



T.C.

KIRŞEHİR AHİ EVRAN ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



**KIRŞEHİR İL MİLLİ EĞİTİM
MÜDÜRLÜĞÜNE BAĞLI MEVCUT
BETONARME BİNALARIN DEPREM
PERFORMANS ANALİZİNİN YAPILMASI VE
GÜÇLENDİRME UYGULAMALARI**

VAHİT SEYFİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KIRŞEHİR

2025



T.C.

KIRŞEHİR AHİ EVRAN ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



**KIRŞEHİR İL MİLLİ EĞİTİM
MÜDÜRLÜĞÜNE BAĞLI MEVCUT
BETONARME BİNALARIN DEPREM
PERFORMANS ANALİZİNİN YAPILMASI VE
GÜÇLENDİRME UYGULAMALARI**

VAHİT SEYFİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN

Prof. Dr. Mehmet Mustafa ÖNAL

KIRŞEHİR

2025

KIRŞEHİR AHİ EVRAN ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI
ETİK BEYANI

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesini okuduğumu ve anladığımı ve Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tez olarak sunduğum bu çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda bu konuda hakkımda yapılacak tüm yasal işlemleri ve aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

19/08/2025

Vahit SEYFİ

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa No

İÇİNDEKİLER DİZİNİ	I
TEŞEKKÜR	IV
ÖZET	V
ABSTRACT	VI
TABLolar DİZİNİ	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ	XI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XIV
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
3. MATERYAL VE METOT	9
3.1. Materyal.....	9
3.2. Metot.....	9
3.3. Yapı Taşıyıcı Sistemleri ve Deprem Etkisi.....	10
3.3.1. Taşıyıcı sistem seçimi	11
3.3.2. Yapıya etkiyen yükler	11
3.3.3. Deprem tasarım sınıflarının belirlenmesi.....	13
3.4. Deprem Etkisi Altındaki Mevcut Binaların Değerlendirilmesi	16
3.4.1. Binalarda kapsamlı bilgi düzeyinin belirlenme aşamaları	17
3.5. Bina Performans Düzeyleri.....	19
3.5.1. Mevcut binaların deprem performansının belirlenmesi	20
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	23
4.1. Mevcut Malzeme Dayanımının Belirlenmesi	23
4.2. Analiz Öncesi Hazırlıklar	25
4.3. Birinci Okul Binasından Bilgi Toplanması ve Röleve Çalışması	25
4.3.1. Yerleşim bilgileri	25
4.3.2. Yapısal geometri ve projeler	26
4.3.3. Malzeme tespit çalışmaları.....	28
4.3.4. Beton dayanımının belirlenmesi	28
4.3.5. Paspayı sıyırma ve donatı tespiti.....	29
4.3.6. Temel çukuru	31
4.3.7. Zemin incelemesi	31
4.3.8. Deprem parametreleri ve deprem performans hedefi.....	32

4.3.9. Mevcut yapının modellenmesi ve analizi.....	37
4.3.10. Güçlendirme seçenekleri ve sonuçların incelenmesi	43
4.4. İkinci Okul Binasından Bilgi Toplanması ve Röleve Çalışması	67
4.4.1. Yerleşim bilgileri	67
4.4.2. Yapısal geometri ve projeleri	68
4.4.3. Malzeme tespit çalışmaları.....	71
4.4.4. Beton dayanımının belirlenmesi	71
4.4.5. Paspayı sıyırma ve donatı tespiti.....	71
4.4.6. Temel çukuru	72
4.4.7. Zemin incelemesi	72
4.4.8. Deprem parametreleri ve deprem performans hedefi.....	73
4.4.9. Yapının modellenmesi ve analizi	78
4.4.10. İkinci Okul Binası Güçlendirme Önerisi	82
4.5. Betonarme Binalarda Güçlendirme Yöntemleri	102
4.6. Yapı Elemanlarının Güçlendirilmesi	103
4.6.1. Kolonlarda güçlendirme.....	103
4.6.2. Kirişlerde güçlendirme.....	106
4.6.3. Döşemelerde güçlendirme.....	108
4.6.4. Temelerde güçlendirme	110
4.7. Sistem Bazında Güçlendirme Yapılması	111
4.7.1. Betonarme yapıların yerinde dökme perdeler ile güçlendirilmesi	111
4.7.2. Çerçeve düzlemine bitişik betonarme perde ilave edilmesi.....	112
4.7.3. Çerçeve düzlemi içinde betonarme perde ilave edilmesi.....	112
4.7.4. Betonarme sisteme yeni çerçeveler eklenmesi.....	114
4.7.5. Betonarme yapının kütlelerinin azaltılması	115
4.8. Güçlendirme Uygulama Çalışmaları	115
4.8.1. Güçlendirme perdesi yapılacak kısımlardaki duvarların kaldırılması	115
4.8.2. Temel imalatı gereken yerlere temel takviyesi yapılması.....	117
4.8.3. Güçlendirme perdesi yapılacak yerlerdeki kolon kiriş beton üstü örtünün temizlenmesi.....	118
4.8.4. Ankraj uygulaması	119
4.8.5. Perde donatılarının yerleştirilmesi	128
4.8.6. Perde kalıplarının imalatı	132
4.8.7. Beton dökülmesi	132
4.8.8. Kalıpların sökülmesi	136

4.8.9. Yeni perdelerle sıva ve boya yapılarak onarılması	137
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	139
5.1. Elde Edilen Sonuçlar	139
5.2. Öneriler	140
KAYNAKLAR.....	143
EKLER.....	149
EK-1	149
EK-2.....	150
ÖZGEÇMİŞ.....	151

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőmasının hazırlanması sürecinde bilgi ve tecrübeleri ile her zaman yanımda olan, akademik bakış açısı kazanmama katkı sağlayan, sabırla rehberlik ederek çalışma disiplini kazandıran değerli danıőmanım Prof. Dr. Mehmet Mustafa ÖNAL'a en içten teőekkürlerimi sunarım.

Lisansüstü eğitimim boyunca bilgi ve birikimleri, akademik rehberlikleri ve değerli katkılarıyla gelişimime destek olan İnşaat Mühendisliği Anabilim dalındaki tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Tez sürecinde akademik motivasyonumu yüksek tutmamda desteklerini esirgemeyen, sabır ve anlayıőları ile yanımda olduklarını her zaman hissettiren kıymetli aileme, desteğini her zaman hissettiren dostlarıma sonsuz teşekkür ederim.

Araştırma sürecinde görüş, öneri ve katkıları ile çalışmanın ilerlemesine katkı sağlayan tüm paydaőlara ve bu sürecin daha verimli geçmesini sağlayan herkese teşekkür eder, bu çalışmanın alana katkı sağlamasını temenni ederim.

Temmuz, 2025

Vahit SEYFİ

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KIRŞEHİR İL MİLLİ EĞİTİM MÜDÜRLÜĞÜNE BAĞLI MEVCUT BETONARME BİNALARIN DEPREM PERFORMANS ANALİZİNİN YAPILMASI VE GÜÇLENDİRME UYGULAMALARI

Vahit SEYFİ

KIRŞEHİR AHI EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman: Prof. Dr. Mehmet Mustafa ÖNAL
Yıl: 2025, Sayfa: 151
Jüri: Prof. Dr. Mehmet Mustafa ÖNAL
Prof. Dr. Ali KOÇAK
Dr. Öğr. Üyesi Furkan BİRDAL

Son yıllarda ülkemizde meydana gelen depremler, mevcut yapı stoklarının depreme karşı dayanıklılığının sorgulanmasını zorunlu kılmıştır. Özellikle Türkiye'nin büyük bir kısmının aktif fay hatları üzerinde yer alması sonucunda meydana gelecek depremlerde can ve mal kaybını minimum seviyeye indirmek adına, mevcut binaların performanslarının değerlendirilmesini ve güçlendirilmesini kaçınılmaz hâle getirmiştir. Bu çalışma, deprem performans analizi sonucu güçlendirme ihtiyacı olan iki adet betonarme okul binasının deprem performanslarının iyileştirilmesini sağlamak için yapılan müdahaleleri, müdahaleler sırasında hangi adımların izlendiğini ve sahada uygulama aşamalarının gösterilmesini amaçlamaktadır. Araştırma, Kırşehir'de bulunan iki okul binasının güçlendirme yöntemlerini incelemektedir. Öncelikle, farklı geometrilere sahip bu yapıların mevcut durumları belirlenmiş; zemin etüt çalışmaları, alınan numuneler üzerindeki testler ve yapısal özellikler doğrultusunda STA4CAD yazılımı kullanılarak detaylı analizler gerçekleştirilmiştir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) çerçevesinde yapılan değerlendirmeler sonucunda, binaların olası deprem senaryoları altındaki performans seviyeleri belirlenmiş ve her iki yapının da güçlendirilmesi gerektiği tespit edilmiştir. Güçlendirme yöntemlerinin seçimi sırasında fayda-maliyet oranı gibi kritik parametreler göz önünde bulundurulmuş, ekonomik verimlilik ile yapısal güvenlik arasındaki denge sağlanmaya çalışılmıştır. Çalışma kapsamında, mevcut yapısal analiz varsayımlarının sonuçlar üzerindeki etkisi detaylı bir şekilde ortaya konmuş; bu kapsamda yapılan değerlendirmelerin sadece incelenen yapılar için değil, benzer özelliklere sahip kamu binaları için de yol gösterici olması hedeflenmiştir. Bu araştırma, sadece örnek yapıların güvenliğini artırmayı değil, aynı zamanda benzer özelliklere sahip kamu yapılarının değerlendirilmesine ışık tutmayı, yerel yönetimler ve mühendisler için sürdürülebilir bir güçlendirme yaklaşımı geliştirmeyi amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Güçlendirme, Deprem performans analizi, TBDY 2018, Betonarme yapı

ABSTRACT

MASTER'S THESIS

**EARTHQUAKE PERFORMANCE ANALYSIS AND STRENGTHENING
APPLICATIONS OF EXISTING REINFORCED CONCRETE BUILDINGS
AFFILIATED TO KIRŞEHİR PROVINCIAL DIRECTORATE OF NATIONAL
EDUCATION**

Vahit SEYFİ

**KIRŞEHİR AHİ EVRAN UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING**

**Supervisor: Prof. Dr. Mehmet Mustafa ÖNAL
Year: 2025, Pages: 151
Juries: Prof. Dr. Mehmet Mustafa ÖNAL
Prof. Dr. Ali KOÇAK
Assist. Prof. Dr. Furkan BİRDAL**

The earthquakes that have occurred in our country in recent years have made it necessary to question the earthquake resistance of existing building stocks. Especially since a large part of Turkey is located on active fault lines, it has become inevitable to evaluate the performance of existing buildings and strengthen them in order to minimize the loss of life and property in the event of an earthquake. This study aims to show the interventions made to improve the earthquake performance of two reinforced concrete school buildings that needed strengthening as a result of the earthquake performance analysis, the steps followed during the interventions and the application stages in the field. The research examines the strengthening methods of two school buildings located in Kırşehir. First of all, the current status of these structures with different geometries was determined; detailed analyzes were carried out using STA4CAD software in line with ground survey studies, tests on samples taken and structural features. As a result of the evaluations made within the framework of the Turkish Building Earthquake Code (TBDY-2018), the performance levels of the buildings under possible earthquake scenarios were determined and it was determined that both structures needed to be strengthened. During the selection of reinforcement methods, critical parameters such as the benefit-cost ratio were taken into consideration, and a balance was tried to be achieved between economic efficiency and structural safety. Within the scope of the study, the effect of existing structural analysis assumptions on the results was revealed in detail; within this scope, the evaluations made were aimed to be guiding not only for the examined structures but also for public buildings with similar characteristics. This research aims not only to increase the safety of sample structures, but also to shed light on the evaluation of public buildings with similar characteristics, and to develop a sustainable reinforcement approach for local governments and engineers.

