinde yapıya hem betonarme perde ilavesi yapılmış olup hem de gevrek hasarlı bazı kolonlar betonarme manto ile sarılarak yapının istenilen deprem performans hedeflerine ulaşması sağlanmıştır. Yapıya eklenen perdeler yine mümkün olduğunca yapının dış akslarına yerleştirilmiş olup bir önceki önerideki yerlerden biraz daha farklı kısımlara yerleştirilerek yapının davranışında ne gibi değişiklikler olduğunu gözlemlemek amaçlanmıştır.


Yapının üç boyutlu hali Şekil 9.35 ve Şekil 9.36’da görülmektedir. Çalışmanın ilerleyen kısımlarında kolaylık olması için bu güçlendirme önerisine kısaca “Güçlendirme-3” adı verilmiştir.

Güçlendirme projesi kapsamında yapıya her kat için 6 adet güçlendirme perdesi ilavesi yapılmıştır. İlave edilen güçlendirme perdelerinden 3 tanesi X doğrultusunda, 3 tanesi ise Y doğrultusunda yerleştirilmiştir. Yapının mevcut durumda X doğrultusunda % 1.05 oranında perde alanı bulunmaktadır (kat alanı/perde alanları toplamı). Bu oran perde ilavesi sonucu % 1.46’ya yükseltilmiştir. Y doğrultusunda ise mevcut durumda % 0.75 oranında perde alanı bulunmaktadır. Bu oran perde ilavesi sonucu % 1.21’e yükseltilmiştir. Bu kararın alınmasında yapının perde alanı bakımından Y yönünde nispeten zayıf olması etkili olmuştur.

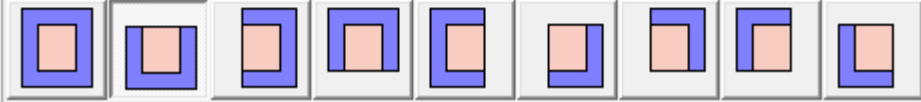
Aşağıda Şekil 9.34’te yeşil işaretli kısımlarda bulunan kirişler C30 beton sınıfına, S420 çelik donatı sınıfına sahip betonarme perde elemanlarına çevrilmiştir. Bu işlem yapının bodrum katı ve 4. normal katı hariç olmak üzere uygulanmıştır. Ayrıca işaretlenmiş kolonların gevrek hasar aldığı tespit edilmiş ve bu kolonlara üç tarafından, 15 cm genişliğinde mantolama işlemi yapılmıştır (sadece bir kolon dört tarafından mantolanmıştır). Bu işlem ise bütün katlarda uygulanmıştır fakat üst katlarda bazı kolonların aldıkları hasarlar sünek hasara döndüğü için o kolonların mantoları üst katlarda kaldırılmıştır. Mantolama yapılan kolonlar ise kat planı üzerinde mavi renk ile işaretlenmiştir.

STA4-CAD MANTO VEYA FRP İLE KOLON GUCLENDIRMESI  Ok  X

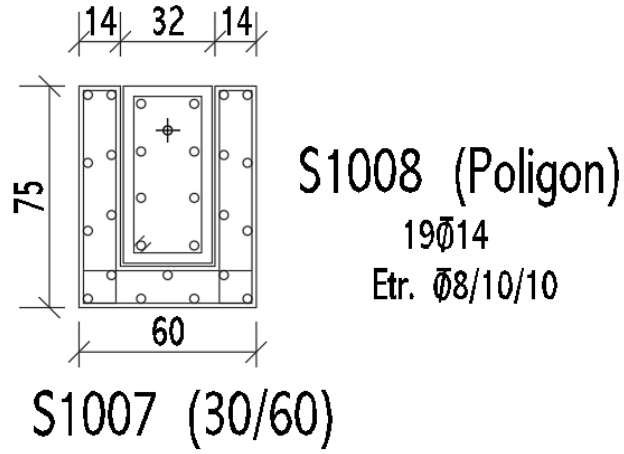
MANTO KALINLIK VE TIPINI VEYA FRP TIPI VE SARGI SAYISINI SECIN

MANTO KALINLIĞI (cm)	SEÇİLEN	SARILMA ADEDİ	LIFLI POLİMER TIPI
15		0	-----

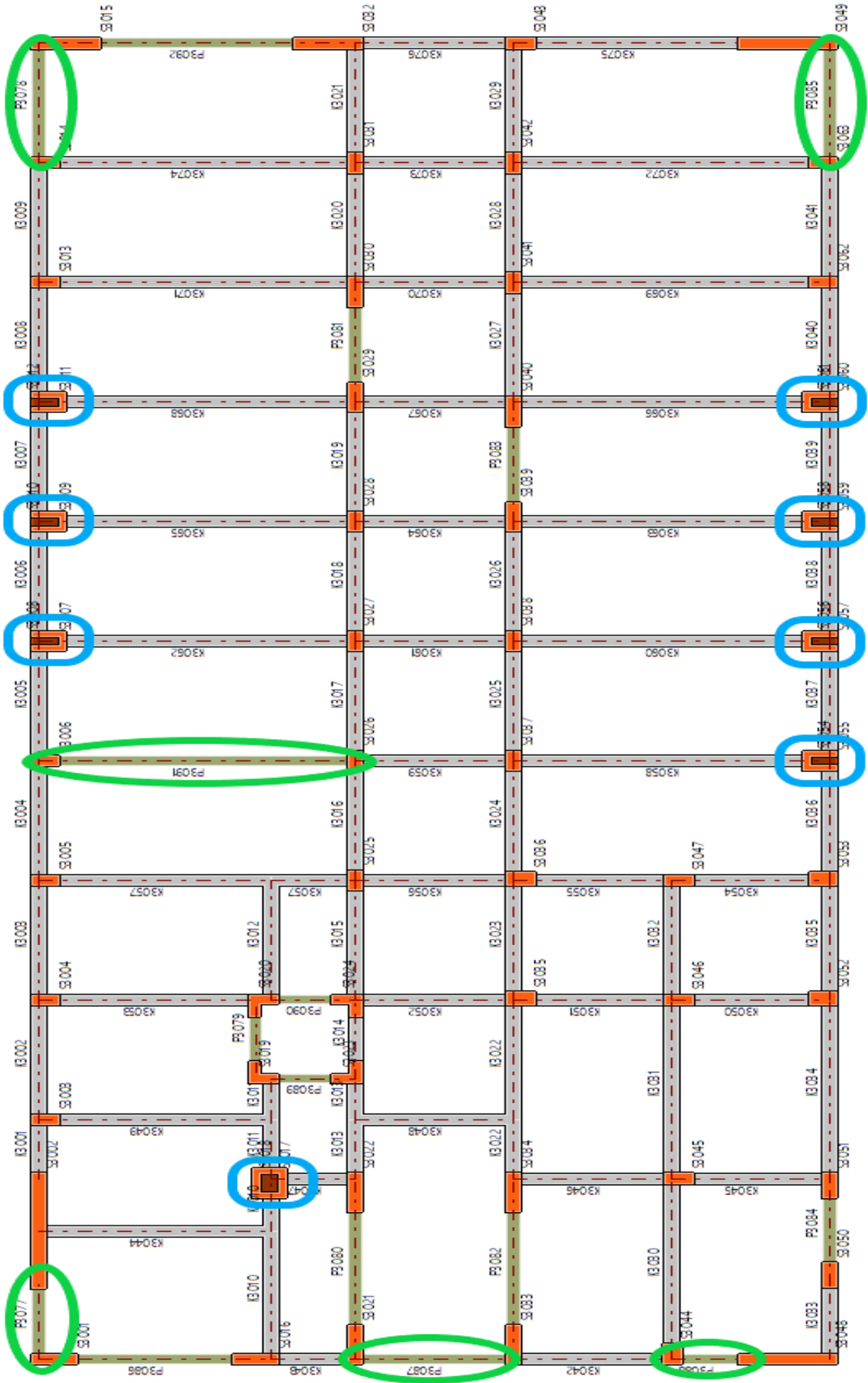
MANTO TIPI



Şekil 9.32. Kolon mantolama işleminin programda tanımlanması

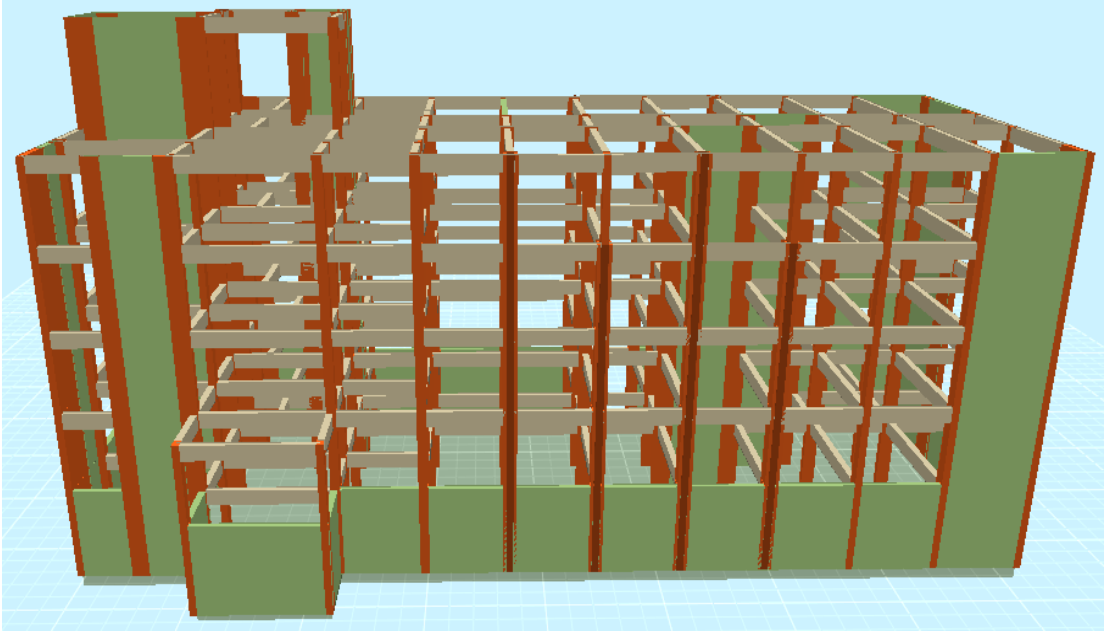


Şekil 9.33. Üç tarafından mantolanan bir kolonun (S1007 kolonu) manto donatı detayı

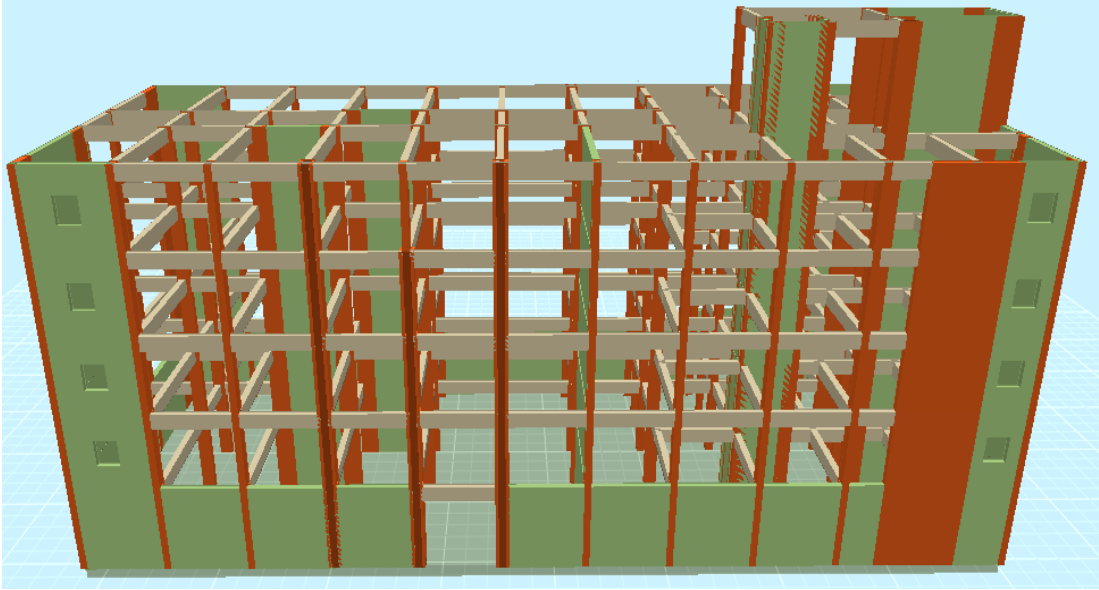


Şekil 9.34. Yeni eklenen betonarme perdelerin ve mantolanan kolonların kat planı üzerinde gösterilmesi





**Şekil 9.35.** Mevcut yapıya yeni perde elemanların eklenmesi ve bazı kolonların mantolanması sonucu yapının önden görünüşü



**Şekil 9.36.** Mevcut yapıya yeni perde elemanların eklenmesi ve bazı kolonların mantolanması sonucu yapının arkadan görünüşü