Key Words: Reinforcement, Earthquake performance analysis, TBDY 2018, Reinforced concrete structure

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 3.1. Deprem Tasarım Sınıfları (DTS) (TBDY, 2018).....	13
Tablo 3.2. Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayıları F_s (TBDY, 2018).....	13
Tablo 3.3. 1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayıları (TBDY, 2018).....	14
Tablo 3.4. Mevcut Yerde Dökme Betonarme Binalar (Yüksek binalar dışında $BYS 2 \geq$) (TBDY, 2018).....	14
Tablo 3.5. Bina Yükseklik Sınıfı (BYS) (TBDY, 2018).....	15
Tablo 3.6. Binalar İçin Bilgi Düzeyi Katsayıları (TBDY, 2018).....	17
Tablo 3.7. Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayıları (TBDY, 2018).....	17
Tablo 4.1. Yapısal Geometri Tablosu.....	26
Tablo 4.2. Birinci okul karot sonuçları.....	29
Tablo 4.3. Kolonlarda paspayı sıyırma ile donatı tespit tablosu.....	30
Tablo 4.4. Kirişlerde paspayı sıyırma ile donatı tespit tablosu.....	31
Tablo 4.5. Zemin parametreleri.....	32
Tablo 4.6. Yüzeysel temeller için dayanım katsayıları tablosu.....	32
Tablo 4.7. Yatak katsayısı tablosu.....	32
Tablo 4.8. Zemin değerleri.....	32
Tablo 4.9. Hareketli Yük Katılım Katsayısı (TBDY, 2018).....	37
Tablo 4.10. Mevcut yapının X yönünde burulma düzensizliği (A1) ve yumuşak kat (B2) düzensizliklerinin kontrolü.....	40
Tablo 4.11. Mevcut yapının Y yönünde burulma düzensizliği (A1) ve yumuşak kat (B2) düzensizliklerinin kontrolü (STA4CAD raporları).....	40
Tablo 4.12. Mevcut yapının (B1) düşey doğrultuda düzensizliklerinin kontrolü (STA4CAD raporları).....	40
Tablo 4.13. Yapı burulma kütle atalet momenti (STA4CAD raporları).....	40
Tablo 4.14. Kat kütlesi ve rijitlik merkezi (STA4CAD raporları).....	40
Tablo 4.15. Kat deprem deplasmanları (STA4CAD raporları).....	41
Tablo 4.16. Kat deprem momenti kontrolü (STA4CAD raporları).....	41
Tablo 4.17. Yapı devrilme kontrolü (STA4CAD raporları).....	41
Tablo 4.18. Kolon ve kiriş kesme kuvveti dağılımı.....	41
Tablo 4.19. Güçlendirilmesi gereken gevrek eleman listesi.....	42
Tablo 4.20. Kat Eko kontrolü.....	43
Tablo 4.21. Güçlendirme-1 sonrası yapının X yönünde burulma düzensizliği(A1) ve yumuşak kat (B2) düzensizliklerinin kontrolü.....	46
Tablo 4.22. Güçlendirme-1 sonrası yapının Y yönünde burulma düzensizliği(A1) ve yumuşak kat (B2) düzensizliklerinin kontrolü (STA4CAD raporları).....	46
Tablo 4.23. Güçlendirme-1 sonrası yapının (B1) düşey doğrultuda düzensizliklerinin kontrolü (STA4CAD raporları).....	47
Tablo 4.24. Güçlendirme-1 sonrası yapının burulma kütle atalet momenti (STA4CAD raporları).....	47
Tablo 4.25. Güçlendirme-1 sonrası yapının kat kütlesi ve rijitlik merkezi (STA4CAD raporları).....	47
Tablo 4.26. Kat deprem deplasmanları (STA4CAD raporları).....	47
Tablo 4.27. Kat deprem momenti kontrolü (STA4CAD raporları).....	47
Tablo 4.28. Yapı devrilme kontrolü (STA4CAD raporları).....	48
Tablo 4.29. Kolon kesme kuvveti dağılımı ve bina performansı.....	48
Tablo 4.30. Yapının mimarlık hizmetlerine göre birim m^2 maliyeti.....	50

Tablo 4.31. Güçlendirme ve onarım maliyeti yaklaşık maliyet icmali	51
Tablo 4.32. Yapı fayda maliyet değerlendirmesi tablosu.....	51
Tablo 4.33. Güçlendirme-2 sonrası yapının X yönünde burulma düzensizliği(A1) ve yumuşak kat (B2) düzensizliklerinin kontrolü	54
Tablo 4.34. Güçlendirme-2 sonrası yapının Y yönünde burulma düzensizliği (A1) ve yumuşak kat (B2) düzensizliklerinin kontrolü (STA4CAD raporları)	54
Tablo 4.35. Güçlendirme-2 sonrası yapının (B1) düşey doğrultuda düzensizliklerinin kontrolü (STA4CAD raporları)	55
Tablo 4.36. Güçlendirme-2 sonrası yapının burulma kütle atalet momenti (STA4CAD raporları).....	55
Tablo 4.37. Güçlendirme-2 sonrası yapının kat kütlesi ve rijitlik merkezi (STA4CAD raporları).....	55
Tablo 4.38. Kat deprem deplasmanları (STA4CAD raporları)	55
Tablo 4.39. Kat deprem momenti kontrolü (STA4CAD raporları).....	55
Tablo 4.40. Yapı devrilme kontrolü (STA4CAD raporları).....	56
Tablo 4.41. Kolon ve kirişlerde kesme kuvveti dağılımı ve bina performansı	56
Tablo 4.42. Güçlendirme-2 için güçlendirme ve onarım yaklaşık maliyet icmali	58
Tablo 4.43. Yapı fayda maliyet değerlendirmesi tablosu.....	58
Tablo 4.44. Güçlendirme-3 sonrası yapının X yönünde burulma düzensizliği (A1) ve yumuşak kat (B2) düzensizliklerinin kontrolü.....	61
Tablo 4.45. Güçlendirme-1 sonrası yapının Y yönünde burulma düzensizliği (A1) ve yumuşak kat (B2) düzensizliklerinin kontrolü (STA4CAD raporları)	61
Tablo 4.46. Güçlendirme-3 sonrası yapının (B1) düşey doğrultuda düzensizliklerinin kontrolü (STA4CAD raporları)	62
Tablo 4.47. Güçlendirme-3 sonrası yapının burulma kütle atalet momenti (STA4CAD raporları).....	62
Tablo 4.48. Güçlendirme-3 sonrası yapının kat kütlesi ve rijitlik merkezi (STA4CAD raporları).....	62
Tablo 4.49. Kat deprem deplasmanları (STA4CAD raporları)	62
Tablo 4.50. Kat deprem momenti kontrolü (STA4CAD raporları).....	62
Tablo 4.51. Yapı devrilme kontrolü (STA4CAD raporları).....	63
Tablo 4.52. Kolon ve kirişlerde kesme kuvveti dağılımı ve bina performansı	63
Tablo 4.53. Güçlendirme ve onarım maliyeti yaklaşık maliyet icmali	65
Tablo 4.54. Yapı fayda maliyet değerlendirmesi tablosu	66
Tablo 4.55. Deprem yapı salınımlarını karşılaştırması.....	66
Tablo 4.56. Deprem Momenti Kontrolü.....	66
Tablo 4.57. Yapı Güçlendirme Maliyetleri kontrolü.....	66
Tablo 4.58. Yapısal Geometri Tablosu.....	69
Tablo 4.59. Karot Sonuçları	71
Tablo 4.60. Donatı tespiti	71
Tablo 4.61. Donatı değerleri.....	72
Tablo 4.62. Beton test çekici deney raporu	72
Tablo 4.63. Zemin değerleri	73
Tablo 4.64. Hareketli Yük Katılım Katsayısı (TBDY, 2018)	78
Tablo 4.65. Yapı EKO değerleri.....	78
Tablo 4.66. Mevcut yapının X yönünde burulma düzensizliği(A1) ve yumuşak kat (B2) düzensizliklerinin kontrolü.....	79
Tablo 4.67. Mevcut yapının Y yönünde burulma düzensizliği (A1) ve yumuşak kat (B2) düzensizliklerinin kontrolü (STA4CAD raporları)	80

Tablo 4.68. Mevcut yapının (B1) düşey doğrultuda düzensizliklerinin kontrolü (STA4CAD raporları).....	80
Tablo 4.69. Yapı burulma kütle atalet momenti (STA4CAD raporları)	80
Tablo 4.70. Kat Kütlesi ve rijitlik merkezi (STA4CAD raporları)	80
Tablo 4.71. Kat deprem deplasmanları (STA4CAD raporları)	80
Tablo 4.72. Kat deprem momenti kontrolü (STA4CAD raporları).....	80
Tablo 4.73. Yapı devrilme kontrolü (STA4CAD raporları).....	81
Tablo 4.74. Kolon ve kiriş kesme kuvveti dağılımı	81
Tablo 4.75. Güçlendirilmesi gereken gevrek eleman listesi.....	82
Tablo 4.76. Güçlendirme-1 sonrası yapının X yönünde burulma düzensizliği(A1) ve yumuşak kat (B2) düzensizliklerinin kontrolü	83
Tablo 4.77. Güçlendirme-1 sonrası yapının Y yönünde burulma düzensizliği(A1) ve yumuşak kat (B2) düzensizliklerinin kontrolü (STA4CAD raporları).....	84
Tablo 4.78. Güçlendirme-1 sonrası yapının (B1) düşey doğrultuda düzensizliklerinin kontrolü (STA4CAD raporları)	84
Tablo 4.79. Güçlendirme-1 sonrası yapının burulma kütle atalet momenti (STA4CAD raporları).....	84
Tablo 4.80. Güçlendirme-1 sonrası yapının kat kütlesi ve rijitlik merkezi (STA4CAD raporları).....	84
Tablo 4.81. Kat deprem deplasmanları (STA4CAD raporları)	84
Tablo 4.82. Kat deprem momenti kontrolü (STA4CAD raporları).....	84
Tablo 4.83. Yapı devrilme kontrolü (STA4CAD raporları).....	85
Tablo 4.84. Kolon ve kiriş kesme kuvveti dağılımı ve bina performansı	85
Tablo 4.85. Güçlendirme ve onarım maliyeti yaklaşık maliyet icmali	89
Tablo 4.86. Yapı fayda maliyet değerlendirmesi tablosu.....	90
Tablo 4.87. Güçlendirme sonrası yapının X yönünde burulma düzensizliği(A1) ve yumuşak kat (B2) düzensizliklerinin kontrolü	90
Tablo 4.88. Güçlendirme sonrası yapının Y yönünde burulma düzensizliği(A1) ve yumuşak kat (B2) düzensizliklerinin kontrolü (STA4CAD raporları).....	91
Tablo 4.89. Güçlendirme sonrası yapının (B1) düşey doğrultuda düzensizliklerinin kontrolü (STA4CAD raporları)	91
Tablo 4.90. Güçlendirme sonrası yapının burulma kütle atalet momenti (STA4CAD raporları)	91
Tablo 4.91. Güçlendirme sonrası yapının kat kütlesi ve rijitlik merkezi (STA4CAD raporları)	91
Tablo 4.92. Kat deprem deplasmanları (STA4CAD raporları)	91
Tablo 4.93. Kat deprem momenti kontrolü (STA4CAD raporları).....	91
Tablo 4.94. Yapı devrilme kontrolü (STA4CAD raporları).....	92
Tablo 4.95. Kolon ve kiriş kesme kuvveti dağılımı ve bina performansı	92
Tablo 4.96. Güçlendirme ve onarım maliyeti yaklaşık maliyet icmali	94
Tablo 4.97. Yapı fayda maliyet değerlendirmesi tablosu.....	94
Tablo 4.98. Güçlendirme sonrası yapının X yönünde burulma düzensizliği(A1) ve yumuşak kat (B2) düzensizliklerinin kontrolü	96
Tablo 4.99. Güçlendirme sonrası yapının Y yönünde burulma düzensizliği(A1) ve yumuşak kat (B2) düzensizliklerinin kontrolü (STA4CAD raporları).....	96
Tablo 4.100. Güçlendirme sonrası yapının (B1) düşey doğrultuda düzensizliklerinin kontrolü (STA4CAD raporları)	96
Tablo 4.101. Güçlendirme sonrası yapının burulma kütle atalet momenti (STA4CAD raporları).....	97