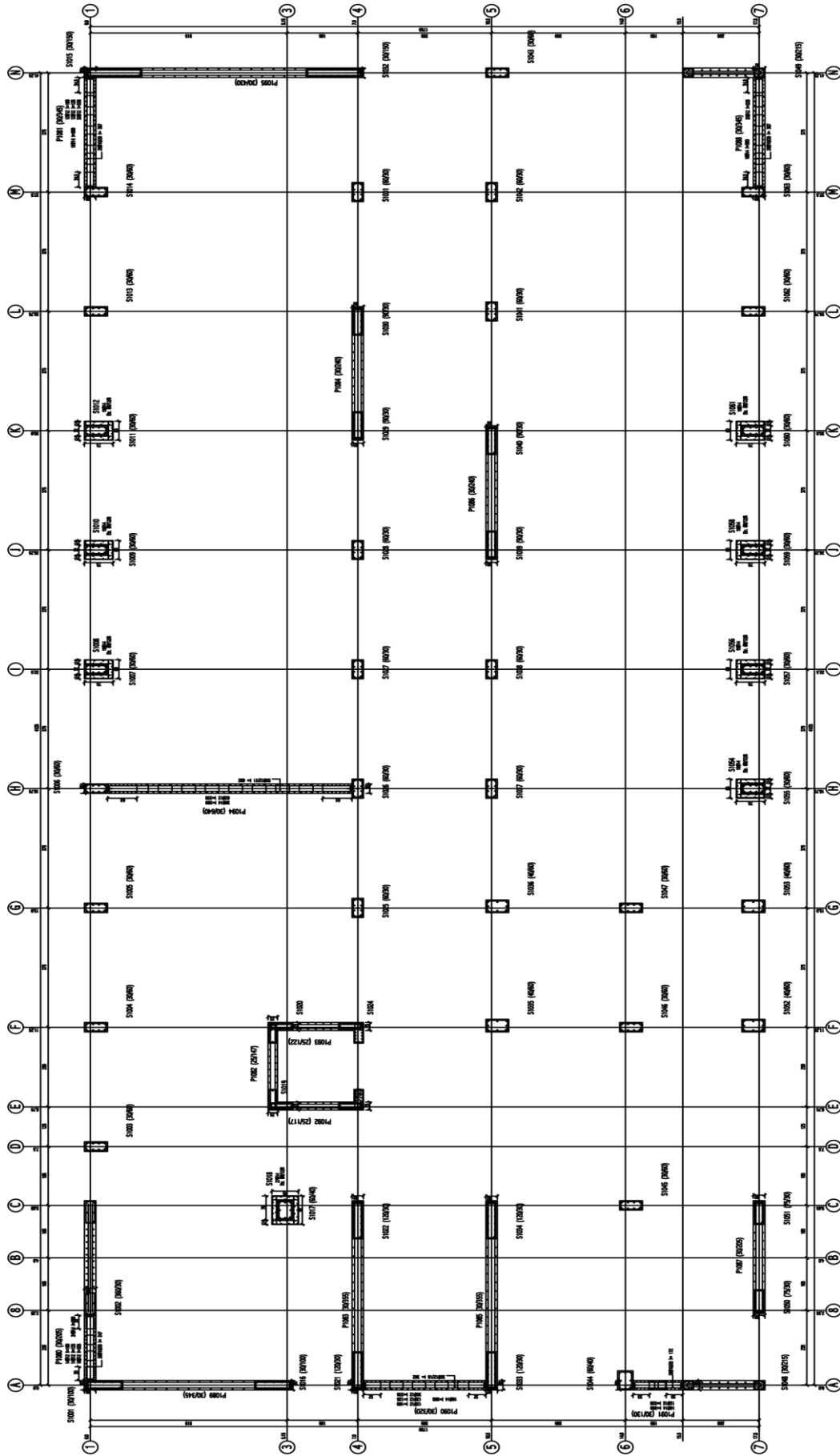
Çizelge 9.36. Yapıya eklenen güçlendirme perdelerinin donatıları

Kat No	Bodrum Kat	Zemin Kat	1. Normal Kat	2. Normal Kat	3. Normal Kat	4. Normal Kat
Perde / Ebat	P1080 (30/205)	P2080 (30/205)	P3080 (30/205)	P4080 (30/205)	P5080 (30/205)	
Düşey Donatı	2x9Ø12	2x12Ø14+2x9Ø12	2x12Ø14+2x9Ø12	2x12Ø14+2x9Ø12	2x12Ø14+2x9Ø12	
Yatay Donatı	Ø10/20	Ø10/20	Ø10/20	Ø10/20	Ø10/20	
Perde / Ebat	P1081 (30/345)	P2081 (30/345)	P3081 (30/345)	P4081 (30/345)	P5081 (30/345)	
Düşey Donatı	2x17Ø12	2x8Ø14+2x16Ø12	2x8Ø14+2x16Ø12	2x8Ø14+2x16Ø12	2x8Ø14+2x16Ø12	
Yatay Donatı	Ø10/20	Ø10/15	Ø10/20	Ø10/20	Ø10/20	
Perde / Ebat	P1088 (30/345)	P2088 (30/345)	P3088 (30/345)	P4088 (30/345)	P5088 (30/345)	
Düşey Donatı	2x17Ø12	2x13Ø14+2x16Ø12	2x8Ø14+2x16Ø12	2x8Ø14+2x16Ø12	2x8Ø14+2x16Ø12	
Yatay Donatı	Ø10/20	Ø10/15	Ø10/20	Ø10/20	Ø10/20	
Perde / Ebat	P1090 (30/320)	P2090 (30/320)	P3090 (30/320)	P4090 (30/320)	P5090 (30/320)	P6090 (30/320)
Düşey Donatı	2x18Ø14	2x8Ø14+2x15Ø12	2x8Ø14+2x15Ø12	2x8Ø14+2x15Ø12	2x8Ø14+2x15Ø12	2x8Ø14+2x15Ø12
Yatay Donatı	Ø12/20	Ø12/15	Ø12/20	Ø10/20	Ø10/20	Ø10/15
Perde / Ebat	P1091 (30/130)	P2091 (30/130)	P3091 (30/130)	P4091 (30/130)	P5091 (30/130)	
Düşey Donatı	2x6Ø12	2x8Ø14+2x6Ø12	2x8Ø14+2x6Ø12	2x8Ø14+2x6Ø12	2x8Ø14+2x6Ø12	
Yatay Donatı	Ø10/20	Ø10/20	Ø10/20	Ø10/20	Ø10/20	
Perde / Ebat	P1094 (30/640)	P2094 (30/640)	P3094 (30/640)	P4094 (30/640)	P5094 (30/640)	
Düşey Donatı	2x41Ø14+2x31Ø12	2x37Ø14+2x31Ø12	2x15Ø14+2x31Ø12	2x15Ø14+2x31Ø12	2x15Ø14+2x31Ø12	
Yatay Donatı	Ø12/10	Ø12/10	Ø12/10	Ø10/20	Ø10/20	

Çizelge 9.37. Mantolanan kolonların mevcut donatıları ve mantolama donatıları

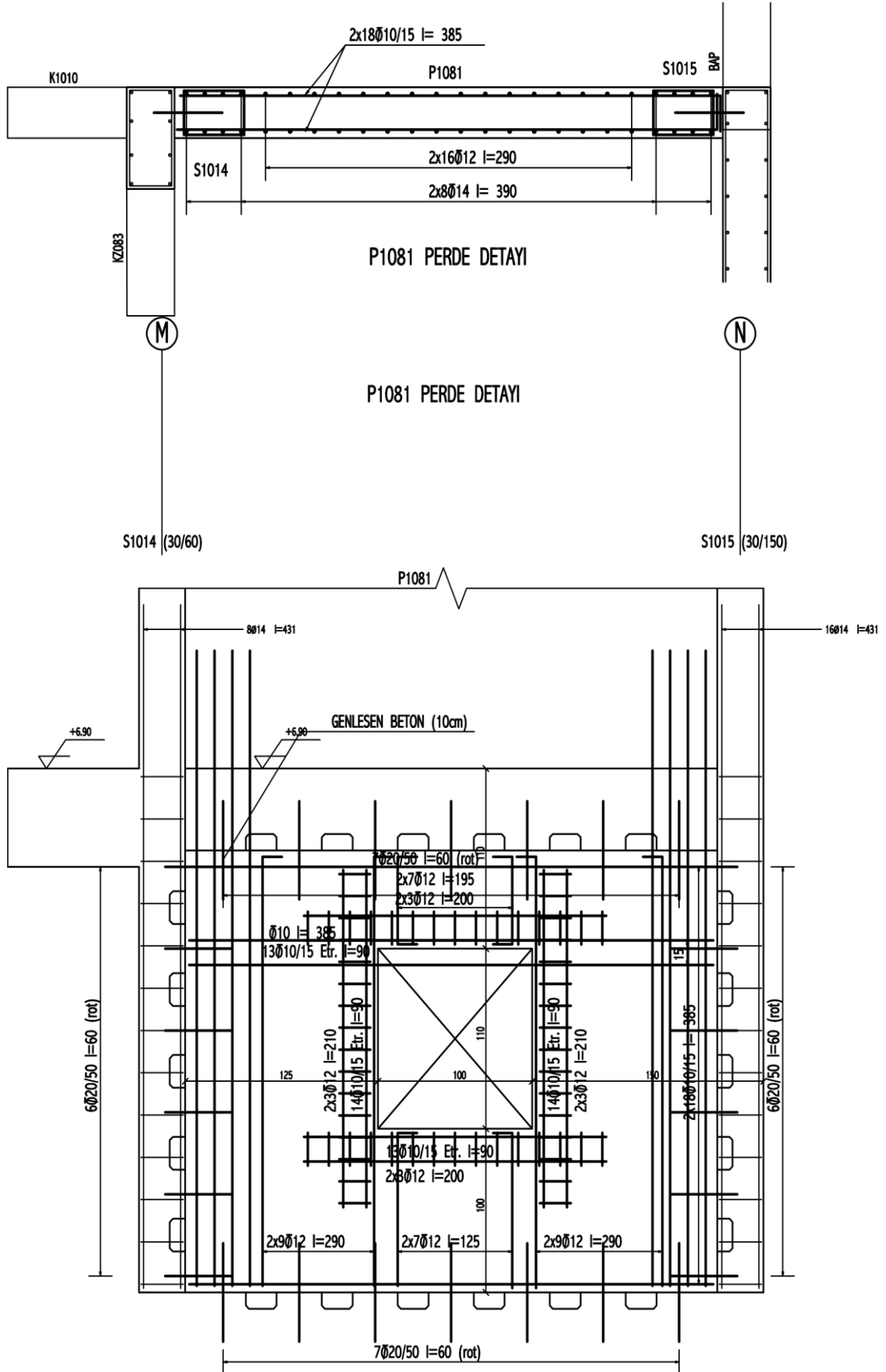
Kat No	Bodrum Kat		Zemin Kat		1. Normal Kat	
	Mevcut Kolon	Manto	Mevcut Kolon	Manto	Mevcut Kolon	Manto
Kolon / Ebat	S1007 (30/60)	S1008 (Poligon)	S2007 (30/60)	S2008 (Poligon)	S3007 (30/60)	S3008 (Poligon)
Donatı	2x2Ø14+2x2Ø14	19Ø14	2x2Ø14+2x2Ø14	19Ø14	2x2Ø14+2x2Ø14	19Ø14
Etriye	Ø8/25	Ø8/10/10	Ø8/25	Ø8/10/10	Ø8/25	Ø8/10/10
Kolon / Ebat	S1009 (30/60)	S1010 (Poligon)	S2009 (30/60)	S2010 (Poligon)	S3009 (30/60)	S3010 (Poligon)
Donatı	2x2Ø14+2x2Ø14	19Ø14	2x2Ø14+2x2Ø14	19Ø14	2x2Ø14+2x2Ø14	19Ø14
Etriye	Ø8/25	Ø8/10/10	Ø8/25	Ø8/10/10	Ø8/25	Ø8/10/10
Kolon / Ebat	S1011 (30/60)	S1012 (Poligon)	S2011 (30/60)	S2012 (Poligon)	S3011 (30/60)	S3012 (Poligon)
Donatı	2x2Ø14+2x2Ø14	19Ø14	2x2Ø14+2x2Ø14	19Ø14	2x2Ø14+2x2Ø14	19Ø14
Etriye	Ø8/25	Ø8/10/10	Ø8/25	Ø8/10/10	Ø8/25	Ø8/10/10
Kolon / Ebat	S1017 (60/40)	S1018 (Poligon)	S2017 (60/40)	S2018 (Poligon)	S3017 (60/40)	S3018 (Poligon)
Donatı	2x3Ø14+2x1Ø14	27Ø14	2x3Ø14+2x1Ø14	27Ø14	2x3Ø14+2x1Ø14	27Ø14
Etriye	Ø8/25	Ø8/15/10	Ø8/25	Ø8/15/10	Ø8/25	Ø8/15/10
Kolon / Ebat	S1055 (30/60)	S1054 (Poligon)	S2055 (30/60)	S2054 (Poligon)	S3055 (30/60)	S3054 (Poligon)
Donatı	2x2Ø14+2x2Ø14	2x6Ø14+2x7Ø12	2x2Ø14+2x2Ø14	2x6Ø14+2x7Ø12	2x2Ø14+2x2Ø14	2x6Ø14+2x7Ø12
Etriye	Ø8/25	Ø8/10/10	Ø8/25	Ø8/10/10	Ø8/25	Ø8/10/10
Kolon / Ebat	S1057 (30/60)	S1056 (Poligon)	S2057 (30/60)	S2056 (Poligon)	S3057 (30/60)	S3056 (Poligon)
Donatı	2x2Ø14+2x2Ø14	19Ø14	2x2Ø14+2x2Ø14	19Ø14	2x2Ø14+2x2Ø14	19Ø14
Etriye	Ø8/25	Ø8/10/10	Ø8/25	Ø8/10/10	Ø8/25	Ø8/10/10
Kolon / Ebat	S1059 (30/60)	S1058 (Poligon)	S2059 (30/60)	S2058 (Poligon)	S3059 (30/60)	S3058 (Poligon)
Donatı	2x2Ø14+2x2Ø14	19Ø14	2x2Ø14+2x2Ø14	19Ø14	2x2Ø14+2x2Ø14	19Ø14
Etriye	Ø8/25	Ø8/10/10	Ø8/25	Ø8/10/10	Ø8/25	Ø8/10/10
Kolon / Ebat	S1060 (30/60)	S1061 (Poligon)	S2060 (30/60)	S2061 (Poligon)	S3060 (30/60)	S3061 (Poligon)
Donatı	2x2Ø14+2x2Ø14	19Ø14	2x2Ø14+2x2Ø14	19Ø14	2x2Ø14+2x2Ø14	19Ø14
Etriye	Ø8/25	Ø8/10/10	Ø8/25	Ø8/10/10	Ø8/25	Ø8/10/10

Kat No	2. Normal Kat		3. Normal Kat		4. Normal Kat	
	Mevcut Kolon	Manto	Mevcut Kolon	Manto	Mevcut Kolon	Manto
Kolon / Ebat	S4007 (30/60)	S4008 (Poligon)	S5007 (30/60)	S5008 (Poligon)		
Donatı	2x2014+2x2014	19014	2x2014+2x2014	19014		
Etriye	Ø8/25	Ø8/10/10	Ø8/25	Ø8/10/10		
Kolon / Ebat	S4009 (30/60)	S4010 (Poligon)				
Donatı	2x2014+2x2014	19014				
Etriye	Ø8/25	Ø8/10/10				
Kolon / Ebat	S4011 (30/60)	S4012 (Poligon)	S5011 (30/60)	S5012 (Poligon)		
Donatı	2x2014+2x2014	19014	2x2014+2x2014	19014		
Etriye	Ø8/25	Ø8/10/10	Ø8/25	Ø8/10/10		
Kolon / Ebat	S4017 (60/40)	S4018 (Poligon)	S5017 (60/40)	S5018 (Poligon)	S6017 (60/40)	S6018 (Poligon)
Donatı	2x3014+2x1014	27014	2x3014+2x1014	27014	2x3014+2x1014	27014
Etriye	Ø8/25	Ø8/15/10	Ø8/25	Ø8/15/10	Ø8/25	Ø8/15/10
Kolon / Ebat	S4055 (30/60)	S4054 (Poligon)	S5055 (30/60)	S5054 (Poligon)		
Donatı	2x2014+2x2014	2x6014+2x7012	2x2014+2x2014	2x6014+2x7012		
Etriye	Ø8/25	Ø8/10/10	Ø8/25	Ø8/10/10		
Kolon / Ebat	S4057 (30/60)	S4054 (Poligon)				
Donatı	2x2014+2x2014	19014				
Etriye	Ø8/25	Ø8/10/10				
Kolon / Ebat	S4059 (30/60)	S4058 (Poligon)	S5059 (30/60)	S5058 (Poligon)		
Donatı	2x2014+2x2014	19014	2x2014+2x2014	19014		
Etriye	Ø8/25	Ø8/10/10	Ø8/25	Ø8/10/10		
Kolon / Ebat	S4060 (30/60)	S4061 (Poligon)				
Donatı	2x2014+2x2014	19014				
Etriye	Ø8/25	Ø8/10/10				