Tablo 4.102. Güçlendirme sonrası yapının kat kütlesi ve rijitlik merkezi (STA4CAD raporları).....	97
Tablo 4.103. Kat deprem deplasmanları (STA4CAD raporları)	97
Tablo 4.104. Kat deprem momenti kontrolü (STA4CAD raporları).....	97
Tablo 4.105. Yapı devrilme kontrolü (STA4CAD raporları).....	97
Tablo 4.106. Kolon ve kiriş kesme kuvveti dağılımı ve bina performansı	98
Tablo 4.107. FRP kullanılan kolonların özellikleri	98
Tablo 4.108. Güçlendirme ve onarım maliyeti yaklaşık maliyet icmali	100
Tablo 4.109. Yapı fayda maliyet değerlendirmesi tablosu	101
Tablo 4.110. deprem yapı salınımı karşılaştırması.....	101
Tablo 4.111. Deprem Momenti Kontrolü	101
Tablo 4.112. Yapı Güçlendirme Maliyetleri kontrolü	101
Tablo 4.113. Sarfiyat tablosu.....	120
Tablo 4.114. Birinci okul binası ankraj tablosu.....	121
Tablo 4.115. İkinci okul binası ankraj tablosu	121
Tablo 4.116. Ankrajların çapına göre olması gereken değerleri	126
Tablo 4.117. Testlerde minimum akma miktarı	126
Tablo 4.118. Birinci okul binası ankraj çekme test sonuçları	127
Tablo 4.119. İkinci okul binası ankraj çekme test sonuçları	128
Tablo 4.120. Türk Standartı 708- Anma Çapına göre Sınır Değerler	131
Tablo 4.121. Donatı çeliği deney raporu	131
Tablo 4.122. Beton numunesi adet çizelgesi (Tablo Çevre Şehircilik Bakanlığı Beton Dökümü konulu 13.04.2022 tarihli genelgeden alınmıştır.)	134
Tablo 4.123. İkinci okul zemin kat perde duvar beton metrajı.....	134
Tablo 4.124. Birinci okul bodrum kat perde duvar beton metraj	134
Tablo 4.125. TS 500'e göre olması gereken beton numune sonuç değerleri	135
Tablo 4.126. Birinci okul beton basınç deney raporu.....	135
Tablo 4.127. İkinci okul beton basınç deney raporu	136

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 3.1. Bina Toplam Yüksekliği H_N (TBDY, 2018).....	16
Şekil 3.2. Kesit Hasar Bölgeleri (TBDY, 2018)	20
Şekil 4.1. 1. Okul uydu görüntüsü (Parsel Sogu Uygulaması Google Görüntüsü).....	26
Şekil 4.2. Binanın mevcut durumunun ön ve arka cephe görüntüsü.....	26
Şekil 4.3. Bodrum kat planı	27
Şekil 4.4. Zemin kat planı	27
Şekil 4.5. 1, 2 ve 3. katların planı	28
Şekil 4.6. Karot alım detayı (Kan, 2020)	28
Şekil 4.7. Karot alımı	29
Şekil 4.8. Paspayı sıyırma örnekleri.....	30
Şekil 4.9. Temel Çukuru Kazılması ve Ölçümü	31
Şekil 4.10. Mevcut binanın AFAD verileri (https://tdth.afad.gov.tr)	33
Şekil 4.11. Mevcut yapının yerel zemin sınıfı (https://tdth.afad.gov.tr).....	34
Şekil 4.12. Yerel zemin etki katsayıları (https://tdth.afad.gov.tr).....	34
Şekil 4.13. Yapının yatay elastik tasarım spektrumu (https://tdth.afad.gov.tr)	35
Şekil 4.14. Yapının düşey elastik tasarım spektrumu (https://tdth.afad.gov.tr).....	35
Şekil 4.15. 1. okul binası kesiti	36
Şekil 4.16. Mevcut yapının deprem raporu.....	37
Şekil 4.17. Mevcut yapının X yönünde itme analiz ve eğri grafikleri	38
Şekil 4.18. Mevcut yapının Y yönünde itme analiz ve eğri grafikleri	39
Şekil 4.19. Düzensizlik kontrolü.....	39
Şekil 4.20. Yetersiz eleman listesi (STA4CAD verileri).....	42
Şekil 4.21. Yapı performans sonucu	42
Şekil 4.22. Güçlendirme perdelerinin geleceği kısımlar (STA4CAD verileri).....	44
Şekil 4.23. Güçlendirme-1 sonrası analiz (STA4CAD verileri)	44
Şekil 4.24. Güçlendirme-1 sonrası yapının 3-D ön ve arka görüntüleri (STA4CAD verileri)	44
Şekil 4.25. Güçlendirme-1 sonrası X yönünde itme analiz ve eğri grafikleri.....	45
Şekil 4.26. Güçlendirme-1 sonrası Y yönünde itme analiz ve eğri grafikleri.....	46
Şekil 4.27. Temel planı güçlendirilmiş durum.....	48
Şekil 4.28. Zemin ve 1,2,3. katlar güçlendirilmiş durum planı.....	49
Şekil 4.29. Donatı yerleşim planı.....	49
Şekil 4.30. Perde boşluk detayı ve donatı yerleşim detayları	49
Şekil 4.31. Güçlendirme perdelerinin geleceği kısımlar (STA4CAD verileri).....	52
Şekil 4.32. Güçlendirme-2 sonrası analiz (STA4CAD verileri)	52
Şekil 4.33. Güçlendirme-2 sonrası yapının 3-D ön ve arka görüntüleri (STA4CAD verileri)	52
Şekil 4.34. Güçlendirme-2 sonrası X yönünde itme analiz ve eğri grafikleri.....	53
Şekil 4.35. Güçlendirme-2 sonrası Y yönünde itme analiz ve eğri grafikleri.....	54
Şekil 4.36. Zemin ve 1,2,3. katlar güçlendirilmiş durum planı.....	57
Şekil 4.37. Donatı yerleşim planı.....	57
Şekil 4.38. Perde boşluk detayı ve donatı yerleşim detayları	57
Şekil 4.39. Güçlendirme perdelerinin geleceği kısımlar (STA4CAD verileri).....	59
Şekil 4.40. Güçlendirme-3 sonrası analiz (STA4CAD verileri)	59
Şekil 4.41. Güçlendirme-3 sonrası X yönünde itme analiz ve eğri grafikleri.....	60
Şekil 4.42. Güçlendirme-3 sonrası Y yönünde itme analiz ve eğri grafikleri.....	61
Şekil 4.43. Zemin ve 1,2,3. katlar güçlendirilmiş durum planı.....	64
Şekil 4.44. Mantolanmış kolon ve ilave perde donatı yerleşim planı	64

Şekil 4.45. Perde donatı yerleşim detayları.....	65
Şekil 4.46. Binanın mevcut konumu.....	68
Şekil 4.47. Binanın ön ve arka cephe fotoğrafları.....	68
Şekil 4.48. Mevcut yapının zemin kat planı.....	69
Şekil 4.49. Mevcut yapının 1. kat planı	70
Şekil 4.50. Mevcut yapının 2. kat planı	70
Şekil 4.51. Mevcut yapının AFAD verileri (https://tdth.afad.gov.tr)	74
Şekil 4.52. Yapının yerel zemin sınıfları (https://tdth.afad.gov.tr)	74
Şekil 4.53. Yapının yerel zemin etki katsayıları (https://tdth.afad.gov.tr).....	75
Şekil 4.54. Yatay elastik tasarım spektrumu (https://tdth.afad.gov.tr).....	76
Şekil 4.55. Düşey elastik tasarım spektrumu (https://tdth.afad.gov.tr).....	76
Şekil 4.56. İkinci okul bina kesiti	77
Şekil 4.57. Mevcut yapının yatay ve düşey elastik spektrumu	79
Şekil 4.58. Düzensizlik kontrolü.....	79
Şekil 4.59. Yetersiz eleman listesi (STA4CAD verileri).....	81
Şekil 4.60. Güçlendirme perdelerinin geleceği kısımlar (STA4CAD verileri).....	83
Şekil 4.61. Güçlendirme-1 sonrası analiz (STA4CAD verileri)	83
Şekil 4.62. Güçlendirme perdesi gelen kısımlar kat planı	86
Şekil 4.63. Temel kesiti.....	86
Şekil 4.64. Güçlendirilmiş durum kat planları	87
Şekil 4.65. Eklenen yapı elemanları sonucunda bina performans sonucu (STA4CAD verileri)	87
Şekil 4.66. Zemin kat güçlendirme perdesi detayı YP2.....	88
Şekil 4.67. 1-2. katlar güçlendirme perdesi detayı YP2.....	89
Şekil 4.68. Betonarme mantolama yapılan kısımlar (STA4CAD verileri).....	90
Şekil 4.69. Güçlendirme-2 sonrası analiz (STA4CAD verileri)	90
Şekil 4.70. Güçlendirme gelen kısımlar kat planı	93
Şekil 4.71. Eklenen yapı elemanları sonucunda bina performans sonucu (STA4CAD verileri)	93
Şekil 4.72. Betonarme kolon mantolama kat kesiti ve detayları (STA4CAD verileri).....	94
Şekil 4.73. Betonarme mantolama yapılan kısımlar (STA4CAD verileri).....	95
Şekil 4.74. Güçlendirme-3 sonrası analiz (STA4CAD verileri)	95
Şekil 4.75. Yatay ve düşey tasarım spektrumu	96
Şekil 4.76. Güçlendirme gelen kısımlar kat planı	98
Şekil 4.77. Eklenen yapı elemanları sonucunda bina performans sonucu (STA4CAD verileri)	99
Şekil 4.78. Betonarme perde ilavesi kat kesiti ve detayları (STA4CAD verileri).....	99
Şekil 4.79. FRP kaplanacak kolon kesiti.....	100
Şekil 4.90. Kolonun mantolama ile güçlendirilme çeşitleri.....	104
Şekil 4.81. Kolonun mantolama ile güçlendirilmesine uygulama örnekleri (https://www.dengederleme.com/)	104
Şekil 4.82. Çelikle güçlendirilmiş kolon (www.carbonier.com)	104
Şekil 4.83. Çelikle güçlendirilmiş kısa kolon	105
Şekil 4.84. Güçlendirme yapılmamış kısa kolon	105
Şekil 4.85. Kolonların FRP ile sarılması ve kesiti (Atay,2010).....	106
Şekil 4.86. Kirişlerde mantolama çeşitleri (bir, iki, üç ve dört bölgeden)	107
Şekil 4.87. Kirişlerde CFRP uygulaması	108
Şekil 4.88. Kirişlerde çelik levhalarla sargı yapılması.....	108
Şekil 4.89. Döşemelerde güçlendirme kesiti.....	109
Şekil 4.90. Bina türü yapılarda güçlendirme ve alttan döşeme güçlendirmesi	109