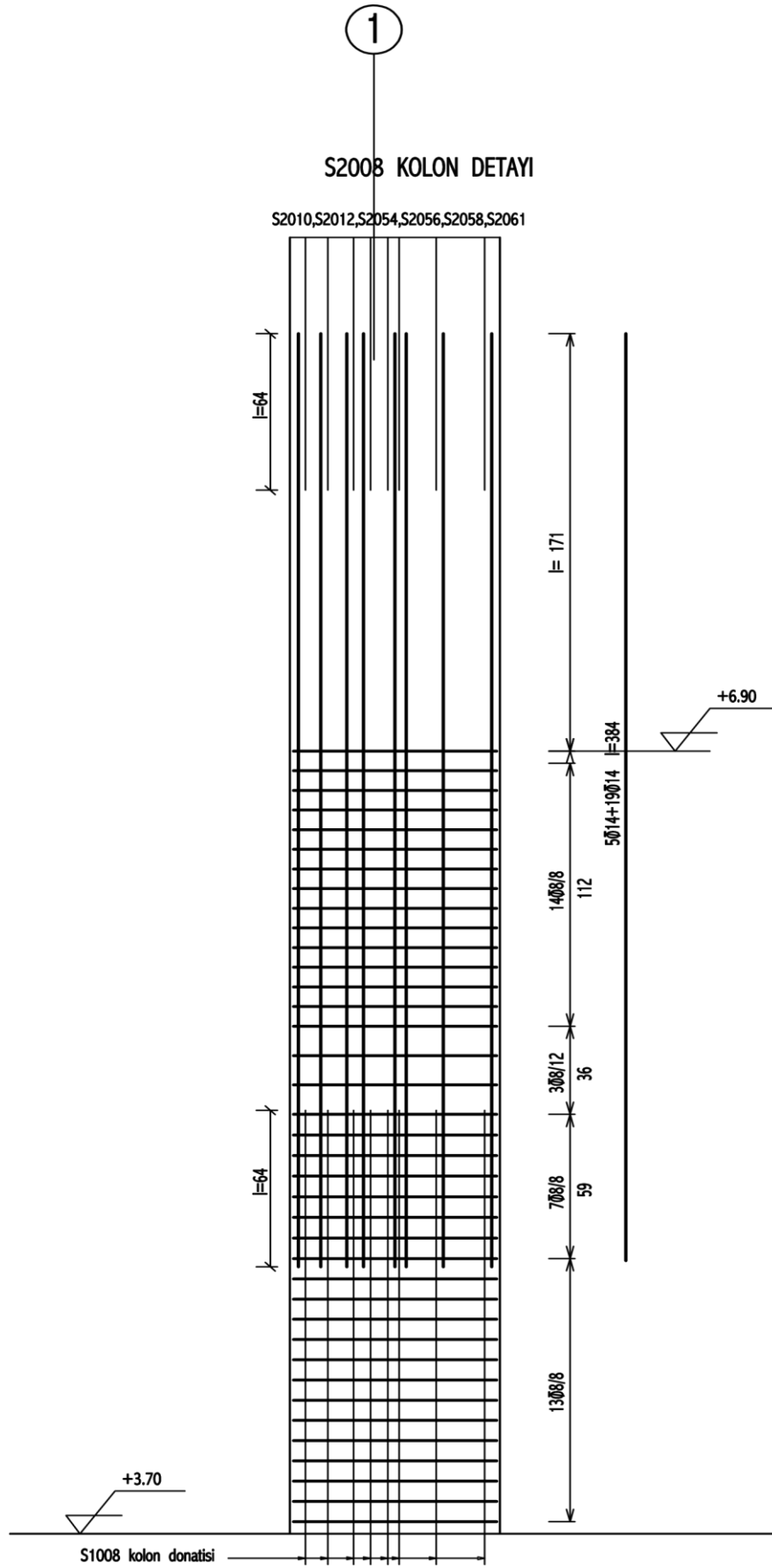


1. NORMAL KAT KOLON APLİKASYON PLANI (1/50)

Şekil 9.37. Güçlendirme-3 normal kat kolon aplikasyon planı



Şekil 9.38. Yeni eklenen güçlendirme perdelerinden P1081 perdesinin donatı detayı



**Şekil 9.39.** Üç tarafından mantolanan S2008, S2010, S2012, S2054, S2056, S2058, S2061 kolonlarının donatı detayı

### 9.3.1. Güçlendirme-3 için yapının DD-1 deprem yer hareketi düzeyine göre performans analizi

Yapının performansının sonucu aşağıda Şekil 9.40'da verilmiştir.

#### BINA PERFORMANS SONUCU:

Kontrollü hasar performans bölgesi durumu, DD1 ileri performans hedefi sağlanmıştır.

Kontrollü hasar performans bölgesi yeterlilik kontrolü:

Kiriş Hasar oranı=(IH=%33.3<=%35 ✓), (GB=%0 ✓)

Kolon Hasar oranı=(IH=%0.0<=%20 ✓), (GB=%0 ✓)

Ust kat Vc oranı=(IH=%0.0<=%40 ✓), (GB=%0 ✓)

Plastiklesen kolon Vc oranı=(IH+GB=%0.0<=%30 ✓)

Şekil 9.40. Güçlendirme-3 için DD-1 deprem yer hareketi düzeyine göre performans analizi bina performans sonucu

#### 9.3.1.1. Güçlendirme-3 için yapının hasar durumları

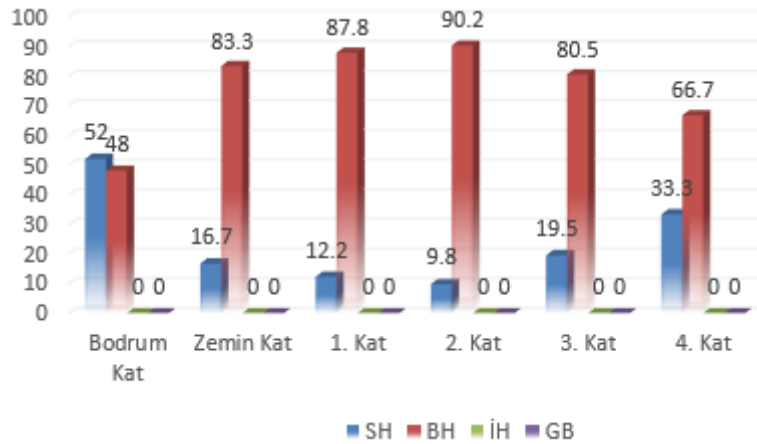
Güçlendirme-3 önerisi için yapının taşıyıcı elemanlarının hasar durumları aşağıda Çizelge 9.38'de verilmiştir. Yapının tabloda belirtilmeyen diğer taşıyıcı elemanlarının (kolon, kiriş, perde) tamamı sınırlı hasar (SH) bölgesindedir.

Çizelge 9.38. Güçlendirme-3 için yapı taşıyıcı elemanlarının hasar durumları

Bodrum Kat	Zemin Kat	1. Normal Kat
Kiriş	Kiriş	Kiriş
K1003 (BH) / K1007 (BH) / K1008 (BH) / K1010 (BH) K1012 (BH) / K1015 (BH) / K1016 (BH) / K1017 (BH) K1018 (BH) / K1019 (BH) / K1020 (BH) / K1021 (BH) K1024 (BH) / K1027 (BH) / K1028 (BH) / K1032 (BH) K1033 (BH) / K1034 (BH) / K1035 (BH) / K1036 (BH) K1037 (BH) / K1038 (BH) / K1046 (BH) / K1049 (BH) K1052 (BH) / K1055 (BH)	K2001 (BH) / K2002 (BH) / K2003 (BH) / K2004 (BH) K2005 (BH) / K2006 (BH) / K2007 (BH) / K2008 (BH) K2009 (BH) / K2011 (BH) / K2013 (BH) / K2014 (BH) K2015 (BH) / K2016 (BH) / K2017 (BH) / K2018 (BH) K2019 (BH) / K2020 (BH) / K2021 (BH) / K2023 (BH) K2024 (BH) / K2025 (BH) / K2026 (BH) / K2027 (BH) K2028 (BH) / K2029 (BH) / K2032 (BH) / K2033 (BH) K2035 (BH) / K2036 (BH) / K2037 (BH) / K2038 (BH) K2039 (BH) / K2040 (BH) / K2041 (BH) / K2043 (BH) K2044 (BH) / K2046 (BH) / K2047 (BH) / K2048 (BH) K2049 (BH) / K2052 (BH) / K2053 (BH) / K2054 (BH) K2055 (BH) / K2056 (BH) / K2057 (BH) / K2058 (BH) K2059 (BH) / K2062 (BH) / K2064 (BH) / K2067 (BH) K2070 (BH) / K2073 (BH) / K2076 (BH) / K2078 (BH) K2096 (BH)	K3001 (BH) / K3002 (BH) / K3003 (BH) / K3004 (BH) K3005 (BH) / K3006 (BH) / K3007 (BH) / K3008 (BH) K3009 (BH) / K3011 (BH) / K3013 (BH) / K3014 (BH) K3015 (BH) / K3016 (BH) / K3017 (BH) / K3018 (BH) K3019 (BH) / K3020 (BH) / K3021 (BH) / K3023 (BH) K3024 (BH) / K3025 (BH) / K3026 (BH) / K3027 (BH) K3028 (BH) / K3029 (BH) / K3032 (BH) / K3033 (BH) K3034 (BH) / K3035 (BH) / K3036 (BH) / K3037 (BH) K3038 (BH) / K3039 (BH) / K3040 (BH) / K3041 (BH) K3042 (BH) / K3043 (BH) / K3045 (BH) / K3046 (BH) K3047 (BH) / K3050 (BH) / K3051 (BH) / K3052 (BH) K3053 (BH) / K3054 (BH) / K3055 (BH) / K3056 (BH) K3057 (BH) / K3059 (BH) / K3061 (BH) / K3064 (BH) K3067 (BH) / K3070 (BH) / K3073 (BH) / K3075 (BH) K3076 (BH)
Kolon	Kolon	Kolon
S1025 (BH)	S2011 (BH) / S2017 (BH) / S2025 (BH) / S2037 (BH) S2038 (BH) / S2042 (BH) / S2055 (BH) / S2057 (BH) S2059 (BH) / S2060 (BH)	
Perde	Perde	Perde
P1057 (BH) / P1060 (BH) / P1061 (BH) / P1064 (BH) P1066 (BH) / P1073 (BH) / P1080 (BH) / P1081 (BH) P1082 (BH) / P1083 (BH) / P1085 (BH) / P1090 (BH) P1092 (BH) / P1093 (BH)	P2082 (BH) / P2083 (BH) / P2085 (BH) / P2089 (BH) P2090 (BH) / P2092 (BH) / P2093 (BH) / P2095 (BH)	P3082 (BH) / P3083 (BH) / P3085 (BH) / P3089 (BH) P3090 (BH) / P3092 (BH) / P3093 (BH) / P3095 (BH)

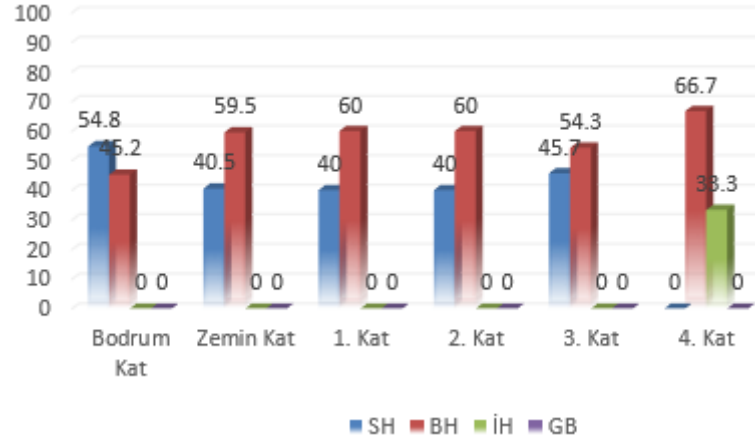
2. Normal Kat	3. Normal Kat	4. Normal Kat
Kiriş	Kiriş	Kiriş
K4001 (BH) / K4002 (BH) / K4003 (BH) / K4004 (BH) K4005 (BH) / K4006 (BH) / K4007 (BH) / K4008 (BH) K4009 (BH) / K4011 (BH) / K4013 (BH) / K4014 (BH) K4015 (BH) / K4016 (BH) / K4017 (BH) / K4018 (BH) K4019 (BH) / K4020 (BH) / K4021 (BH) / K4023 (BH) K4024 (BH) / K4025 (BH) / K4026 (BH) / K4027 (BH) K4028 (BH) / K4029 (BH) / K4030 (BH) / K4032 (BH) K4033 (BH) / K4034 (BH) / K4035 (BH) / K4036 (BH) K4037 (BH) / K4038 (BH) / K4039 (BH) / K4040 (BH) K4041 (BH) / K4042 (BH) / K4043 (BH) / K4045 (BH) K4046 (BH) / K4047 (BH) / K4050 (BH) / K4051 (BH) K4052 (BH) / K4053 (BH) / K4054 (BH) / K4055 (BH) K4056 (BH) / K4057 (BH) / K4059 (BH) / K4061 (BH) K4064 (BH) / K4067 (BH) / K4070 (BH) / K4073 (BH) K4075 (BH) / K4076 (BH)	K5001 (BH) / K5004 (BH) / K5005 (BH) / K5006 (BH) K5007 (BH) / K5008 (BH) / K5009 (BH) / K5010 (BH) K5011 (BH) / K5013 (BH) / K5014 (BH) / K5015 (BH) K5016 (BH) / K5017 (BH) / K5018 (BH) / K5019 (BH) K5020 (BH) / K5021 (BH) / K5023 (BH) / K5024 (BH) K5025 (BH) / K5026 (BH) / K5027 (BH) / K5028 (BH) K5029 (BH) / K5032 (BH) / K5033 (BH) / K5034 (BH) K5036 (BH) / K5037 (BH) / K5038 (BH) / K5039 (BH) K5041 (BH) / K5042 (BH) / K5045 (BH) / K5046 (BH) K5047 (BH) / K5050 (BH) / K5051 (BH) / K5052 (BH) K5053 (BH) / K5054 (BH) / K5055 (BH) / K5056 (BH) K5059 (BH) / K5061 (BH) / K5067 (BH) / K5072 (BH) K5073 (BH) / K5075 (BH) / K5076 (BH)	K6001 (BH) / K6003 (BH) / K6004 (BH) / K6005 (BH) K6006 (İH)
Kolon	Kolon	Kolon
	S5007 (BH) / S5009 (BH) / S5011 (BH) / S5013 (BH) S5017 (BH) / S5028 (BH) / S5041 (BH) / S5055 (BH) S5057 (BH) / S5059 (BH) / S5060 (BH) / S5062 (BH)	S6017 (BH) / S6035 (BH)
Perde	Perde	Perde
P4082 (BH) / P4083 (BH) / P4085 (BH) / P4089 (BH) P4092 (BH) / P4093 (BH) / P4095 (BH)	P5082 (BH) / P5083 (BH) / P5085 (BH) / P5089 (BH) P5093 (BH)	P6082 (BH)

Güçlendirme-3 önerisi için yapının kirişlerinin hasar durumları yüzdesel olarak aşağıdaki grafiklerde verilmiştir.