Şekil 4.91. Endüstriyel tesis döşemesi güçlendirmesi ve köprü tabliyesi döşeme güçlendirmesi	110
Şekil 4.92. Mütemedi temelin radye temele dönüştürülmesi ve tekil temel güçlendirilmesi	111
Şekil 4.93. Yeni eklenen perde yapısından dolayı temel güçlendirilmesi kesiti.....	111
Şekil 4.94. Çerçeve düzlemine bitişik perde eklenmesi kesiti	112
Şekil 4.95. Perde uç bölgesi gösterilmesi	113
Şekil 4.96. Betonarme perde eklenmesine örnek	114
Şekil 4.97. Güçlendirme perdesi gelecek duvarların yıkılması	116
Şekil 4.98. Hidrolik makinelerle bodrum perdesi kesilmesi	116
Şekil 4.99. Temel kazısı yapılması	117
Şekil 4.100. İkinci okula temel yapısı eklenmesi.....	117
Şekil 4.101. Yeni uygulanacak temel kesiti	118
Şekil 4.102. Beton örtüsünün temizlenmesi aşaması	119
Şekil 4.103. Ankraj kesiti (Ağdağ, 2019)	119
Şekil 4.104. Ankraj deliğinin açılması.....	120
Şekil 4.105. Ankraj yapımının kesiti	122
Şekil 4.106. Ankraj delikleri uzunluğunun projeye uygunluğunun ölçülmesi	122
Şekil 4.107. Ankraj uzunluklarının projeye uygunluğunun ölçülmesi	122
Şekil 4.108. Ankraj delikleri temizlenirken ve temizlenmiş hali.....	123
Şekil 4.109. Kimyasal yapıştırıcıların ankraj deliklerine sıkılması ve filizlerin ankraj deliklerine yerleştirilmesi.....	124
Şekil 4.110. Ankraj test cihazı kesiti (Ağdağ, 2019)	124
Şekil 4.111. Ankraj çekme deneyleri yapılması	126
Şekil 4.112. Birinci okul güçlendirme perdesi donatı planı.....	129
Şekil 4.113. Birinci okul güçlendirme perdesi detayı.....	129
Şekil 4.114. Birinci okul Gp2 perdesi demir donatı yerleştirilmesi.....	130
Şekil 4.115. Perde kalıplarının yapılması	132
Şekil 4.116. Beton dökülme aşamaları.....	133
Şekil 4.117. Dökülen beton numunelerinin alınması	135
Şekil 4.118. Kalıpların sökülmesi ve beton dökülmesi esnasında oluşan üçgen fazlalık betonun kırılması.....	136

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
<i>S420</i>	: Akma dayanımı 420 Mpa olan çelik
<i>Bar</i>	: Basınç
<i>E</i>	: Elastisite Modülü
<i>S_S</i>	: Kısa periyot bölgesi için harita spektral ivme katsayısı
<i>m</i>	: Metre
<i>m²</i>	: Metrekare
<i>m³</i>	: Metreküp
<i>cm</i>	: Santimetre
<i>g</i>	: Yer Çekimi İvmesi
<i>ZB</i>	: Yerel Zemin Sınıfı
<i>S_S</i>	: Kısa periyot bölgesi için harita spektral ivme katsayısı
<i>ZB</i>	: Yerel Zemin Sınıfı
<i>S_{D1}</i>	: 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı
<i>DD-1</i>	: 50 yılda aşılma olasılığı %2 (tekrarlanma periyodu 2475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
<i>DD-2</i>	: 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
<i>DD-3</i>	: 50 yılda aşılma olasılığı %50 (tekrarlanma periyodu 72 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi

Kısaltmalar	Açıklama
TS500	: Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları
BKS	: Bina Kullanım Sınıfı
BYS	: Bina Yükseklik Sınıfı
CG	: Can Güvenliği
DD	: Deprem Düzeyi
DGT	: Dayanıma Göre Tasarım
DTS	: Deprem Tasarım Sınıfı
GÖ	: Göçmenin Önlenmesi
GS	: Güvenlik Sayısı
KH	: Kontrollü Hasar

Kısaltmalar**Açıklama**

KYB	:	Kendiliğinden Yerleşen Beton
SH	:	Sınırlı Hasar
STA4CAD	:	Structural Analysis For Computer Aided Design
ŞGDT	:	Şekil Değiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım
TBDY	:	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TS498	:	Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri

1. GİRİŞ

Ülkemizde sıklıkla yaşadığımız doğal afetlerin başında depremler gelmektedir. Deprem Bölgeleri Haritasına göre, ülke topraklarımızın yaklaşık %92'si deprem riski altındaki bölgelerde yer almakta; nüfusumuzun %95'i bu tehlikeyle karşı karşıya yaşamaktadır. Ayrıca büyük sanayi tesislerinin %98'i ve barajlarımızın %93'ü de aktif fay olan bu bölgelerde bulunmaktadır. Yaşanan depremlerde bazı yapılarda hasarların kabul edilebilir düzeyde olduğu, bazılarında ise Can Güvenliği (CG) sınırını aştığı görülmektedir.

Bu çalışmada, deprem performans testi sonucunda güçlendirmesi gerekli olan iki okul binasının, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) 2018'e göre uygun ilkeler aracılığıyla detaylı analizlerin yapılması ve hangi koşullara göre analiz yapıp söz konusu koşulların göz önüne alınarak yorumlanması amaçlanmaktadır. Bu yorumlardan önce bina tasarımı hakkında kısa bir bilgi verilmiş olup, mevcut binaya etki eden en önemli yüklerden biri olan deprem yükü hesabıyla ilgili yönetmeliğin ilgili maddelerinden alıntılar yapılmıştır. Devamında deprem hasarlarına neden olabilecek yapısal kusurların giderilmesi, deprem güvenliğini artırmak amacıyla yeni taşıyıcı elemanların eklenmesi, mevcut elemanların deprem davranışlarının iyileştirilmesi ve kuvvet aktarımının devamlılığının sağlanmasına yönelik uygulamalı örneklerle güçlendirme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Okul binalarının analiz aşaması ve sonucu irdelenip güçlendirilen elemanların yapı üzerindeki etkileri ele alınmış ve üç adet güçlendirme alternatifi sunulmuştur. Son olarakta analiz sonucunda binada hangi yetersizliklerin meydana geldiğinin tespit edilmesi ve alınan önlemlerin gösterilmesi amaçlanmaktadır. Çalışmanın birinci bölümünde okul binaları için öncelikli olan test aşaması anlatılması, ikinci bölümünde yapılan çalışmalara ve bu çalışmaların analizlerinin STA4CAD programı ile oluşturulması, uygun analizler sağlandıktan sonra, üçüncü kısım olan deprem yönetmeliğinin performans kavramına bakış ilkeleri ve mevcut yapıların TBDY (2018)'e göre performans değerlendirmesi ile hedeflere ulaşılması amaçlanmaktadır. Son bölümde ise güçlendirme ihtiyacı olan iki okul binasına da güçlendirme çalışmaları yapılmış ve yapılan çalışmadan bahsedilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Akpınar ve ark. (2021) çalışmalarında, 1975 Türkiye Deprem Yönetmeliği'ne göre tasarlanarak yapılmış ve deprem performansı yetersiz seviyede olan mevcut bir hastane binasını değerlendirmişlerdir. Güçlendirme seçeneği olarak konvansiyonel betonarme perde duvar ilavesi ve modern sürtünmeli sönümleyici eklenmesi uygulanarak doğrusal olmayan statik itme ve dinamik analizler gerçekleştirmişlerdir. Analiz sonuçlarına göre, her iki güçlendirme yöntemi ile bina tepe deplasman talepleri, görelî kat ötelemeleri ve eleman hasar seviyelerinde belirgin düzelmeler sağladığını görmüşlerdir. Bununla birlikte, sürtünmeli sönümleyiciler kullanılarak yapılan güçlendirme uygulamasında, kat kesme kuvvetlerinin daha düşük seviyelerde kaldığı tespit etmişlerdir. Güncelliğini kaybetmiş yönetmeliklere göre yapımı tamamlanmış yapıların yıkılarak tekrar inşa edilmesi yerine güçlendirilmesinin, yapısal performansın artırılmasında zaman ve maliyet açısından daha etkin bir çözüm sunduğunu ortaya çıkarmışlardır.

Altun ve ark. (2002) yapılan bu çalışmalarında, inşaat sonrası henüz yapı kullanılmaya başlamadan önce çatlakların oluştuğunu gözlemlemişler ve örnek olarak ele almışlardır. Mevcut beton dayanımı, donatı durumu ve temel zemini özelliklerini tespit etmişlerdir. Bu veriler doğrultusunda hazırlanan güçlendirme projesinde, düşey yüklerin neden olduğu deformasyonları engellemek amacıyla “temel ilavesi + kolon mantolama + perdeleme” sistemini uygulamışlardır. Güçlendirme süreci, 1998 Deprem Yönetmeliği'ne tam uyum sağlayacak şekilde tasarlamışlar, uygulama aşamasında karşılaşılan mühendislik sorunlarını detaylandırmışlardır. Çalışma, mevcut yapıların deprem güvenliğinin artırılması için sistematik bir yaklaşım sunmaktadır.

Atay (2010) çalışmasında, farklı güçlendirme yöntemlerinin yapı üzerindeki etkilerini ele almış ve eleman ile malzeme bazında iki ana başlık altında değerlendirmiştir. Her yöntemin avantajları, dezavantajları ve uygulama detaylarını sunmuş, mevcut yapı sistemi ve hasar türleri dikkate alınarak en uygun güçlendirme stratejini önermiştir.

Bayülke (2006) çalışmasında, betonarme yapılara perde duvar ilave edilerek güçlendirilmesi sürecinde karşılaşılan uygulama problemlerini analiz etmek ve önerileri sunmak amacıyla hazırlamıştır. Yapıların güçlendirme öncesi ve sonrası değerlendirilmesi, 2007 Deprem Yönetmeliği esaslarına göre gerçekleştirmiştir. Güçlendirme kararı alındıktan sonra, betonarme perde duvarlarının yapı üzerindeki etkileri ve beraberinde getirdiği mühendislik zorlukları bu çalışmada detaylı olarak ele

almıştır.

Bawary (2018) bu çalışmada, güçlendirme gereksinimi duyan bir betonarme binada kolon güçlendirmesi ve perde ilave edilerek güçlendirme yöntemlerini araştırmıştır. Bu amaçla, bir betonarme bina sonlu elemanlar yöntemi (FEM) ile modellenmiş ve yapı üzerindeki güçlendirmenin etkilerini analiz etmiştir. Çalışma dört kısımdan oluşmaktadır. İlk kısımda betonarme yapılar ve bu yapıların güçlendirilmesi ile ilgili genel bilgiler sunmuştur. İkinci kısımda, güçlendirme öncesi ve sonrası yapılan bina değerlendirmeleri ile konuya ilişkin önceki çalışmaları detaylı olarak tartışmaktadır. Üçüncü kısımda, yapılan sonlu elemanlar analizleri ile elde edilen bulgular ve performans sonuçlarını sunmaktadır. Dördüncü kısımda ise, çalışmanın sonuçlarını özetlemiş ve kolon güçlendirmesi ve betonarme perdeler ile yapılan güçlendirmelerin betonarme yapıların sismik performansını olumlu şekilde iyileştirdiğini vurgulamıştır. Elde edilen bulgular, önerilen güçlendirme yöntemlerinin betonarme yapılar için etkin ve faydalı olduğunu göstermektedir.

Demirkan (2014) çalışmasında, yapıların yük etkisi altında şekil değiştirme davranışlarını ve deprem sırasında rijitlik ve dayanım kaybına bağlı hasarları incelemektedir. Öncelikle depremin neden olduğu yapısal hasarlar, hasar derecelendirme yöntemleri ve güçlendirme stratejileri hakkında genel bilgiler sunmuş ve betonarme yapıların güçlendirilmesine yönelik çözümleri araştırmıştır. Mevcut bir binanın performansı değerlendirilmiş ve perde eklenerek güçlendirme, yalnızca kolonların mantolanması ile güçlendirme, perde eklenmesi ile kolonların mantolanmasının birlikte uygulanması gibi alternatif güçlendirme yöntemlerini incelemiştir. Güçlendirme alternatifleri STA4CAD yazılımı kullanılarak modellenmiş ve elde ettiği verileri tablolar hâlinde sunmuştur. Sonuç olarak, analiz edilen yapı için en elverişli güçlendirme yöntemini önermiştir.

Erdoğan (2025) bu çalışmasında, 2000 yılı öncesinde inşa edilmiş ve mühendislik hizmeti almamış orta katlı betonarme bir yapının, farklı yönetmeliklere göre deprem performansını karşılaştırmalı olarak değerlendirmektedir. Yapı; ABYBHY 1975, DBYBHY 2007 ve TBDY 2018 yönetmeliklerine uygun şekilde modellenmiş, doğrusal elastik olmayan statik ve dinamik analizler SAP2000 programı ile gerçekleştirmiştir. Plastik mafsal yaklaşımı kullanılarak yapılan analizlerde, yönetmeliklerin malzeme tanımları, kesit rijitlikleri ve deprem kayıtları gibi parametrelerin sonuçları önemli ölçüde etkilediğini tespit etmiştir. ABYBHY 1975'e göre modellenen yapı göçme bölgesinde kalırken, DBYBHY 2007 ve TBDY 2018'e uygun modeller hedeflenen performans

seviyesini sağlamıştır. Çalışma, riskli yapıların deprem karşısındaki davranışlarının ve yönetmeliklerin etkisinin anlaşılmasına katkı sunmaktadır.

Ergün ve ark. (2012) çalışmalarında, Ulusal Deprem Stratejisi ve Eylem Planı kapsamında, mevcut yapıların güvenliğinin değerlendirilmesi ve güçlendirme gereksinimlerinin belirlenmesine odaklanmıştır. Yapı önem katsayısı yüksek olan hastane ve okul gibi deprem sonrasında da kullanılması düşünülen binaların deprem risk gruplaması yapılarak analiz edilmesi ve yetersizlik durumunda güçlendirilmesi eylem planı çerçevesinde öncelikli durumdadır. DBYBHY (2007) doğrultusunda, 1991 yılında projelendirilip inşa edilen ve daha önce Araştırma Hastanesi olarak kullanılan Afyon Kocatepe Üniversitesi Dişçilik Fakültesi Eğitim ve Tedavi binasının deprem performansını değerlendirmişlerdir. Çalışmada, binanın mevcut durumunun analizi, performans tespiti için kullanılan yöntemler ve önerilen güçlendirme uygulamaları detaylandırılmıştır.

Karaca (2022) bu tez çalışmasında , TBDY-2018 yönetmeliği esas alınarak mevcut betonarme bir okulun doğrusal olmayan hesap yöntemi (nonlineer analiz) ile performans değerlendirmesini yapmış ve yapının güçlendirilmesine karar vermiştir. Ardından da yapı için üç farklı güçlendirme önerisi sunmuş ve istenilen deprem yer hareketleri için güçlendirilmiş durumların performans analizlerini yapmıştır. Yapının istenilen deprem performans düzeyine ulaşmasını sağlamıştır.

Kartal ve ark. (2017) çalışmalarında, betonarme huzurevi binasının deprem performansını değerlendirmek ve güçlendirme ihtiyaçlarını belirlemek amacıyla gerçekleştirmiştir. 1985 yılında yapılan ve halen kullanılmakta olan İzmirlioğlu Huzurevi'nin yapısal analizini yapmış ve yapının mevcut haliyle yeterli deprem güvenliğine sahip olmadığını tespit etmişlerdir. 1999 Kocaeli ve Düzce depremlerini hasarsız atlmasına rağmen, gözlem ve karot sonuçları doğrultusunda binanın performans tespitinin yetersiz olduğunu ve herhangi bir mühendislik analizi yapılmadan yıkılmasını önermişlerdir. Çalışmada, 2007 Deprem Yönetmeliği kapsamında belirlenen performans hedefleri doğrultusunda analizler gerçekleştirmişlerdir. DD-2 deprem düzeyinde "Hemen Kullanım" performans hedefi beklenirken "Göçme Durumu" meydana gelmiş; DD-1 deprem düzeyinde ise "Can Güvenliği" hedeflenmesine rağmen "Göçme Durumu" oluşmuştur. Sonuçlar incelendiğinde yapının deprem güvenliğinin yetersiz olduğunu anlamışlardır. Bu doğrultuda, yapının yönetmelik koşullarına uygun hale getirilmesi amacıyla güçlendirme çalışmalarına başlamışlar ve iki aşamada çalışmayı oluşturmaktadırlar. İlk aşamada huzurevinin performans analizi gerçekleştirmişler ve

sonuçlarını sunmuşlar, ikinci aşamada ise belirlenen performans hedeflerine ulaşılması için yapılan güçlendirme analizlerini detaylandırmışlardır. Tüm mühendislik hesaplamaları ve analizlerini İdeCAD programı kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak, yapının depreme karşı güvenli hale getirilmesi için kapsamlı güçlendirme uygulamalarının gerekli olduğunu ortaya koymuşlardır.

Koçak ve Önal (2005) çalışmalarında, deprem veya düşey yükler nedeniyle hasar gören betonarme kolon ve kirişlerin onarım ve güçlendirme yöntemlerini karşılaştırmışlardır. Çelik profillerle onarım, betonarme mantolama ve karbon lifle onarım olan en sık uygulanan yöntemleri maliyet, işçilik ve dayanım yönünden birbirine göre avantaj ve dezavantajı bulunduğunu belirtmişlerdir. Bu deneysel çalışma, deprem etkisiyle hasar gören betonarme kirişlerin betonarme mantolama ve çelik profil ile güçlendirme yöntemleri açısından taşıma kapasitesi, süneklik ve rijitlik yönünden karşılaştırılmasını içermektedir. Elde edilen veriler, kolon elemanları üzerine yapılan benzer bir çalışmayla ilişkilendirilmiş; referans elemanların dayanım değerleri ile hem hasarlı hem de hasarsız güçlendirilmiş elemanların performans oranları analiz edilmiştir.

Pekgökgöz ve ark. (2021) çalışmalarında, Harran Üniversitesi Osmanbey Yerleşkesindeki GAP YENEV binasının yapım aşamasında konsol döşeme sisteminde meydana gelen kısmi göçme olayını incelenmişlerdir. Göçme nedenlerinin araştırılması sonucunda, binanın mevcut yük durumu ile onaylanmış statik projesindeki yük analizlerinin çakışmadığını belirlemişlerdir. Bu uyumsuzluk hem tasarım hem de uygulama aşamasında yapılan ciddi hataların yapının taşıma kapasitesini olumsuz etkilediğini göstermiştir. ABAQUS programı kullanılarak binanın birim genişliğindeki konsol yapısı hem ideal koşullarda hem de mevcut haliyle modellenmişler ve analiz etmişlerdir. Elde edilen veriler doğrultusunda, moment taşıma kapasitelerini karşılaştırmışlar ve yapısal güvensizliğin temel sebepleri detaylı olarak değerlendirmişlerdir. Çalışma, yapı güvenliğinin hem tasarım aşamasında hem de uygulama aşamalarında dikkatli analiz edilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

Sargın (2020) bu çalışmada, söz konusu bölgede bulunan bir betonarme yapının sismik performansı, DBYBHY (2007) doğrultusunda değerlendirmiş ve mevcut yapının taşıyıcı sisteminin yetersiz olduğunu belirlemiştir. Bu doğrultuda, taşıyıcı elemanın güçlendirilmesi ve sistem düzeyinde güçlendirme seçenekleri incelemiş ve 2007 Deprem Yönetmeliğine uygun bir güçlendirme çözümü geliştirmiştir. Ancak, önerilen güçlendirme çözümü, TBDY (2018) ile karşılaştırıldığında, güncel yönetmelik gereksinimlerini sağlamadığı görülmüştür. Bu eksiklikler, güçlendirme önerisinde yapılan

ek düzenlemelerle gidermiş ve yapıyı TBDY (2018) kriterlerine uygun hale getirmiştir. Çalışma, her iki yönetmelik kapsamında yapılan karşılaştırmalar ve güçlendirme stratejilerinin etkinliğini ortaya koymaktadır.

Öztürk (2022) çalışmasında, depremlerde zarar gören yapıların yıkılıp tekrar yapmaktansa uygun ekonomik bir güçlendirme ile yapının kullanılması ve depreme karşı dayanıklı bir yapı haline getirilmesinin önemini belirtmiştir. Depremde hasar görmemiş ancak olabilecek bir depremde mevcut binanın hasar görmemesi ve dayanımını kaybetmeden ekonomik bir yolla binanın yıkılmadan kullanılmasını sağlamayı güçlendirme olarak tanımlamaktadır. Yapılarda hangi güçlendirmelerin daha avantajlı olacağı ve bunların avantajlarını incelemiştir. Yapılarda geometri ve hasarların çeşidine göre güçlendirme yöntemleri değişiklik gösterdiğini ve binalarda yapılan incelemeler sonucunda hasarların proje hatalarından oluştuğunu da vurgulamıştır. Bu hasarların doğru yöntem ve uygulamalar ile düzeltilebileceğini belirtmiştir. Güçlendirmenin nasıl ve hangi durumlarda yapılması gerektiği ve dikkat edilmesi gereken önemli konular hakkında açıklamalar yapmıştır.

Özden (2023) bu çalışmada, Karabük ilinde bulunan KARDEMİR A.Ş.'ye ait benzer mimariye sahip iki betonarme karkas binanın TBDY-2018 uyumluluğu incelemiştir. Fiziksel koşullar göz önünde bulundurularak STA4CAD ile sayısal modelleri oluşturmuş ve tasarım deprem düzeyleri altında performans analizleri yapmıştır. Analizler, İdari Bina-1'in güçlendirme projesi ile hedeflenen performans seviyesine ulaşabildiğini, İdari Bina-2 için geleneksel güçlendirme yöntemlerinin ise yeterli olmadığını göstermiştir. İdari Bina-2'de çok sayıda gevrek eleman oluşması ve bunların etkileşimi, ekonomik ve geleneksel güçlendirme uygulamalarını sınırlamıştır.

Yılmaz (2007) bu çalışmada, depreme dayanıksız yapıların belirlenmesi ve güçlendirilmesine yönelik yöntemleri incelemiştir. Güçlendirme sürecindeki en büyük zorluklardan biri, yapıların güçlendirme esnasında kullanıma kapatılması gerekliliği ve bunun getirdiği maliyetlerin olduğunu belirtmiştir. Türkiye'deki betonarme yapı stokuna yönelik olarak, dış perdeler ile güçlendirme sağlayan bir yöntem geliştirilmiş ve üç boyutlu yapı numuneleri tersinir tekrar eden yükler altında çözümlenmiştir. Deneysel çalışmalar hem hasarlı hem de hasarsız yapılarda dış perde uygulamasının yapı rijitliğini ve kapasitesini artırarak başarılı sonuçlar verdiğini göstermiştir. Ayrıca, sonradan eklenen dış perde çalışmaları elemanlarıyla bütünleşerek tek bir yapı elemanı gibi çalıştığını deneysel olarak kanıtlamıştır. Doğrusal olmayan bilgisayar modelleri oluşturularak statik itme analizleri gerçekleştirmiş, deneysel sonuçlarla karşılaştırmış ve donatı sıyrılması ile

perde kayma davranışının bu modellere yansıtıldığını görmüştür. Sonuç olarak, doğrusal olmayan yapı modellerinin gerçekçi sonuçlar sunduğunu tespit etmiştir.