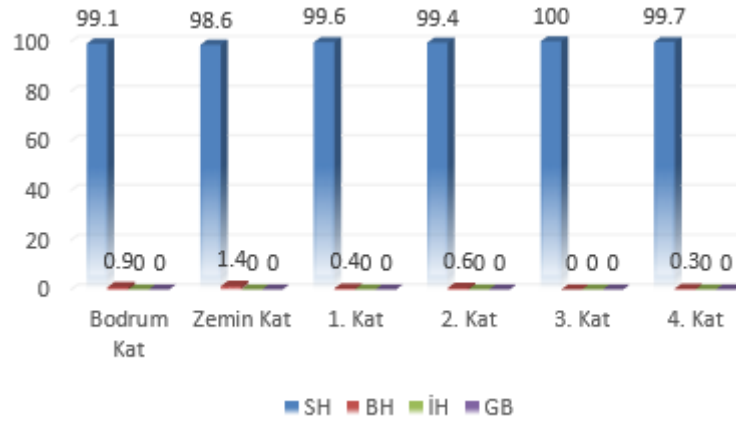
Şekil 9.41. Güçlendirme-3 için X yönü kiriş hasar grafiği



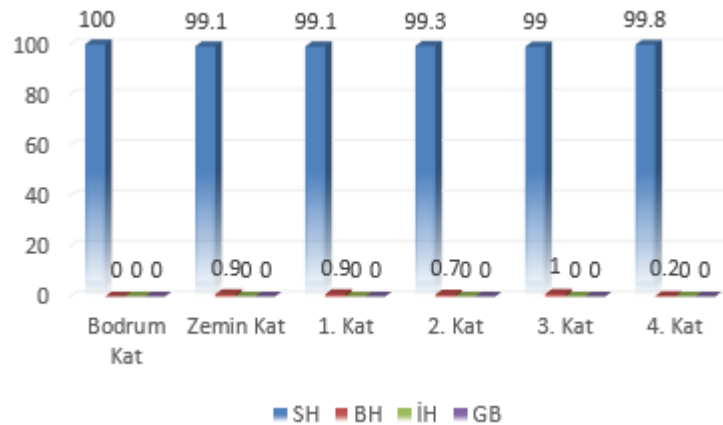


Şekil 9.42. Güçlendirme-3 için Y yönü kiriş hasar grafiği

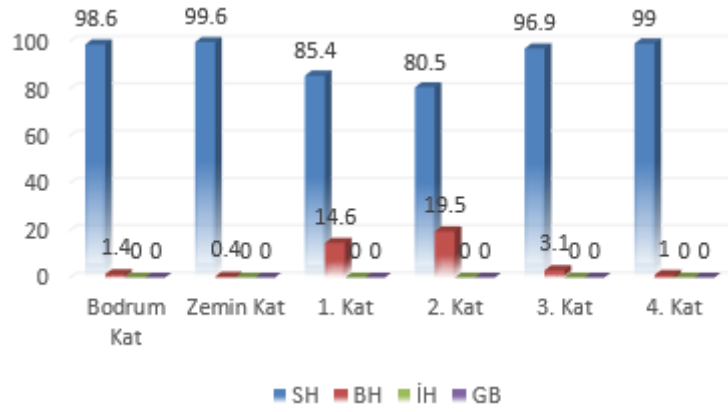
Güçlendirme-3 önerisi için yapının kolonlarının hasar durumları yüzdesel olarak aşağıdaki grafiklerde verilmiştir.



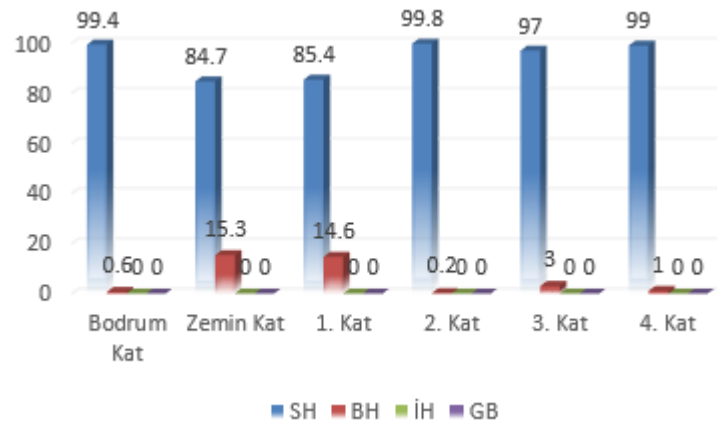
Şekil 9.43. Güçlendirme-3 için -X yönü kolon hasar grafiği



Şekil 9.44. Güçlendirme-3 için +X yönü kolon hasar grafiği



Şekil 9.45. Güçlendirme-3 için -Y yönü kolon hasar grafiği



Şekil 9.46. Güçlendirme-3 için +Y yönü kolon hasar grafiği

### 9.3.1.2. Yapı düzensizliklerinin kontrolü

Güçlendirme-3 önerisinde yapıya hem güçlendirme perdeleri eklenmiş olup hem de gevrek hasarlı bazı kolonlara manto yapılmıştır; yapının düzensizlik kontrolleri, STA4-CAD programı yardımıyla, çok modlu nonlinear analiz yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Sonuçlar her yön için aşağıdaki çizelgelerde gösterilmiştir (Çizelge 9.39, Çizelge 9.40, Çizelge 9.41).

Çizelge 9.39. Güçlendirme-3 için A1 (burulma düzensizliği), B2 (yumuşak kat) düzensizliklerinin kontrolü (X yönü)

Kat	$\Delta X$ düst (m)	$\Delta X$ dalt (m)	$\Delta X$ ort	nbi	nki	$R/I \cdot \Delta x/h$	$\theta_i$	kat tipi
6	0.0061073	0.0063239	0.0062156	1.02	0.00	0.00602 ✓	0.00117 ✓	Normal kat
5	0.0047920	0.0055087	0.0051504	1.07	1.09	0.00689 ✓	0.00222 ✓	Normal kat
4	0.0052689	0.0059747	0.0056218	1.06	1.09	0.00747 ✓	0.00299 ✓	Normal kat
3	0.0052554	0.0058730	0.0055642	1.06	0.99	0.00734 ✓	0.00348 ✓	Normal kat
2	0.0043548	0.0047892	0.0045720	1.05	0.82	0.00599 ✓	0.00334 ✓	Normal kat
1	0.0017765	0.0016898	0.0017332	1.03	0.00	0.00192 ✓	0.00000 ✓	Bodrum kat

**Çizelge 9.40.** Güçlendirme-3 için A1 (burulma düzensizliği), B2 (yumuşak kat) düzensizliklerinin kontrolü (Y yönü)

Kat	$\Delta Y_{dsol}$ (m)	$\Delta Y_{dsağ}$ (m)	$\Delta Y_{ort}$	nbi	nki	$R/I \cdot \Delta y/h$	$\theta_i$	kat tipi
6	0.0068244	0.0112346	0.0090295	1.24	0.00	0.01070 ✓	0.00167 ✓	Normal kat
5	0.0055070	0.0046632	0.0050851	1.08	0.74	0.00688 ✓	0.00221 ✓	Normal kat
4	0.0058485	0.0053496	0.0055991	1.04	1.10	0.00731 ✓	0.00289 ✓	Normal kat
3	0.0057147	0.0054906	0.0056026	1.02	1.00	0.00714 ✓	0.00338 ✓	Normal kat
2	0.0049655	0.0046009	0.0047832	1.04	0.85	0.00621 ✓	0.00337 ✓	Normal kat
1	0.0033690	0.0027711	0.0030700	1.10	0.00	0.00364 ✓	0.00000 ✓	Bodrum kat

**Çizelge 9.41.** Güçlendirme-3 için B1 (zayıf kat) düşey doğrultudaki düzensizliklerin kontrolü

Kat	$A_w$	$A_{gx}$	$A_{gy}$	$A_{lx}$	$A_{ly}$	$\Sigma A_{ex}$	$\Sigma A_{ey}$	$n_{cix}$	$n_{ciy}$	AÇIKLAMA
6	3.34	2.50	1.56	1.43	0.70	6.05	5.00	1.00	1.00	üst kat ✓
5	13.39	8.32	7.48	14.50	10.05	23.88	22.38	3.95	4.47	Düzenli ✓
4	14.15	8.32	7.48	14.67	9.35	24.67	23.04	1.03	1.03	Düzenli ✓
3	14.15	8.32	7.48	15.06	10.40	24.73	23.20	1.00	1.01	Düzenli ✓
2	14.45	8.32	7.48	14.92	10.77	25.01	23.55	1.01	1.02	Düzenli ✓
1	14.45	25.43	12.81	0.00	0.00	39.89	27.26	1.59	1.16	bodrum kat

### 9.3.1.3. Kat deprem deplasmanları

Deprem hasarı yer değiştirme ve şekil değiştirme ile doğrudan ilişkilendirilebilir. Katın yaptığı deplasman, katın taban kısmına göre yanal yönde yer değiştirmesidir. Güçlendirme-3 için yapının her iki doğrultudaki kat deplasmanları aşağıda Çizelge 9.42’de verilmiştir.

**Çizelge 9.42.** Güçlendirme-3 kat deprem deplasman değerleri

Kat no	9. yükleme		10. yükleme		11. yükleme		12. yükleme	
	$\delta x$ (m)	$\theta z$ (rad)	$\delta x$ (m)	$\theta z$ (rad)	$\delta y$ (m)	$\theta z$ (rad)	$\delta y$ (m)	$\theta z$ (rad)
6	0.0287433	0.0001671	0.0287433	0.0001671	-0.033567	-0.000322	-0.033567	-0.000322
5	0.0223120	0.0001335	0.0223120	0.0001335	-0.024274	0.0000613	-0.024274	0.0000613
4	0.0172957	0.0000925	0.0172957	0.0000925	-0.019136	0.0000409	-0.019136	0.0000409
3	0.0117768	0.0000522	0.0117768	0.0000522	-0.013505	0.0000288	-0.013505	0.0000288
2	0.0062703	0.0000169	0.0062703	0.0000169	-0.007878	0.0000233	-0.007878	0.0000233
1	0.0017373	-0.000004	0.0017373	-0.000004	-0.003071	0.0000145	-0.003071	0.0000145

Deprem yapı salınımı:  $x= 0.00139$   $y= 0.00162$

Çizelge 9.43. Güçlendirme-3 için maksimum deprem deplasmanı (mm)

Kat	Hi (m)	uiX	uiY
6	20.700	28.7	33.6
5	16.500	22.3	24.3
4	13.300	17.3	19.1
3	10.100	11.8	13.5
2	6.900	6.3	7.9
1	3.700	1.7	3.1

### 9.3.1.4. Deprem perdeleri taban moment kontrolü

Çizelge 9.44. Kat deprem yük ve momenti (tm)

Kat	H (m)	Fx	Fx . H	H (m)	Fy	Fy . H
6	17.00	167.06	2840.05	17.00	169.77	2886.02
5	12.80	575.93	7371.96	12.80	567.04	7258.14
4	9.60	431.89	4146.17	9.60	473.79	4548.35
3	6.40	310.77	1988.93	6.40	329.34	2107.79
2	3.20	212.97	681.51	3.20	219.88	703.62
1	BODRUM	-	-	BODRUM	-	-
		1698.63	17028.62		1759.82	17503.93

Çizelge 9.45. Perde taban momenti (tm)

Perde	Mx	Σ Mxk =	Σ Mxr	M/Mo<1/3	My	Σ Myk =	Σ Myr	M/Mo<1/3
SZ002	567.02	811.66	1378.68	0.081 ✓	-	-	-	-
SZ048	-	-	-	-	125.37	307.13	432.51	0.025 ✓
SZ049	-	-	-	-	299.73	52.69	352.42	0.020 ✓
PZ088	598.92	82.42	681.34	0.040 ✓	-	-	-	-
PZ091	-	-	-	-	87.63	67.30	154.93	0.009 ✓
PZ094	-	-	-	-	2561.72	713.46	3275.18	0.187 ✓
PZ084	209.22	181.31	390.53	0.023 ✓	-	-	-	-
PZ086	213.16	181.07	394.23	0.023 ✓	-	-	-	-
PZ087	174.47	176.28	350.75	0.021 ✓	-	-	-	-
PZ092	-	-	-	-	30.08	17.72	47.80	0.003 ✓
PZ080+PZ089	2114.10	50.00	2164.09	0.127 ✓	1862.71	14.21	1876.92	0.107 ✓
PZ081+PZ095	1317.94	100.00	1417.93	0.083 ✓	3529.60	14.21	3543.82	0.202 ✓
PZ090+PZ083+PZ085	4122.26	199.99	4322.25	0.254 ✓	1727.07	9.72	1736.80	0.099 ✓
PZ082+PZ093	329.74	0.00	329.74	0.019 ✓	293.21	0.00	293.21	0.017 ✓
TOPLAM			11429.55				11713.59	

Perde taban moment oranı :

$$X \text{ yönü } \alpha_m = 11429.55 / 17028.62 = 0.67$$

$$Y \text{ yönü } \alpha_m = 11713.59 / 17503.93 = 0.67$$

### 9.3.1.5. Güçlendirme-3 için maliyet hesabı

Çizelge 9.46. Güçlendirme-3 için keşif özeti

Birim Fiyat Tarifi	Birim	Birim Fiyat (TL)	Miktar	Tutar (TL)
C30/37 Hazır Beton	m <sup>3</sup>	291.94	122	35616.68
Düz Yüzeyleli Betonarme Kalıbı	m <sup>2</sup>	82.78	1043.1	86347.82
8-12 mm Betonarme Demiri	ton	10700	9.5	101650
14-50 mm Nervürlü Betonarme Demiri	ton	10500	4.9	51450
Nakliye % 10				27506.45
<b>Toplam</b>				302570.9
Kdv % 18				54462.77
<b>Toplam</b>				357033.7
Aylık Artış % 1 x 11				39273.71
<b>Genel Toplam</b>				<b>396307.4</b>

2021 yılı Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Mimarlık ve Mühendislik Bedellerinin Hesabında Kullanılacak Yapı Yaklaşık Birim Maliyetlerine göre, III. A grubu yapılarda yaklaşık birim maliyet 1360 TL'dir. Yapının toplam alanı yaklaşık  $5 \times (41.25 \times 20.5) + 13 \times 7.4 = 4324.33$  m<sup>2</sup>'dir. Buradan hareketle mevcut binanın yeniden yapılması durumunda maliyeti,  $4324.33 \times 1360 = 5,881,088.8$  TL'dir. Bu değer yaklaşık % 40'ının kaba inşaat kısmının maliyeti olduğu göz önüne alındığında çıkan sonuç; 2,352,435.52 TL'dir. Güçlendirmede esas olan, güçlendirme için gerekli olan miktarın, binanın kaba inşaatının yeniden yapım masrafının toplamının % 40'ından küçük olması gerektiğidir. Bu durum sağlanmadığı zaman, ekonomik bir yaklaşım söz konusu olmaz ve yapının yıkılıp tekrar yapılması kararına varılır.

Güçlendirme-3 için  $2,352,435.52 \times 0,4 = 940,974.21$  TL > 396,307.4 TL

Yukarıdaki hesaptan hareketle, binanın güçlendirme maliyeti, bu güçlendirme önerisi için, kaba inşaat maliyetinden oldukça düşük çıkmıştır. Oran olarak bakıldığında ise kaba inşaatın yaklaşık olarak % 42.12'sine denk geldiği görülmüştür ve bu güçlendirme önerisinin ekonomik bir çözüm olmadığı sonucuna varılmıştır.

Ayrıca bu güçlendirme önerisinde 1 m<sup>3</sup> betonarme perde maliyeti yaklaşık olarak 2874.37 TL olarak bulunmuştur. Bir kolonun (30x60 boyutlarında) manto ile sarılması için gerekli tutar yaklaşık olarak 5174.34 TL olarak bulunmuştur.

### 9.3.2. Güçlendirme-3 için yapının DD-3 deprem yer hareketi düzeyine göre performans analizi

Yapının performansının sonucu aşağıda Şekil 9.47’de verilmiştir.

**BINA PERFORMANS SONUCU:**  
Kiriş Belirgin Hasar oranı= $0.0 \leq 20$  Sınırlı Hasar ✓

Şekil 9.47. Güçlendirme-3 için DD-3 deprem yer hareketi düzeyine göre performans analizi bina performans sonucu

#### 9.3.2.1. Güçlendirme-3 için yapının hasar durumları

Bütün yönlerde DD-3 deprem yer hareketi için yapı elemanlarının tamamının sınırlı hasar (SH) bölgesinde olduğu gözlenmiştir. Güçlendirme-3 önerisi için yapının kolon ve kirişlerinin hasar durumları yüzdesel olarak aşağıdaki grafikte verilmiştir.



Şekil 9.48. Güçlendirme-3 için tüm yönler kolon-kiriş hasar grafiği

#### 9.3.2.2. Yapı düzensizliklerinin kontrolü

Güçlendirme-3 önerisinde yapıya güçlendirme perdeleri ve manto eklenmiş olup yapının düzensizlik kontrolleri, STA4-CAD programı yardımıyla, çok modlu nonlineer analiz yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Sonuçlar her yön için aşağıdaki çizelgelerde gösterilmiştir (Çizelge 9.47, Çizelge 9.48, Çizelge 9.49).

**Çizelge 9.47.** Güçlendirme-3 için A1 (burulma düzensizliği), B2 (yumuşak kat) düzensizliklerinin kontrolü (X yönü)

Kat	$\Delta X$ üst (m)	$\Delta X$ alt (m)	$\Delta X$ ort	nbi	nki	$R/I \cdot \Delta x/h$	$\theta_i$	kat tipi
6	0.0018281	0.0018896	0.0018588	1.02	0.00	0.00180 ✓	0.00117 ✓	Normal kat
5	0.0013716	0.0015788	0.0014752	1.07	1.04	0.00197 ✓	0.00219 ✓	Normal kat
4	0.0015104	0.0017143	0.0016123	1.06	1.09	0.00214 ✓	0.00297 ✓	Normal kat
3	0.0015147	0.0016930	0.0016038	1.06	0.99	0.00212 ✓	0.00347 ✓	Normal kat
2	0.0012594	0.0013847	0.0013221	1.05	0.82	0.00173 ✓	0.00334 ✓	Normal kat
1	0.0005196	0.0004944	0.0005070	1.02	0.00	0.00056 ✓	0.00000 ✓	Bodrum kat

**Çizelge 9.48.** Güçlendirme-3 için A1 (burulma düzensizliği), B2 (yumuşak kat) düzensizliklerinin kontrolü (Y yönü)

Kat	$\Delta Y$ dsol (m)	$\Delta Y$ dsağ (m)	$\Delta Y$ ort	nbi	nki	$R/I \cdot \Delta y/h$	$\theta_i$	kat tipi
6	0.0019628	0.0032515	0.0026072	1.25	0.00	0.00310 ✓	0.00164 ✓	Normal kat
5	0.0015893	0.0013362	0.0014627	1.09	0.74	0.00199 ✓	0.00219 ✓	Normal kat
4	0.0016899	0.0015369	0.0016134	1.05	1.10	0.00211 ✓	0.00288 ✓	Normal kat
3	0.0016514	0.0015786	0.0016150	1.02	1.00	0.00206 ✓	0.00338 ✓	Normal kat
2	0.0014363	0.0013249	0.0013806	1.04	0.85	0.00180 ✓	0.00337 ✓	Normal kat
1	0.0009853	0.0008105	0.0008979	1.10	0.00	0.00107 ✓	0.00000 ✓	Bodrum kat

**Çizelge 9.49.** Güçlendirme-3 için B1 (zayıf kat) düşey doğrultudaki düzensizliklerin kontrolü

Kat	$A_w$	$A_{gx}$	$A_{gy}$	$A_{kx}$	$A_{ky}$	$\Sigma A_{ex}$	$\Sigma A_{ey}$	$nc_{ix}$	$nc_{iy}$	AÇIKLAMA
6	3.34	2.50	1.56	1.43	0.70	6.05	5.00	1.00	1.00	üst kat ✓
5	13.39	8.32	7.48	14.50	10.05	23.88	22.38	3.95	4.47	Düzenli ✓
4	14.15	8.32	7.48	14.67	9.35	24.67	23.04	1.03	1.03	Düzenli ✓
3	14.15	8.32	7.48	15.06	10.40	24.73	23.20	1.00	1.01	Düzenli ✓
2	14.45	8.32	7.48	14.92	10.77	25.01	23.55	1.01	1.02	Düzenli ✓
1	14.45	25.43	12.81	0.00	0.00	39.89	27.26	1.59	1.16	bodrum kat

### 9.3.2.3. Kat deprem deplasmanları

**Çizelge 9.50.** Güçlendirme-3 kat deprem deplasman değerleri

Kat no	9. yükleme		10. yükleme		11. yükleme		12. yükleme	
	$\delta x$ (m)	$\theta z$ (rad)	$\delta x$ (m)	$\theta z$ (rad)	$\delta y$ (m)	$\theta z$ (rad)	$\delta y$ (m)	$\theta z$ (rad)
6	0.0083463	0.0000481	0.0083463	0.0000481	-0.009703	-0.000093	-0.009703	-0.000093
5	0.0064252	0.0000386	0.0064252	0.0000386	-0.007010	0.0000185	-0.007010	0.0000185
4	0.0049888	0.0000267	0.0049888	0.0000267	-0.005531	0.0000124	-0.005531	0.0000124
3	0.0034062	0.0000151	0.0034062	0.0000151	-0.003908	0.0000087	-0.003908	0.0000087
2	0.0018190	0.0000049	0.0018190	0.0000049	-0.002285	0.0000069	-0.002285	0.0000069
1	0.0005082	-0.000001	0.0005082	-0.000001	-0.000898	0.0000042	-0.000898	0.0000042

Deprem yapı salınımı:  $x= 0.00040$   $y= 0.00047$

Çizelge 9.51. Güçlendirme-3 için maksimum deprem deplasmanı (mm)

Kat	H <sub>i</sub> (m)	u <sub>iX</sub>	u <sub>iY</sub>
6	20.700	8.3	9.7
5	16.500	6.4	7.0
4	13.300	5.0	5.5
3	10.100	3.4	3.9
2	6.900	1.8	2.3
1	3.700	0.5	0.9

### 9.3.2.4. Deprem perdeleri taban moment kontrolü

Çizelge 9.52. Kat deprem yük ve momenti (tm)

Kat	H (m)	F <sub>x</sub>	F <sub>x</sub> . H	H (m)	F <sub>y</sub>	F <sub>y</sub> . H
6	17.00	49.67	844.40	17.00	49.88	847.94
5	12.80	165.80	2122.30	12.80	163.69	2095.29
4	9.60	123.60	1186.55	9.60	135.85	1304.19
3	6.40	89.35	571.82	6.40	94.23	603.06
2	3.20	61.98	198.35	3.20	63.85	204.31
1	BODRUM	-	-	BODRUM	-	-
		490.40	4923.41		507.50	5054.78

Çizelge 9.53. Perde taban momenti (tm)

Perde	M <sub>x</sub>	∑ M <sub>xk</sub> =	∑ M <sub>xr</sub>	M/M <sub>0</sub> <1/3	M <sub>y</sub>	∑ M <sub>yk</sub> =	∑ M <sub>yr</sub>	M/M <sub>0</sub> <1/3
SZ002	163.56	234.77	398.33	0.081 ✓	-	-	-	-
SZ048	-	-	-	-	35.97	88.96	124.92	0.025 ✓
SZ049	-	-	-	-	86.17	15.17	101.34	0.020 ✓
PZ088	172.78	23.94	196.73	0.040 ✓	-	-	-	-
PZ091	-	-	-	-	25.35	19.47	44.81	0.009 ✓
PZ094	-	-	-	-	738.40	205.06	943.46	0.187 ✓
PZ084	60.35	52.46	112.81	0.023 ✓	-	-	-	-
PZ086	61.49	52.39	113.88	0.023 ✓	-	-	-	-
PZ087	50.35	51.00	101.36	0.021 ✓	-	-	-	-
PZ092	-	-	-	-	8.67	5.11	13.78	0.003 ✓
PZ080+PZ089	610.89	14.48	625.37	0.127 ✓	539.15	4.11	543.26	0.107 ✓
PZ081+PZ095	380.82	28.95	409.77	0.083 ✓	1016.19	4.11	1020.30	0.202 ✓
PZ090+PZ083+PZ085	1192.24	57.90	1250.14	0.254 ✓	500.31	2.77	503.08	0.100 ✓
PZ082+PZ093	95.29	0.00	95.29	0.019 ✓	84.76	0.00	84.76	0.017 ✓
TOPLAM			3303.67				3379.71	

Perde taban moment oranı :

$$X \text{ yönü } \alpha_m = 3303.67 / 4923.41 = 0.67$$

$$Y \text{ yönü } \alpha_m = 3379.71 / 5054.78 = 0.67$$



## 10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 10.1. Sonuçların Değerlendirilmesi

Bu bölümde yapının mevcut hali ile, üç farklı yöntemle göre güçlendirilmiş hali için taşıyıcı sistemin statik itme analizi sonucu ortaya çıkan sonuçlar karşılaştırılarak önerilen güçlendirme yöntemlerinin uygunluğunun araştırılması amaçlanmaktadır. Sonuçların daha anlaşılır şekilde kıyaslanabilmesi için birçok farklı kısıta göre karşılaştırmalar yapılmıştır. Sonuçlar DD-1 deprem yer hareketi düzeyine ve DD-3 deprem yer hareketi düzeyi için ayrı ayrı ele alınmıştır.

#### 10.1.1. Sonuçların DD-1 deprem yer hareketi düzeyine göre değerlendirilmesi

Yapının öncelikle DD-1 deprem yer hareketi için yani 2475 yılda bir olabilecek bir deprem etkisine tabi tutulduğunda ortaya çıkan sonuçlar incelenmiştir.

##### 10.1.1.1. Yapının hasar durumları

Yapının hasar durumlarının değerlendirilmesi her eleman için (kiriş, kolon ve perde) için ayrı ayrı irdelenmiştir.