Yıldızlar (2004) çalışmasında, yapıların yalnızca deprem etkisi değil, korozyon, hatalı tasarım ve kullanım sürecindeki müdahaleler gibi faktörler nedeniyle de güçlendirme gereksinimi duyabileceğini ele almıştır. Örnek olarak İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Eğitim Hastanesinin A3 Bloğunu incelemiş ve mevcut kolonların mantolanması ile betonarme perde duvar eklenmesi gibi güçlendirme yöntemlerini değerlendirmiştir. Bodrum kat döşemeleri ve kirişlerinde yoğun korozyon hasarı aldığını tespit etmiş olup, ekonomik ve yapısal açıdan uygun olmayan kiriş onarımı yerine kemer perde uygulaması tercih etmiştir. Korozyona uğramış malzemeleri temizletmiş ve yük taşıma sistemleri perde duvarlara aktararak yapı rijitliğini artırmıştır. Güçlendirme uygulamalarının iç ve dış akslarda farklı süreklilik göstermesini planlamış, özellikle kolon genişletme işlemlerini detaylandırmıştır. Çalışma kapsamında, yapının mevcut ve güçlendirilmiş modelleri analiz edilerek deprem etkisi altında davranış farklılıkları değerlendirmiştir. Ayrıca rijit temel ve rijit döşeme varsayımlarının yapısal analiz üzerindeki etkilerini incelemiş, öngörülen güçlendirme yöntemlerinin yeterliliği araştırmıştır.

Yiğit (2002), tezinde, betonarme yapıların onarım ve güçlendirme süreçlerini incelemiş ve bir güçlendirme uygulaması gerçekleştirmiştir. Öncelikle, yapı tasarım ilkeleri, güçlendirme gereksinimleri ve hasar oluşum nedenlerini ele almıştır. Ardından, taşıyıcı sistem elemanlarının (kolon, kiriş, perde, döşeme, temel) onarım ve güçlendirme yöntemleri değerlendirmiş, yeni elemanlar ekleyerek binanın güçlendirilmesini incelemiştir. Çalışmada, korozyon hasarı ve onarım yöntemlerine yer vermiş, projelendirme esasları doğrultusunda güçlendirme sürecini ele almıştır. Güçlendirme uygulaması kapsamında, 1975 Deprem Yönetmeliği'ne göre projelendirilen betonarme çok katlı bir yapının, 1998 Deprem Yönetmeliği çerçevesinde statik ve dinamik analizlerini yapmıştır. Yapısal değerlendirmeleri SAP2000 programı ile gerçekleştirmiş, betonarme hesapları ve yönetmelik kontrolleri için Trans 2000 yazılımını kullanmıştır. Analizler sonucunda, yapının güçlendirilmesi kararına varmış ve yeni perde duvarların eklenmesi ile bazı kolonların mantolanması yoluyla yapısal dayanımını artırdığını belirtmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Bu çalışma kapsamında, Kırşehir İli Kaman İlçesi'nde bulunan ve hizmet veren iki adet okul binası incelenmiştir. Söz konusu binalar betonarme taşıyıcı sisteme sahip olup farklı kat yüksekliklerine ve taban alanına sahiptir. Yapıların inşa edildiği dönem, kullanılan malzeme kalitesi, mevcut taşıyıcı sistem elemanlarının boyutları ve yerleşimleri gibi veriler, yerinde yapılan incelemeler ve röleve çalışmaları doğrultusunda elde edilmiştir.

Binaların performans değerlendirmesi kapsamında; kolon, kiriş, döşeme ve perde gibi taşıyıcı elemanların mevcut durumları dikkate alınarak statik ve dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, zemin sınıfı, yerel deprem tehlikesi ve yapıların kullanım amacı gibi parametreler de analiz sürecine entegre edilmiştir. Bu çerçevede, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018) temel alınarak yapısal analizler ve performans değerlendirmesi yapılmıştır.

3.2. Metot

Yapıların deprem performans düzeyinin belirlenmesi amacıyla Structural Analysis for Computer Aided Design (STA4CAD) adlı bilgisayar tabanlı analiz programı kullanılmıştır. Program, analiz sürecinde Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne (2018) ve Türk Standardı TS500'e uygun hesaplamalar gerçekleştirmiştir.

Analiz sürecinde izlenen adımlar şu şekildedir:

- *Yapısal Modelleme:* Yapıların mimari ve statik projeleri esas alınarak taşıyıcı sistem STA4CAD ortamında üç boyutlu olarak modellenmiştir. Malzeme dayanımları, eleman kesitleri ve birleşim detayları bu aşamada tanımlanmıştır.
- *Yüklerin Tanımlanması:* Sabit yükler, hareketli yükler ve deprem yükleri tanımlanmış, analizlere esas olacak yük kombinasyonları oluşturulmuştur.
- *Deprem Performans Analizi:* TBDY (2018)'e göre doğrusal performans (lineer) ve doğrusal olmayan performans (non lineer) analizleri yapılmış, yapıların mevcut halleriyle hedef performans seviyelerini sağlayıp sağlamadıkları değerlendirilmiştir.
- *Güçlendirme İhtiyacının Belirlenmesi:* Yapıların bazı bölgelerinde performans seviyesinin yetersiz olduğu tespit edilmiş, bu bölgelerde taşıyıcı sistemin güçlendirilmesine karar verilmiş ve alternatif güçlendirmeler

sunulmuştur.

- *Güçlendirme Tasarımı:* Yetersiz bulunan bölgelerde betonarme perde elemanları eklenerek taşıyıcı sistemin dayanımı artırılmıştır. Güçlendirme tasarımı da STA4CAD ortamında gerçekleştirilmiştir.
- *Uygulama Süreci:* Güçlendirme projelerinin onaylanmasının ardından sahada uygulamaya geçilmiş ve yapısal iyileştirme işlemleri tamamlanmıştır.

Bu yöntem sayesinde yapıların mevcut durumu net olarak ortaya konulmuş, gerekli müdahaleler belirlenmiş ve uygulamalar gerçekleştirilmiştir.

3.3. Yapı Taşıyıcı Sistemleri ve Deprem Etkisi

Analiz öncesi yapı tasarımına değinmek gerekirse betonarme yapı tasarımında, estetik, fonksiyonellik, güvenlik ve ekonomi gibi temel kriterler bir araya getirilerek optimum çözüm sağlanmalıdır. Tasarım süreci, yapının taşıyıcı sisteminin seçimiyle başlayıp, yapının ömrü boyunca karşılaşacağı yüklerin belirlenmesiyle devam etmelidir. (Başarır, 2019).

Yapıya etkiyen yükler doğrultusunda yapısal çözümlene gerçekleştirilmeli ve kesit zorlamaları hesaplanmalıdır. Taşıyıcı elemanlar, dayanım, deformasyon ve çatlak genişliği açısından güvenli olacak şekilde boyutlandırılmalı, donatı hesaplanarak detaylandırılmalıdır. Son aşamada ise yapının, tasarım kriterlerine uygun olarak inşa edilmesi sağlanmalıdır (Özkaynak, 2002).

Bir yapının tasarımında temel amaç, yapıda öngörülmekte olan sabit ve hareketli yüklerin en olumsuz şartlarda dahi göçme riski olmaksızın bütünlüğünü korumasını sağlamak ve servis yükleri altında yapı elemanlarında aşırı deformasyon, çatlak oluşumu ya da titreşim gibi kullanım konforunu ve işlevselliği olumsuz etkileyebilecek davranışların meydana gelmesini önlemektir. Dolayısıyla güvenlik kavramı, yapının taşıyıcı kapasitesini aşan yükler karşısında yıkılmamasının yanı sıra, servis koşullarındaki davranışlarının da yapı kullanıcılarını olumsuz etkilemeyecek düzeyde sınırlandırılmasını kapsamaktadır (Ersoy ve Özcebe, 2001).

Taşıyıcı sistemlerin mühendislik tasarımı, yapı üzerine etkiyen düşey ve yanal yüklerin birleşik etkileri doğrultusunda gerçekleştirilmektedir. Düşey yükler, genellikle sabit ve öngörülebilir karakterde olup, hesaplamaları daha basit olan yüklerdir. Buna karşılık yanal yükler; büyüklük, zamanlama ve yön açısından belirsizlik içeren dinamik etkiler olup, yapısal çözümlene sürecinde daha karmaşık analiz yöntemlerinin uygulanmasını gerektirmektedir. Özellikle yanal yükler arasında yer alan sismik etkiler,

çok kısa sürede yapıya nüfuz ederek yüksek düzeyde deformasyon ve hasar oluşturabilmekte; bu durum ciddi can ve mal kayıplarına yol açabilmektedir. Bu bağlamda, deprem yükleri altında gerçekleştirilen tasarım süreci, düşey yükler altında yapılan geleneksel taşıyıcı sistem tasarımına kıyasla daha ileri düzeyde mühendislik yaklaşımı ve performansa dayalı değerlendirme gerektirmektedir (Birdal, 2015)

3.3.1. Taşıyıcı sistem seçimi

Taşıyıcı sistem seçiminde mimari sınırlamalar, arazi ve zemin durumu, yapım süresi, maliyet ve deprem riski gibi faktörler belirleyicidir (Koç, 2021). Yapının deprem etkileri altındaki davranışının öngörülebilir olması, taşıyıcı sistemin sade, simetrik ve düzenli bir şekilde tasarlanmasına bağlıdır. Taşıyıcı sistemin seçiminde temel ilke, yapıya etki eden yatay ve düşey yüklerin, yapı içinde en kısa ve doğrudan güvenli bir şekilde temele iletilmesini sağlamaktır (Yılmaz, 2002). Bu doğrultuda; döşemelerin doğrudan kirişlere oturması, kirişlerin sürekliliğinin sağlanması, kolonların alttaki kolonlarla eksensel doğrultuda devamlılık göstermesi, kiriş ve kolon akslarının çakışması ile aynı yöndeki kiriş ve kolonların birbirine paralel şekilde düzenlenmesi, taşıyıcı sistem bütünlüğünü destekleyen temel ilkelerdendir. Bu tür bir düzenleme hem yük aktarım etkinliğini artırmakta hem de yapının genel süneklik ve dayanım özelliklerine olumlu katkı sunmaktadır.

Yapı taşıyıcı sistemlerinin seçiminde çerçeve, perde ve perde-çerçeve sistemleri bulunmaktadır. Çerçeve veya perde sistemleri, hafif ve orta şiddetli depremlerde yapıyı korurken, elastik sınırların aşılması durumunda ani göçme riski bulunmaktadır. Perde-çerçeve sistemleri ise yatay ötelenmeyi sınırlandırarak ekonomik ve güvenli bir çözüm sunar. Deprem sırasında perde duvarların hasar görmesi durumunda çerçeve sistemin devreye girmesi, ani göçmeyi önleyerek can kaybını minimize etmektedir (Kasap ve Baştürk, 2004).

Az katlı yapılarda yalnızca çerçeve sistemi yeterli olabilirken, çok katlı yapılarda perde kullanımı kaçınılmazdır. Merdiven kovanı ve asansör yuvası için perde kullanıldığında burulma etkisine dikkat edilmelidir. Döşeme sisteminin dişli döşeme veya kirişsiz plak olması durumunda, daha büyük perde kesit alanlarına ihtiyaç duyulmaktadır.