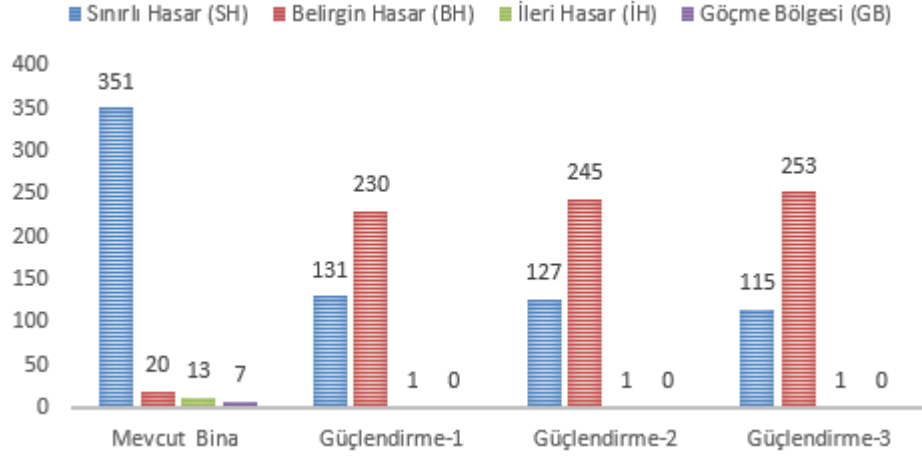
##### 10.1.1.1.1. Kiriş hasarlarının incelenmesi

Çizelge 10.1. Kirişlerin hasar durum değerleri (toplam eleman sayısı baz alınarak)

	Mevcut Bina	Güçlendirme-1	Güçlendirme-2	Güçlendirme-3
<b>Sınırlı Hasar (SH)</b>	351	131	127	115
<b>Belirgin Hasar (BH)</b>	20	230	245	253
<b>İleri Hasar (İH)</b>	13	1	1	1
<b>Göçme Bölgesi (GB)</b>	7	0	0	0

Mevcut yapıda ileri hasar (İH) bölgesinde ve göçme bölgesinde (GB) bulunan kirişlerin tamamına yakını ya belirgin hasar (BH) ya da sınırlı hasar (SH) bölgesine getirilmiştir. İleri hasar bölgesinde kalan tek kiriş ise 4. normal katta bulunan K6006 kirişi olup bu durum TBDY-2018 15.8.4. a) bendini sağladığı için yapının kontrollü hasar

performans düzeyini sağladığı kabul edilmiştir. Hasar durumları ise Çizelge 10.1 ve Şekil 10.1’de görülmektedir.



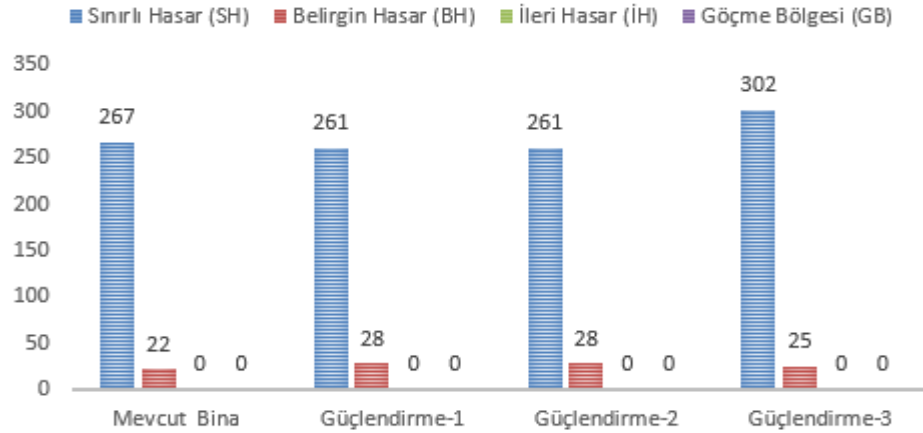
Şekil 10.1. Kirişlerin hasar durumları

#### 10.1.1.1.2. Kolon hasarlarının incelenmesi

Çizelge 10.2. Kolonların hasar durum değerleri (toplam eleman sayısı baz alınarak)

	Mevcut Bina	Güçlendirme-1	Güçlendirme-2	Güçlendirme-3
<b>Sınırlı Hasar (SH)</b>	267	261	261	302
<b>Belirgin Hasar (BH)</b>	22	28	28	25
<b>İleri Hasar (İH)</b>	0	0	0	0
<b>Göçme Bölgesi (GB)</b>	0	0	0	0

Kolonların tamamı sınırlı hasar (SH) ve belirgin hasar (BH) bölgesindedir. Hasar durumları ise Çizelge 10.2 ve Şekil 10.2’de görülmektedir.



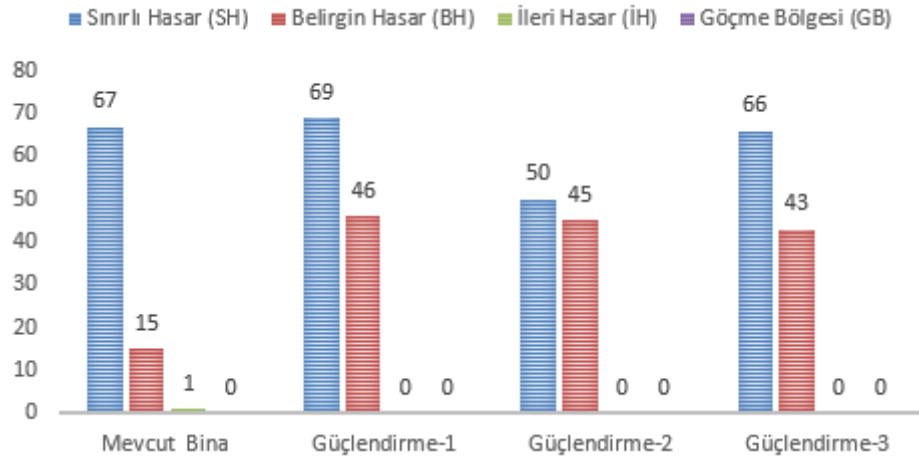
Şekil 10.2. Kolonların hasar durumları

### 10.1.1.1.3. Perde hasarlarının incelenmesi

Çizelge 10.3. Perdelerin hasar durum değerleri (toplam eleman sayısı baz alınarak)

	Mevcut Bina	Güçlendirme-1	Güçlendirme-2	Güçlendirme-3
<b>Sınırlı Hasar (SH)</b>	67	69	50	66
<b>Belirgin Hasar (BH)</b>	15	46	45	43
<b>İleri Hasar (İH)</b>	1	0	0	0
<b>Göçme Bölgesi (GB)</b>	0	0	0	0

Mevcut yapıda ileri hasar (İH) bölgesinde bulunan bir adet betonarme perde bulunmaktadır. Bu eleman güçlendirme hamleleri sonucunda ya belirgin hasar (BH) durumuna ya da sınırlı hasar (SH) durumuna getirilmiştir. Perde elemanların hasar durumları ise Çizelge 10.3 ve Şekil 10.3'te görülmektedir.



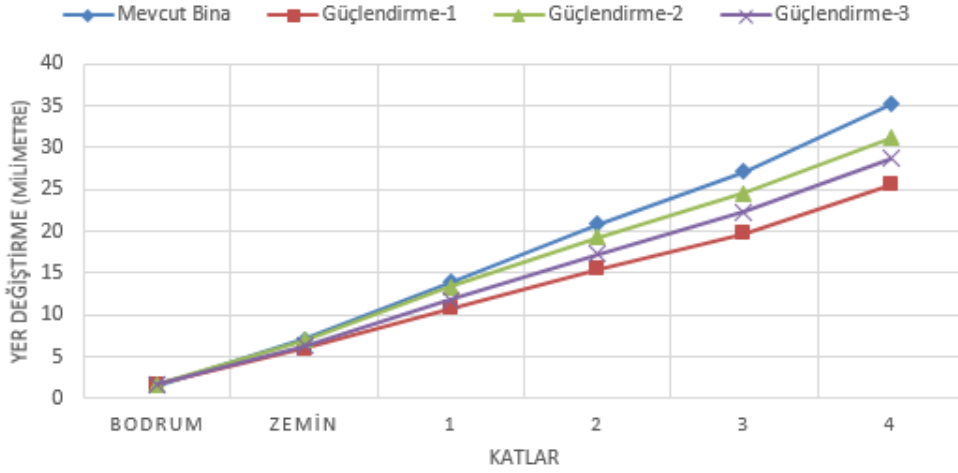
Şekil 10.3. Perdelerin hasar durumları

### 10.1.1.2. Yapının kat deprem deplasmanları

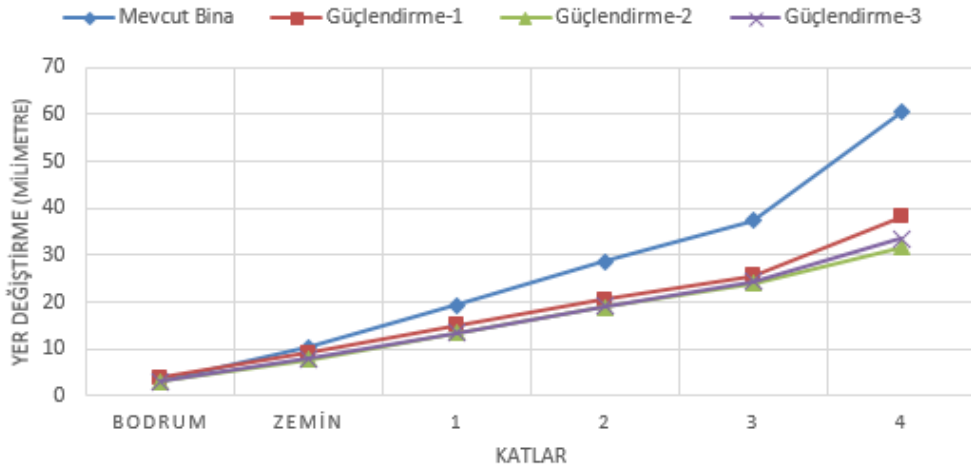
Çizelge 10.4. Yapının tüm durumlar için maksimum deprem deplasmanları

Kat	Yükseklik (m)	Mevcut Bina		Güçlendirme-1		Güçlendirme-2		Güçlendirme-3	
		Uix (mm)	Uiy (mm)	Uix (mm)	Uiy (mm)	Uix (mm)	Uiy (mm)	Uix (mm)	Uiy (mm)
4	20.7	35.2	60.4	25.6	38.2	31.2	31.7	28.7	33.6
3	16.5	27.1	37.3	19.7	25.5	24.5	24	22.3	24.3
2	13.3	20.8	28.7	15.5	20.6	19.3	19	17.3	19.1
1	10.1	13.9	19.4	10.8	15	13.3	13.4	11.8	13.5
Zemin	6.9	7.1	10.4	6	9.2	7	7.8	6.3	7.9
Bodrum	3.7	1.6	3.3	1.7	3.9	1.7	3	1.7	3.1

Yapının güçlendirme sonucunda deplasmanları her iki yönde (X, Y) de önemli ölçüde azalmıştır. Bu durumun oluşmasındaki en önemli etmen yapıya güçlendirme perdelerinin ilave edilmesidir. Özellikle yapının Y yönüne ilave edilen güçlendirme perdeleri o yöndeki yer değiştirmeleri önemli ölçüde azaltmıştır.



Şekil 10.4. X yönünde katların maksimum deprem deplasmanı (mm)



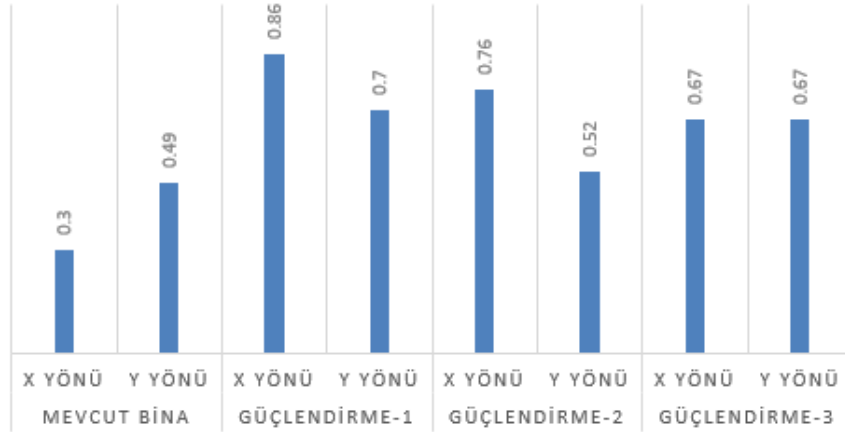
Şekil 10.5. Y yönünde katların maksimum deprem deplasmanı (mm)

### 10.1.1.3. Deprem perdeleri taban momenti kontrolü

Çizelge 10.5. Perde taban momenti oranları

	Mevcut Bina		Güçlendirme-1		Güçlendirme-2		Güçlendirme-3	
	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü
Toplam Perde Taban Momenti (t.m)	4736.48	7456.04	14941.45	11477.58	12591.12	8803	11429.55	11713.59
Toplam Kat Deprem Momenti (t.m)	15854.27	15137.01	17311.85	16413.09	16600.43	16949.04	17028.62	17503.93
Perde Taban Momenti Oranı	0.3	0.49	0.86	0.7	0.76	0.52	0.67	0.67

Yapıya eklenen betonarme perdeler yapıya etkiyen deprem kuvvetlerinin ve bu kuvvetler neticesinde oluşan momentlerin önemli kısmını karşılamaktadır. Özellikle Güçlendirme-1 önerisinin taban momenti taşıma kapasitesi oldukça yüksek olup neredeyse her iki yönde de deprem kuvvetlerinin tamamını perde elemanlarının taşıdığı varsayılabilir. Mevcut yapının durumuna kıyasla diğer güçlendirme alternatiflerinin de olumlu sonuçlar ihtiva ettiği gözlenmiştir.