3.3.2. Yapıya etkiyen yükler

Bir yapının kullanım amacına uygun biçimde tasarlanabilmesi için, hizmet süresi boyunca maruz kalacağı düşey ve yatay yüklerin gerçekçi, güvenilir ve yönetmeliklere

uygun şekilde belirlenmesi esastır. Taşıyıcı sistemin, bu yükleri karşılayacak yeterlilikte projelendirilmemesi durumunda; taşıma kapasitesini aşan davranışlar neticesinde aşırı sehim, titreşim, çatlak oluşumu gibi yapısal performans sorunları ortaya çıkabilir (Esen ve ark., 2022). Bu durumlar zamanla yapının servis ömrünü olumsuz etkileyebileceği gibi, ağır hasarlara ve can güvenliğini tehdit eden durumlara da yol açabilir. Yapıya etkiyen yükler 3'e ayrılır (Subaşı, 2012; Tonyalı, 2025):

- Ölü yükler
- Hareketli yükler
- Dinamik yükler

Ölü Yükler: Yapının mevcut ağırlığından kaynaklanan yüklerdir. Bir yapıda ölü yükler çatı, sıva ve kaplama malzemeleri, duvarlar, betonarme yapı elemanlarının (döşemeler, kolonlar, perde duvarlar, kirişler, temel) ağırlıklarından oluşur. Bu yükler, yapının tasarım ve dayanıklılık hesaplamalarında önemli bir rol oynar.

Hareketli Yükler: Kullanım süresince yapı üzerinde değişken olarak bulunan ve sürekli kalıcı olmayan yüklerdir. İnsanlar, mobilyalar, depolama malzemeleri, makineler, araçlar ve kar gibi etkenler hareketli yükler sınıfına girer. Bu yükler, yapının kullanım amacına ve çevresel koşullara göre değişkenlik gösterebilir.

Dinamik yükler: Hareket halinde yükler (trafik), ani yükler, rüzgâr yükleri, titreşimli makine yükleri, deprem yükleri vb. yükler dinamik yüklere girerler. Konumuzun öncesi bilgi niteliğinde olduğu için deprem yükü ve hesabı için kısa bilgilendirme yapılmıştır .

3.3.2.1. Deprem yükleri

Deprem etkisi altında bina taşıyıcı sistemlerinin tasarımı için, TBDY (2018)'de Dayanıma Göre Tasarım (DGT) yaklaşımı ve Şekil değiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım (ŞGDT) olmak üzere iki ana yaklaşım verilmektedir.

Dayanıma Göre Tasarım kapsamında (DGT)

Doğrusal Hesap Yöntemi:

- Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi
- Modal Hesap Yöntemi
- ✓ Mod Birleştirme Yöntemi(deprem spektrumu ile hesaba dayalı)
- ✓ Mod Toplama Yöntemi (zaman tanım alanında hesaba dayalı)

Şekil değiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım kapsamında (ŞGDT)

Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi:

- İtme Yöntemleri (Tek Modlu, Çok Modlu)
- Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi

3.3.3. Deprem tasarım sınıflarının belirlenmesi

“Standart Tasarım Deprem Yer Hareketi” olarak da adlandırılan DD-2 için ; Türkiye Deprem Tehlike Haritalarında tanımlanan boyutsuz harita spektral ivme katsayılarından dönüştürülen tasarım spektral ivme katsayısına (Bkz. 3.1) bağlı olarak, deprem etkisi altında tasarımda esas alınacak “**Deprem Tasarım Sınıfları**” aşağıdaki tabloda verilmiştir (TBDY, 2018).

Tablo 3.1. Deprem Tasarım Sınıfları (DTS) (TBDY, 2018)

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

Tasarım İvme Spektrumu deprem etkisi altında maksimum davranış demektir. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ve Mod Birleştirme Yöntemi maksimumlara göre hesap yaptığından tasarım ivme spektrumları önemlidir. Zaman tanım alanında hesap ve mod toplama yönteminde ise tasarım ivme spektrumu kullanılmaz. Gerçek deprem kayıtları kullanılır (TBDY, 2018).

$$S_{DS} = S_S F_S$$

$$S_{DI} = S_I F_I \quad (\text{Tasarım Spektral İvme Katsayısına Dönüştürülmesi}) \quad (3.1)$$

Tablo 3.2. Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayıları F_s (TBDY, 2018)

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_s					
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.00$	$S_s = 1.25$	$S_s \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır (Bkz.16.5).					

Tablo 3.3. 1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayıları (TBDY, 2018)

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_1					
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \geq 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır (Bkz.16.5).					

3.3.3.1. Deprem tasarım sınıflarına mevcut binalar için performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları

Aşağıdaki tabloya göre deprem tasarım sınıfı DTS=1, 2, 3, 3a, 4, 4a olan mevcut binalarda DD-2 deprem yer hareketi düzeyine göre ŞGDT yaklaşımı ile Kontrollü Hasar (KH) performans hedefi sağlanmalıdır. Deprem tasarım sınıfı DTS=1a, 2a olan mevcut binalarda DD-1 deprem yer hareketi düzeyine göre ŞGDT yaklaşımı ile Kontrollü Hasar (KH) performans hedefi ve DD-3 deprem yer hareketi düzeyine göre ŞGDT yaklaşımı ile Sınırlı Hasar (SH) performans hedefi sağlanmalıdır (TBDY, 2018).

Tablo 3.4. Mevcut Yerinde Dökme Betonarme Binalar (Yüksek binalar dışında BYS 2 \geq) (TBDY, 2018)

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

Çalışmamızda ele alınan örnekler okul binaları olduğu için TBDY (2018)'ne göre sağlanması istenen hedefler Tablo 3.4 de gösterilmiştir.

Tablo 3.5. Bina Yükseklik Sınıfı (BYS) (TBDY, 2018)

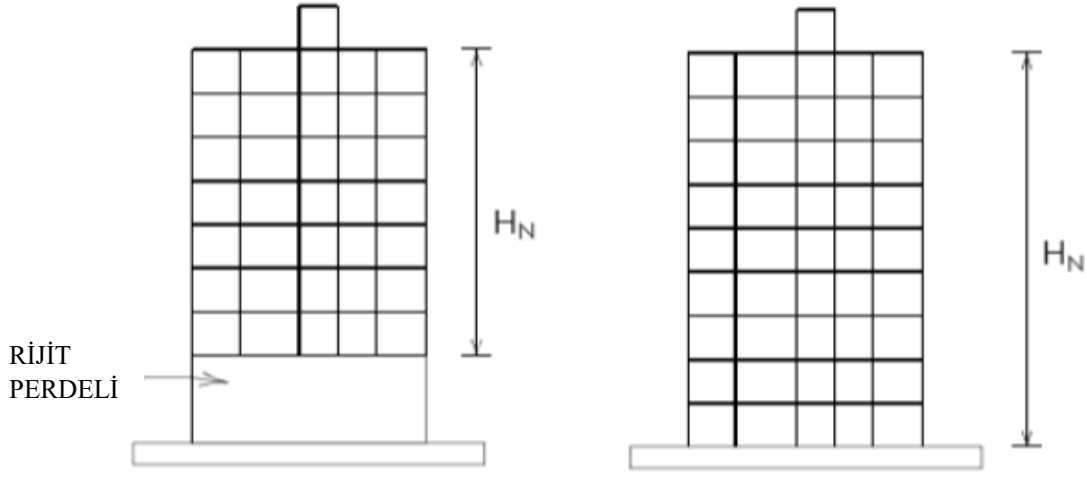
Bina Yükseklik Sınıfı	Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları [m]		
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a	DTS = 4, 4a
BYS = 1	$H_N > 70$	$H_N > 91$	$H_N > 105$
BYS = 2	$56 < H_N \leq 70$	$70 < H_N \leq 91$	$91 < H_N \leq 105$
BYS = 3	$42 < H_N \leq 56$	$56 < H_N \leq 70$	$56 < H_N \leq 91$
BYS = 4	$28 < H_N \leq 42$	$42 < H_N \leq 56$	
BYS = 5	$17.5 < H_N \leq 28$	$28 < H_N \leq 42$	
BYS = 6	$10.5 < H_N \leq 17.5$	$17.5 < H_N \leq 28$	
BYS = 7	$7 < H_N \leq 10.5$	$10.5 < H_N \leq 17.5$	
BYS = 8	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10.5$	

Deprem etkisi altında tasarlanan binalar, yükseklikleri bakımından sekiz sınıfa ayrılmıştır. Bu sınıflara giren binalar için TBDY (2018) 3.3.1.3 maddesi esas alınarak tanımlanan yükseklik aralıkları, Tablo 3.1'deki Deprem Tasarım Sınıflarına bağlı olarak Tablo 3.5'te verilmiştir (TBDY, 2018).

TBDY (2018) 3.3.1.3. Deprem hesabı bakımından bina yüksekliği H_N , 3.3.1.1 veya 3.3.1.2'ye göre tanımlanan bina tabanından itibaren ölçülen yükseklik olarak tanımlanır. Bu tanımda, çatı döşemesinin üzerinde yer alan asansör makine dairesi ve benzeri küçük kütleli uzantılar dikkate alınmayabilir (TBDY, 2018).

Tablo 3.5. deki bina toplam yüksekliğine (H_N) bakılarak, Bina Yükseklik Sınıfı belirlenen yapıların performans hedefleri ve uygulanacak tasarım yaklaşımına karar verilir.

H_N bina toplam yüksekliği : Deprem hesabı bakımından bina yüksekliği H_N tabanından itibaren ölçülen yükseklik olarak tanımlanır (TBDY, 2018). (Bodrumlu binalarda bina tabanı, bodrum perdelerinin üst kotundaki kat döşemesi seviyesinde tanımlanır.)



Şekil 3.1. Bina Toplam Yüksekliği H_N (TBDY, 2018)

3.4. Deprem Etkisi Altındaki Mevcut Binaların Değerlendirilmesi

Güçlendirilecek ve mevcuta bulunan tüm bina türü yapıların, deprem etkileri altındaki performans değerlendirmelerine yönelik hesaplama yöntemleri, güçlendirme kararlarının dayanakları ve tasarım ilkeleri, TBDY Bölüm 15 kapsamında ayrıntılı olarak tanımlanmıştır. (TBDY, 2018).

Mevcut yapıların taşıyıcı sistem elemanlarının tespiti ve deprem dayanımlarının değerlendirilmesi amacıyla gerekli olan eleman detayları ve boyutları ile taşıyıcı sistemin geometrik özellikleri ve kullanılan malzemenin fiziksel-mekanik karakteristikleri; yapıya ait mimari ve statik projeler ile mühendislik raporlarından, yapı üzerinde gerçekleştirilecek yerinde gözlem ve ölçümlerden, ayrıca yapıdan alınacak numuneler üzerinde uygulanacak laboratuvar deneylerinden elde edilecektir (TBDY, 2018). Öncelikle yapılacak işlerin başında yapı hakkında bilgi toplamak gelmektedir.

Yapılardan bilgi toplanması sırasında yapılacak işlemler (Arıcı, 2010):

- Taşıyıcı sistemin ve bina geometrisinin ayrıntılı olarak tanımlanması
- Temel sisteminin tespiti
- Yapının zemin niteliğinin belirlenmesi
- Eleman boyutlarının ölçülmesi
- Kullanılan yapı malzemelerinin dayanım ve özelliklerinin belirlenmesi

Sahada toplanan tüm bu bilgiler projesi varsa uygunluğu denetlenerek işe başlanır.