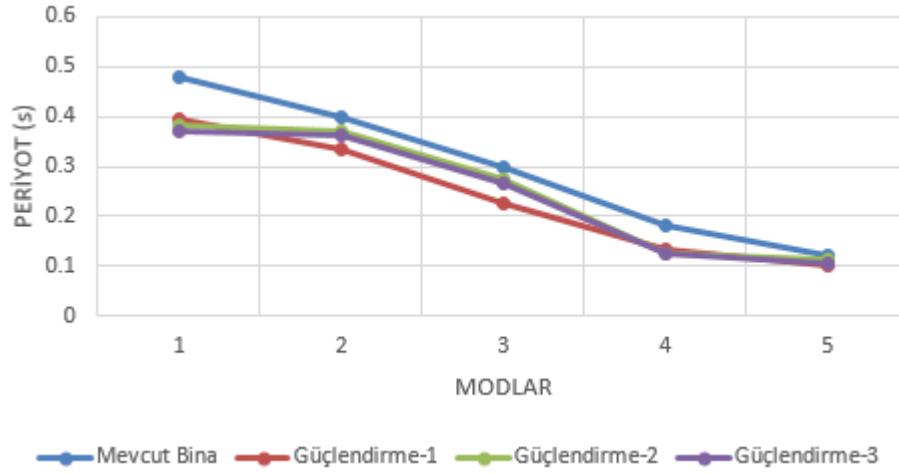


Şekil 10.6. Perde taban momenti oranları (om)

#### 10.1.1.4. Yapının periyotlarının incelenmesi

Çizelge 10.6. Yapı periyotlarının kıyaslanması

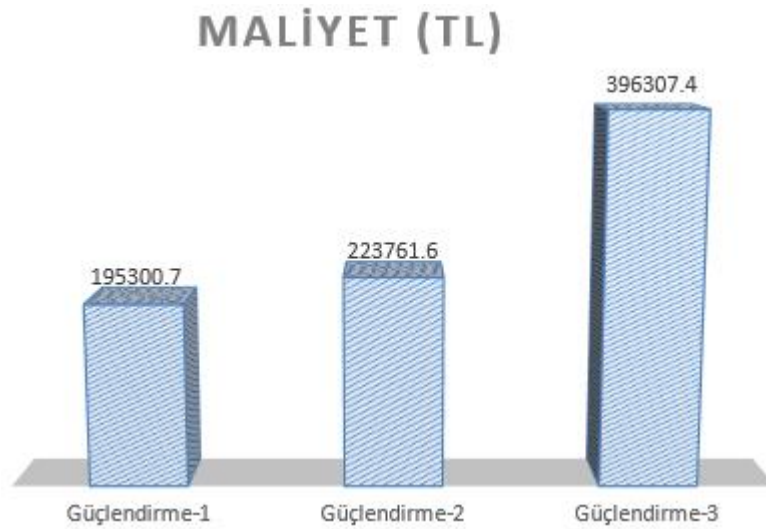
Mod	Mevcut Bina	Güçlendirme-1	Güçlendirme-2	Güçlendirme-3
	Periyot (s)	Periyot (s)	Periyot (s)	Periyot (s)
1	0.478	0.396	0.381	0.371
2	0.399	0.335	0.369	0.363
3	0.299	0.226	0.274	0.265
4	0.181	0.133	0.124	0.124
5	0.122	0.102	0.114	0.107



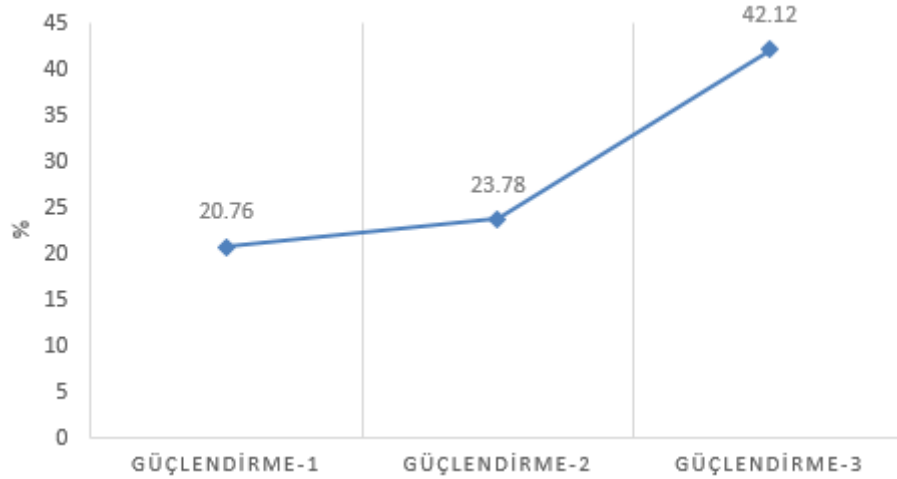
Şekil 10.7. Yapı periyotlarının karşılaştırılması

Güçlendirmelerin yapılmasından sonra yapının tüm mod durumları için periyotlarının düştüğü gözlemlenmiştir. Bu durumun oluşmasında yapıya her güçlendirme önerisi için belirli miktarda perde ilavesi yapılması etkili olmuştur.

#### 10.1.1.5. Yapının güçlendirme maliyetlerinin incelenmesi



Şekil 10.8. Güçlendirme maliyetlerinin kıyaslanması



**Şekil 10.9.** Güçlendirme maliyetlerinin kaba inşaat yapım miktarına kıyaslanması (yüzdesele olarak)

En ekonomik güçlendirme önerisinin Güçlendirme-1 çalışması olduğu görülmüştür. Zira bu öneride yapıya sadece betonarme güçlendirme perdeleri ilave edilmiştir. Bu da diğer güçlendirme önerilerinde olduğu gibi ekstra malzeme ve işçilik gibi gider kalemleri ortaya çıkarmamıştır. Sadece perdelerin yapım maliyeti olduğu için ortaya daha ekonomik bir çözüm çıkmıştır. Güçlendirme-2 önerisinde ise birim maliyeti yüksek olan karbon lifli polimer (FRP) kullanıldığı için maliyet bir nebze de olsa artış göstermiştir. Bu iki öneri de Şekil 10.8’de görüldüğü gibi kaba inşaat yapımının %40’ından daha az olduğu için ekonomik çözümler sunmuştur. Güçlendirme-3 önerisi ise gevrek hasarlı kolonların mantolama yapılması neticesinde hem daha fazla kalıp maliyeti hem de daha fazla demir maliyeti ortaya çıkardığı için ekonomiklikten uzaklaşmıştır. Kaba inşaat maliyetine oranı %40’ı aştığı için bu güçlendirme önerisinin uygulanması önerilmemektedir.

### 10.1.2. Sonuçların DD-3 deprem yer hareketi düzeyine göre değerlendirilmesi

Yapının öncelikle DD-3 deprem yer hareketi için yani tekrarlanma periyodu 72 yıl olan bir deprem etkisine tabi tutulduğunda ortaya çıkan sonuçlar incelenmiştir.

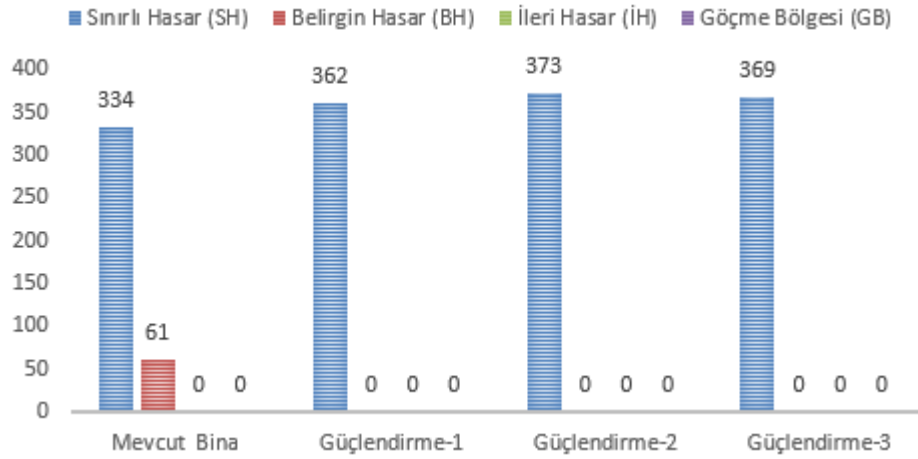
#### 10.1.2.1. Yapının hasar durumları

Yapının taşıyıcı elemanlarından sadece kirişler belirgin hasar (BH) bölgesine geçmiştir. Diğer taşıyıcı elemanlar (kolon ve perdeler) ise sınırlı hasar (SH) bölgesinde kalmıştır. Bu sebepten ötürü bu kısımda sadece kirişlerin hasar durumları incelenecektir.

### 10.1.2.1.1. Kiriş hasarlarının incelenmesi

Çizelge 10.7. Kirişlerin hasar durum değerleri (toplam eleman sayısı baz alınarak)

	Mevcut Bina	Güçlendirme-1	Güçlendirme-2	Güçlendirme-3
<b>Sınırlı Hasar (SH)</b>	334	362	373	369
<b>Belirgin Hasar (BH)</b>	61	0	0	0
<b>İleri Hasar (İH)</b>	0	0	0	0
<b>Göçme Bölgesi (GB)</b>	0	0	0	0



Şekil 10.10. Kirişlerin hasar durumları

Mevcut yapıda belirgin hasar (BH) bölgesinde bulunan kirişlerin tamamı güçlendirme önerileri ile sınırlı hasar (SH) bölgesine getirilmiştir. Hasar durumları ise Çizelge 10.7 ve Şekil 10.10’da görülmektedir.

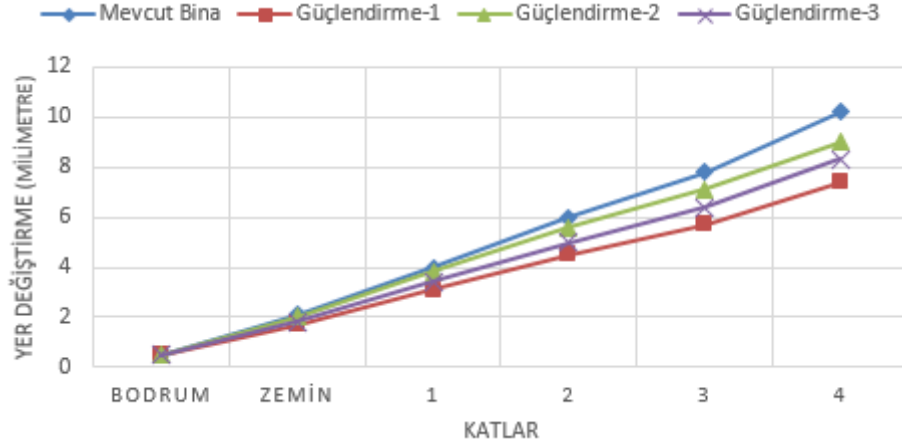
### 10.1.2.2. Yapının kat deprem deplasmanları

Çizelge 10.8. Yapının tüm durumlar için maksimum deprem deplasmanları

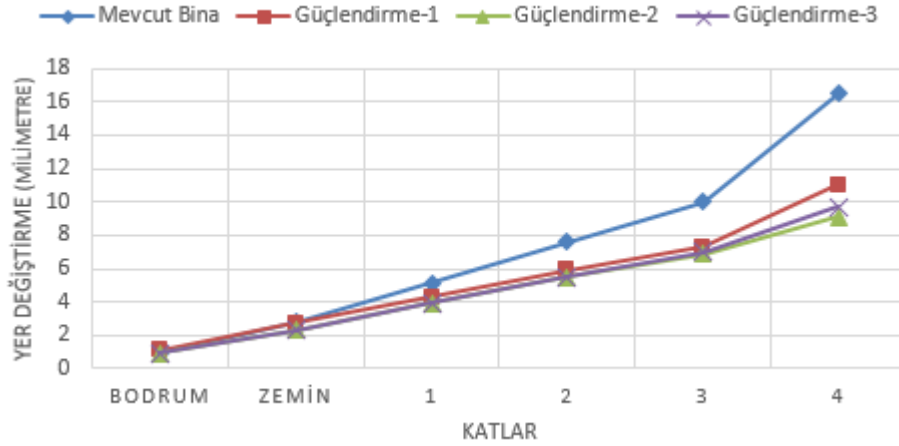
Kat	Yükseklik (m)	Mevcut Bina		Güçlendirme-1		Güçlendirme-2		Güçlendirme-3	
		Uix (mm)	Uiy (mm)	Uix (mm)	Uiy (mm)	Uix (mm)	Uiy (mm)	Uix (mm)	Uiy (mm)
4	20.7	10.2	16.5	7.4	11	9	9.1	8.3	9.7
3	16.5	7.8	10	5.7	7.3	7.1	6.9	6.4	7
2	13.3	6	7.6	4.5	5.9	5.6	5.5	5	5.5
1	10.1	4	5.1	3.1	4.3	3.8	3.9	3.4	3.9
Zemin	6.9	2.1	2.8	1.7	2.7	2	2.3	1.8	2.3
Bodrum	3.7	0.5	0.9	0.5	1.1	0.5	0.9	0.5	0.9



Yapıda DD-3 deprem yer hareketi düzeyi için oldukça sınırlı bir yer değiştirme oluşmuştur. Oluşan bu yer değiştirmeler ise yapının güçlendirilmesi sonucunda her iki yönde (X, Y) de azalmıştır.



Şekil 10.11. X yönünde katların maksimum deprem deplasmanı (mm)



Şekil 10.12. Y yönünde katların maksimum deprem deplasmanı (mm)

### 10.1.2.3. Deprem perdeleri taban moment kontrolü

Çizelge 10.9. Perde taban momenti oranları

	Mevcut Bina		Güçlendirme-1		Güçlendirme-2		Güçlendirme-3	
	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü
Toplam Perde Taban Momenti (t.m)	1364.01	2090.9	4328.75	3303.01	3633.87	2540.78	3303.67	3379.71
Toplam Kat Deprem Momenti (t.m)	4572.94	4254.96	5016.46	4727.31	4792.38	4894.67	4923.41	5054.78
Perde Taban Momenti Oranı	0.3	0.49	0.86	0.7	0.76	0.52	0.67	0.67

Yapıda DD-3 deprem yer hareketi düzeyi için DD-1 deprem yer hareketi düzeyine göre daha düşük momentler oluşmuştur. Lakin yapı davranışı gereği perdeler yine bir

önceki deprem altında olduğu gibi aynı davranışı göstermiştir ve aynı oranda moment taşıdıkları için perde taban momenti oranları aynı kalmıştır.

Yapının periyotları ve maliyet durumları aynı olduğu için ayrı başlık altında incelenmemiştir.

### 10.1.3. Sonuçların genel olarak değerlendirilmesi

Öncelikle DD-1 deprem yer hareketi düzeyi ve DD-3 deprem yer hareketi düzeyinin deprem parametrelerinin (en büyük yer ivmesi, en büyük yer hızı gibi) birbirinden farklı olmasından dolayı deprem tekrarlanma periyotları da bu değerlere paralel olarak farklılıklar göstermektedir. Dolayısıyla deprem parametreleri daha yüksek olan DD-1 deprem yer hareketi düzeyi 2475 yılda bir, DD-3 deprem yer hareketi düzeyi ise 72 yılda bir olabilecek bir depremi temsil etmektedir. Bu bağlamda daha uzun bir tekrarlanma periyodu olan depremin büyüklüğü daha fazla olmaktadır. Bu durum yapılarda daha fazla hasar oluştuğunu gözler önüne sermektedir.

Bu çalışmaya konu olan yapıda da benzer bir durum söz konusudur. Yapı DD-1 deprem yer hareketi düzeyine tabi tutulduğunda yapının taşıyıcı sistem elemanlarında (kolon, kiriş, perdelerde) oluşan hasarların DD-3 deprem yer hareketi düzeyine tabi tutulduğunda oluşan hasarlara nazaran daha fazla olduğu gözlenmiştir. DD-1 deprem yer hareketi düzeyi için performans analizi mevcut yapıda uygulandığında ileri hasar ve göçme bölgelerine geçen elemanlar gözlenmiştir. DD-3 deprem yer hareketi düzeyi için performans analizi yapıldığında ise yapı taşıyıcı sistem elemanlarında sadece belirgin hasar bölgesinde bulunan elemanlar tespit edilmiştir.

Bu durum güçlendirme önerileri ile çözülmüş olup DD-1 deprem yer hareketi düzeyi için eleman hasarları belirgin hasar bölgesine veya sınırlı hasar bölgesine, DD-3 deprem yer hareketi düzeyi için ise hasarlar sınırlı hasar bölgesine getirilmiştir. Ayrıca hasar durumları göz önüne alındığında Güçlendirme-1 önerisinin diğer önerilere göre biraz daha güvenli olduğu gözlenmiştir.

Mevcut yapının DD-1 deprem yer hareketi düzeyinde yapmış olduğu deplasmanlar DD-3 deprem yer hareketi düzeyinde yapının yapmış olduğu deplasmanlardan bir hayli yüksektir. Bu durum da aslında iki deprem arasındaki büyüklük farkını ortaya koymaktadır. Yapının performans analizi sonuçlarından hareketle yapının Y yönünde daha fazla deplasman yaptığı tespit edilmiş olup bu yöne eklenen betonarme güçlendirme perdeleri ile yapının yapmış olduğu deplasmanları önemli ölçüde

sınırlandırılmış olup daha makul rakamlar seviyesine çekilmiştir. Ayrıca yapının X yönündeki deplasmanlarının Güçlendirme-1 önerisinde daha az olduğu Y yönündeki deplasmanlarının ise Güçlendirme-2 önerisinde biraz daha az olduğu tespit edilmiştir.

Mevcut yapının perdelerinin DD-1 deprem yer hareketi düzeyinde almış olduğu momentler (hem kat bazında hem de toplam bazda) DD-3 deprem yer hareketi düzeyinde almış olduğu momentlerden oldukça fazladır. Yine bu durumdan iki depremin büyüklük farklarından meydana gelmektedir. Ama perde elemanlarının yapıdaki davranışı aynı olduğu için ve yapı sistemi değiştirilmediği için perde taban momenti oranları ( $\alpha_m$ ) her iki deprem durumu için değişiklik göstermemiştir. Perde taban momenti oranları kıyaslaması yapıldığında ise yapıya daha fazla perde ilavesi yapılan Güçlendirme-1 önerisinin daha iyi sonuç verdiği ortaya çıkmaktadır.

Mevcut yapıya oranla güçlendirme önerilerinde yapının periyodunun azaldığı gözlenmiştir. Bu da yapıya güçlendirme önerilerinde perde ilave edilmesi ve yapının daha rijit hale getirilmesinden kaynaklanmaktadır. Güçlendirme önerilerinde periyot değerleri her ne kadar birbirine yakın olsa da Güçlendirme-1 önerisinin periyot değerleri biraz daha düşük çıkmıştır.

Maliyet yönünden bakıldığında ise Güçlendirme-1 alternatifi daha az maliyetli olmakla beraber Güçlendirme-2 Alternatifi ile birbirlerine yakın sonuçlar ortaya koymaktadırlar. Güçlendirme-3 alternatifi ise manto yapılması sebebiyle artan kalıp, beton ve demir masrafları sebebiyle daha maliyetli olmuştur. Güçlendirme önerilerinin kaba inşaat masrafına kıyaslanması durumunda ise Güçlendirme-1 ve Güçlendirme-2 alternatifleri kaba inşaat masrafının %40'ından az olması sebebiyle daha ekonomik çözümler sunmuştur. Güçlendirme-3 alternatifi ise bu oranın üzerinde olduğu için ekonomik bir çözüm olmaktan uzaktır. Bu sebepten ötürü de uygulanması tavsiye edilmemektedir.

## 10.2. Öneriler

Yapılarda güçlendirme sadece deprem durumunda hasar almış binalara uygulanmamaktadır. Kullanım amacı değişen yapılara, yapı yapıldıktan sonra yapıya ilave katlar veya elemanlar yapıldığında da yapılara performans analizi yapılmalı ve hedeflenen deprem performans değerlerine ulaşılması sağlanmalıdır. Ayrıca ülkemizdeki belli tarihten önce (örneğin 2007'den önce) yapılmış tüm binalarda (kullanım amacı ne

olursa olsun) performans analizlerinin alanında uzman mimar ve mühendisler aracılığıyla yapılması su götürmez bir gerçektir.

Bu çalışma kapsamında yapıya düşük malzeme tanımlamaları yapılmıştır (C14 beton sınıfı, S220 çelik sınıfı). Ülkemizde geçmiş yıllarda yapılan birçok yapının da durumu ne yazık ki bu örnekten farklı değildir. Elle üretilen betonla, sağlıksız koşullarda hurda demirlerden geri dönüştürülerek elde edilen nervürsüz donatılarla yapılan birçok yapının geçmişte deprem etkisi dahi ortada yokken göçmesi sonucu onlarca insanımız zarar gördü. Bu durum bizi günümüzde daha dikkatli ve duyarlı olmaya teşvik etmektedir. Yapıların hem ilk defa yapılırken hem de yerinde mevcut bir yapıya güçlendirme projesi yaparken şartnamelere uygun, denetim mekanizmasına tabi olmuş şekilde üretimlerin yapılması önem arz etmektedir.

Aşılma olasılığı düşük olan büyüklüğü fazla olan depremlerde (örneğin DD-1 deprem yer hareketi düzeyi) yapıda önemli hasarların meydana gelmesi muhtemeldir. Ama böyle bir durumda dahi can kayıplarının önüne geçebilmek için elemanlar hasar alsa bile yapının tamamı ile göçmesinin önüne geçmek gerekir. Bu nedenden ötürü yapıya gelen deprem kuvvetlerinin karşılanabilmesi ve yeterli sünekliğin sağlanabilmesi için hem yeni yapılan binalara hem de mevcut durumda bulunup da güçlendirmesinin yapılacağı binalara yeterli betonarme perdelerin konulması gerekmektedir.

Yapıda eleman bazında güçlendirme yapılırken başvurulan yöntemlerden biri de mantolamadır. Mantolamada dikkat edilmesi gereken önemli noktalar ise mevcut beton üzerinde dişler oluşturularak yeni betonla aderansının sağlanması, donatı ankrajlarının iyi yapılması, donatı sürekliliğinin sağlanması olarak sayılabilir. Mantolama yapılırken en dikkat edilmesi gereken nokta mevcut kolon ile mantonun birlikte çalışması yani deprem anında yük aktarımının sağlanması gerektiğidir. Bu ise mevcut kolonun kriko ile askıya alınarak mantonun yapılması ile sağlanabilir. Maalesef bu durum güçlendirme çalışmalarında uygulanmasının zor olması sebebiyle her zaman yapılamamaktadır.

Karbon lifli polimerlerle (FRP) yapı elemanlarının (kolon, kiriş) sarılarak güçlendirilmesi son zamanlarda kullanılan bir diğer alternatiftir. Hafif olmalarına rağmen yüksek yük taşıma kapasitesine sahiptirler. Yapı kullanımını kısıtlamadan kolayca uygulanabilme özelliğine sahiptirler. Esnek yapılarından dolayı farklı şekillerde farklı yerlere uygulanabilirler. Ancak malzeme birim fiyatı olarak diğer alternatiflerden biraz daha pahalı olmaları sebebiyle sıkça kullanılamamaktadır.

Güçlendirme projelerine genellikle ilk olarak statik projeler üzerinden hareket edilerek başlanılır ve bazen mimari projeler ihmal edilir. Bu nedenle altlarına perde

eklenecek kirişler, perdeye çevrilecek duvarlar dikkatli seçilmeli gerekiyorsa boşluklar açılmalı; mantolama sonucu kesiti büyüyen kolonların kullanımda sorun çıkarmamasına dikkat edilmelidir. Güçlendirme projelerinin de tıpkı yeni yapılan bir bina gibi değerlendirilip hem mühendis hem de mimar iş birliği sonucu yapılması sağlanmalıdır. Yapılan bu çalışmada da mimari proje dikkate alınmış ve yapının kullanımını kısıtlayacak herhangi bir yaklaşımdan kaçınılmıştır.

Bir yapının güçlendirme projesi yapılırken oluşmuş yapı hasarlarının çok iyi irdelenip tecrübeli teknik ekiplerle değerlendirmesinin yapılması önem arz etmektedir. Bu ekiplerin sadece kağıt üzerindeki projeler hususunda değil yapılan bu projelerin şantiyelerde uygulanma aşamasında da tecrübeli olmaları yapılan işin hem kalitesini hem de güvenilirliğini artıracaktır. Aynı zamanda onarım ve güçlendirme işlerinde tecrübe kazanmış, denetim mekanizmasına uygun çalışan saha elemanları ile çalışmak da hayati öneme sahiptir.

Unutulmamalıdır ki mühim olan insanların yaşamlarını daha güvenli ve yaşanılabilir kılmak için bu çalışmalar yapılmaktadır. Herkesin (yüklenici, mühendis, işçi) üzerine düşen sorumluluğu alıp işini doğru şekilde yapması gereklidir. Bu çalışmalar ancak şartnamelere ve projelere uygun yapılırsa doğru sonuçlar vermektedir. Aksi takdirde yapılan işlemler yapının güçlendirilmesinden çok yapıya zarar vermektedir üstüne üstlük de maddi külfeti de yanında getirmektedir.

Bu çalışma için ayrıca çelik çapraz ilavesi yapılarak veya yapıya dışarıdan çerçeveler eklenerek de yapının güçlendirme alternatifleri çoğaltılarak yeni çalışma konuları oluşturulabilir.

## KAYNAKLAR

- AFAD, 2020, <https://www.afad.gov.tr/> [Ziyaret Tarihi: 10 Ekim 2021]
- Afzali, M. F. ,2018, Mevcut Bir Betonarme Okul Binasının Betonarme Perdelerle Güçlendirme Alternatiflerinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Aydın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Anonim, 2021, <https://www.demirfiyatları.com/> [Ziyaret Tarihi: 15 Kasım 2021]
- Anonim, 2021, <https://www.nalburdayim.com/teknowrap-600-600-gr/mlık-cift-yonlu-karbon-elyaf/> [Ziyaret Tarihi: 15 Kasım 2021]
- Aydoğan, M. ve Güler K. ,2003, Ders Notları, Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi Dersi, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi İstanbul.
- Aynur, S. ,2017, Mevcut Betonarme Bir Binanın Deprem Güvenliğinin Değerlendirilmesi ve Çelik Çaprazla Güçlendirme Önerisi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Bawary, M. S. ,2018, Betonarme Binaların Farklı Güçlendirme Yöntemleri ile Yapısal Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Bayülke, N. ,1995, Depremde Hasar Gören Yapıların Onarımı ve Güçlendirilmesi. T.M.M.O.B. İnşaat Mühendisleri Odası, İzmir.
- Beyli, E. ,2002, Betonarme Binalara Uygulanan Güçlendirme Yöntemleri ve Perde Yüksekliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Celep, Z. ve Kumbasar, N. ,2000, Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı İkinci Baskı, Beta Dağıtım, İstanbul.
- Çevik, M.Ö. ,2003, Betonarme Yapıların Onarım ve Güçlendirme Yöntemlerinin ve Bir Konut Yapısının Güçlendirme Projesinin Hazırlanarak Güçlendirme Sonrası Dinamik Karakteristiklerindeki Değişkenlerin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ergin, C. ,1998, Betonarme Yapıların Onarım ve Güçlendirme Teknikleri ve Çok Katlı Bir Yapıya Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Görgülü, O. ,2015, Mevcut Betonarme Okul Binalarında Güçlendirme Perdelerinin Etkinliğinin Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz ile İrdelenmesi, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- İdecad Teknik Bilgiler - ideStatik Ids - Nc İnşaat ve Deprem Mühendisliği İçin Bilgisayar Programı - Analiz ve Dizaynda Dünya Standardı - Temmuz 2000.

- Kavşut, N. ,2012, Depremde Hasar Gören Yapıların Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Kaya, M. ,2017, Betonarme Bir Okul Binasının 2007 Deprem Yönetmeliğine Göre Performansının Belirlenmesi ve Güçlendirme Alternatiflerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Keskin, E. ,2005, Betonarme Yapıların Onarımı Güçlendirilmesi ve Lifle Güçlendirilmiş Polimerler, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Öncü, G. ,2011, Mevcut Betonarme ve Yığma Binaların Depreme Karşı Onarım ve Güçlendirme Yöntemleri ve İzmir'deki Bazı Uygulama Örneklerinin İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, D.E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- SAP 2000 User Manual, Structural Analysis Program, Computers and Structures Inc., Berkeley, California, 2000.
- Soydan, S. ,2019, Doğrusal Analiz Yöntemi ile Mevcut Bir Betonarme Yapının Performans Değerlendirilmesi ve Güçlendirme Tahkiklerinin Yapılması, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Sta4-Cad, 2000 - Structural Analysis For Computer Aided Design - Version 14.1 - Copyright (C) - Serdar Amasralı - Sta Müh. Müş. Ltd. Şti.
- Şahin, Y. ,2019, Mevcut Bir Betonarme Binanın 2019 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne Göre Zaman Tanım Alanında Analizinin Yapılarak Performansının Belirlenmesi ve Çelik Güçlendirme Önerileri, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Şik, H. ,2014, Deprem Güvenliği Yetersiz Betonarme Bir Bina İçin Farklı Güçlendirme Önerilerinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- Şirin, C. ,2006, Yapılarda Oluşan Hasar Biçimleri ve Nedenleri ve Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi Teknikleri ile Bir Yapının Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- TBDY, 2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Ankara, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.
- TDY, 2007, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY). Ankara, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.
- Türk Standardı (TS500), Şubat 2000 - Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları -Türk Standardları Enstitüsü - Bakanlıklar/Ankara
- Uluöz, D. ,2010, Mevcut Binaların Güçlendirme Maliyetlerine Etki Eden Parametreler, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

User's Guide Etabs® 2016 Integrated Building Design Software - July 2016 - Computers & Structures, Inc. <http://www.csiamerica.com/>

Yakar, T. ,2001, Betonarme ve Çelik Yapı Elemanlarıyla Güçlendirilen Çok Katlı Bir Betonarme Yapının Güçlendirme Maliyetlerinin Kıyaslanması, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Yerci, N. ,2001, Betonarme Binalarda Onarım, Güçlendirme ve Bir Betonarme Yapının Güçlendirme Yönünden İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Yıldırım, M. ,2008, Deprem Etkisindeki Betonarme Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, M.K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay.

Yiğit, Y. ,2002, Betonarme Yapılarda Onarım ve Güçlendirme Yöntemleri ve Bir Güçlendirme Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Zolmaz, Y. ,2019, Mevcut Betonarme Bir Binanın Perdelerle Güçlendirilmesi ve Yapısal Performansının TBDY-2018'e Göre Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.