Binaların mevcut durumu hakkında elde edilen verilerin kapsamı doğrultusunda, her bir yapı türü için bilgi düzeyi belirlenecek; buna bağlı olarak performans analizlerinde kullanılacak bilgi düzeyi katsayıları tanımlanacaktır (Tablo 3.6). Bilgi düzeyleri sınırlı ve

kapsamlı bilgi düzeyi olarak sınıflandırılacak ve bilgi düzeyi katsayılarına göre taşıyıcı eleman kapasitelerinin hesaplanmasında kullanılacaktır (TBDY, 2018).

Sınırlı bilgi düzeyinde, taşıyıcı sistemin özellikleri binada yapılması planlanan ölçümlerle belirlenir. Sınırlı bilgi düzeyi sadece Tablo 3.7’de tanımlanan Diğer Binalar (BKS=3) için uygulanacaktır (TBDY, 2018)

Kapsamlı bilgi düzeyinde sınırlı bilgi düzeyine göre daha detaylıdır ve daha fazla ölçüm yapılır. (Çalışmada ele alınan örnekler okul olduğu için Tablo 3.7’e göre BKS 1 olduğu için kapsamlı bilgi düzeyi üzerinden açıklamalara devam edilecektir.)

Tablo 3.6. Binalar İçin Bilgi Düzeyi Katsayıları (TBDY, 2018)

Bilgi Düzeyi	Bilgi Düzeyi Katsayısı
Sınırlı	0.75
Kapsamlı	1.00

Tablo 3.7. Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayıları (TBDY, 2018)

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

3.4.1. Binalarda kapsamlı bilgi düzeyinin belirlenme aşamaları

Bina Geometrisi: Projesi bulunmayan yapıların mevcut durumunun tespit edilmesi amacıyla, sahada yürütülecek çalışmalarla taşıyıcı sistem rölevesi çıkarılacaktır. Elde edilecek veriler yapıdaki tüm betonarme elemanların ve bölme duvarların her kattaki yerini, yüksekliklerini, boyutlarını, açıklıklarını ve yapıdaki malzemesinin bilgilerini

kapsamalıdır. Yapıda olumsuzluk teşkil eden kısa kolonlar ve benzeri düzensizlikler kat planına ve kesitlere işlenecektir. Komşu yapılarla olan ilişkiler (ayrık, bitişik, derzli) net biçimde tanımlanmalı; bina geometrisi, yapının kütleli özelliklerini hassas şekilde belirlemeye olanak tanıyacak ayrıntıda ortaya konulmalıdır. Temel sistemi ise, yapı çevresinde açılacak yeterli sayıdaki inceleme çukuru aracılığıyla belirlenmelidir. (TBDY, 2018).

Eleman Detayları: Mevcut betonarme yapı elemanlarında kullanılan donatı miktarının ve detaylandırmasının, yapının inşa edildiği dönemde yürürlükte olan asgari donatı koşullarını sağladığı varsayılmaktadır. Bu varsayımın geçerliliğinin doğrulanması ve gerçekleşme oranının nicel olarak belirlenebilmesi amacıyla, her katta en az birer örnek içerecek şekilde perde ve kolon elemanlarının %5'inde beton örtüsü sıyrılarak donatı tespiti gerçekleştirilecektir. Beton örtüsü sıyrılmayan perde ve kolonların %20'sinde, ayrıca çerçeve sistemine ait kirişlerin %10'unda enine ve boyuna donatı adedi ile yerleşim düzeni, uygun donatı tespit cihazları kullanılarak belirlenecektir. Tespit edilen donatı düzeni ile mevcut projedeki varsayılan donatı arasında uyumsuzluk gözlemlenmesi durumunda, her bir eleman türü (perde, kolon, kiriş) için ayrı ayrı olmak üzere, projede öngörülen donatıya kıyasla gerçekleşen donatı oranını ifade eden "donatı gerçekleşme katsayısı" tanımlanacaktır. Bu katsayı, yapı elemanlarının taşıyıcı kapasitelerinin belirlenmesinde kullanılacak olup, değeri 1'in üzerinde olamaz. Donatı tespiti yapılmayan diğer elemanlar için, belirlenen katsayılar referans alınarak olası donatı miktarları tahmin edilecektir. Yapıya ait betonarme veya uygulama projelerinin mevcut olmaması halinde, her katta en az ikişer örnek içerecek şekilde kolon ve perde elemanlarının %10'unda beton örtüsü sıyrılarak doğrudan donatı tespiti yapılacaktır. Sıyrılan yüzeyler, işlem sonrasında yüksek dayanımlı tamir harçları ile kapatılacaktır. Ayrıca, beton örtüsü sıyrılmayan kolon ve perdelerin %30'unda ve kirişlerin %15'inde enine ve boyuna donatı adedi ile yerleşim düzeni, donatı tespit cihazları aracılığıyla belirlenecektir. (TBDY, 2018).

Malzeme Özellikleri: Yapıdaki beton dayanımının belirlenmesi amacıyla, TS EN 12504-1 standardında tanımlanan koşullara uygun olarak, zemin kat seviyesinde en az üç adet, diğer katlarda ise en az iki adet olmak üzere, toplamda dokuz adetten az olmamak kaydıyla ve her 400 m²'lik alan için bir adet olacak şekilde beton numunesi alınarak deneysel analiz gerçekleştirilecektir. Numuneler, uzunluğu ve anma çapı eşit olan (100 mm) silindirik karotlar şeklinde hazırlanacak ve bu karotlar üzerinde yapılan basınç

dayanımı testleri, herhangi bir düzeltme katsayısı uygulanmaksızın mevcut beton dayanımının tayininde doğrudan kullanılabilir.

Farklı uzunluk/çap oranlarına sahip karotlardan elde edilen test sonuçlarının değerlendirilmesinde, TS EN 13791 kapsamında belirtilen uygun dönüştürme katsayıları esas alınmalıdır. Elemanların taşıyıcı kapasitelerinin hesaplanmasında ise, elde edilen numune sonuçları arasından (ortalama değer – standart sapma) ile (ortalama değer \times 0.85) karşılaştırılarak büyük olan değer, mevcut beton dayanımı olarak kabul edilecektir.

Bir numune grubuna ait deney sonuçları arasında yer alan en düşük değer ile kalan sonuçların ortalaması arasındaki fark, istatistiksel açıdan sapma olup olmadığının belirlenmesi amacıyla analiz edilecektir. Bu kapsamda, en düşük tek değer, diğer sonuçların ortalamasının %75'inden daha düşük ise, söz konusu numune değerlendirme dışı bırakılacaktır.

Beton dayanımının yapıda yatay ve düşey düzlemdeki dağılımı, alınan karot numunelerine ait deney sonuçları ile kalibre edilmiş beton çekici ölçümleri veya eşdeğer hasarsız test yöntemleri kullanılarak kontrol edilebilir.

Donatı sınıfının belirlenmesinde, sıyrılan yüzeylerde yapılan görsel ve fiziksel incelemeler esas alınacak; her çelik sınıfı (örneğin S220, S420 vb.) için en az bir adet numune alınarak çekme deneyleri yapılacaktır. Bu deneyler sonucunda çeliğin akma gerilmesi, kopma dayanımı ve şekil değiştirme kapasitesi belirlenerek, projede öngörülen özelliklerle uyumu değerlendirilecektir. Eğer mevcut çelik özellikleri proje ile uyumlu ise, eleman kapasite hesaplarında projede tanımlanan karakteristik akma gerilmesi esas alınacaktır. Uyumsuzluk durumunda ise, ilave olarak en az üç adet numune alınarak deney tekrarlanacak ve elde edilen en düşük akma gerilmesi değeri, mevcut çelik akma gerilmesi olarak kabul edilecektir. Bu incelemede, donatısında korozyon gözlenen elemanlar planda işaretlenecek ve bu durum eleman kapasite hesaplarında dikkate alınacaktır (TBDY, 2018).

3.5. Bina Performans Düzeyleri

Şekil 3.2. de verilen tasarım yaklaşımlarına göre istenen durumlarla beraber TBDY (2018)'e göre toplam 4 adet performans düzeyi tanımlanmıştır. Bunlar :

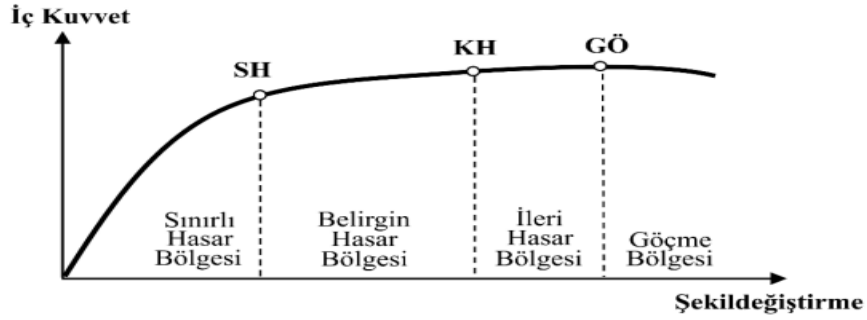
- Kesintisiz Kullanım (KK) Performans Düzeyi (*Yapısal hasar yok veya ihmal edilebilir*)
- Sınırlı Hasar (SH) Performans Düzeyi (*Sınırlı düzeyde hasarın meydana geldiği*)

- Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi (*Taşıyıcı sistem elemanlarında çok ağır olmayan ve çoğunlukla onarılması mümkün olan hasar*)
- Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Düzeyi (*İleri düzeyde ağır hasarın meydana geldiği göçme öncesi durum*)

Sünek elemanlar için kesit düzeyinde üç hasar durumu ve hasar sınırı tanımlanmıştır.

- Sınırlı Hasar (SH) (sınırlı miktarda elastik ötesi davranış)
- Kontrollü Hasar (KH) (elastik ötesi davranış)
- Göçme Öncesi Hasar (GÖ) (ileri düzeyde elastik ötesi davranışı) ve bunların sınır değerleridir. (Gevrek olarak hasar gören elemanlarda bu sınıflandırma geçerli değildir.)

Verilen yöntemlerle hesaplanan iç kuvvetlerin veya şekil değiştirmelerin kesit hasar durumlarından (SH, KH, GÖ) hangi hasar bölgesinde olduğuna karar verilecektir.



Şekil 3.2. Kesit Hasar Bölgeleri (TBDY, 2018)

3.5.1. Mevcut binaların deprem performansının belirlenmesi

Deprem performans analizi yapılacak mevcut veya güçlendirilmesi planlanan binalarda esas alınacak deprem yer hareketi seviyeleri ile bu seviyelerde hedeflenen minimum bina performans kriterleri Tablo 3.4’te belirtilmiştir. Deprem etkisi altındaki yapıların beklenen hasar durumları esas alınarak dört farklı hasar düzeyi tanımlanmış olup bu durumlar yapıdaki hasarların durumu ile ilişkilidir (TBDY, 2018) (Şekil 3.2).

Bina performans düzeyi : *Doğrusal Hesap Yöntemi* (Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi veya Modal Hesap Yöntemi) kullanılarak ve TBDY 15.7 de verilen şekil değiştirme sınırlarına karar verilmesi ile belirlenir (TBDY, 2018).

3.5.1.1. Mevcut binalarda sınırlı hasar performans düzeyi

TBDY (2018) 15.8.3.'e göre “*Betonarme yapılarda, herhangi bir katta gerçekleştirilen her bir deprem doğrultusuna ilişkin hesaplamalar sonucunda, giriş elemanlarının en fazla %20'sinin Belirgin Hasar Bölgesi'ne geçebilir, ancak diğer taşıyıcı elemanlarının tümü Sınırlı Hasar Bölgesi'ndedir. Eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri kaydı ile, bu durumdaki binaların Sınırlı Hasar Performans Düzeyinde olduğu kabul edilir. Çelik ve prefabrik betonarme binalarda bu istisnalar geçerli değildir.*”

3.5.1.2. Mevcut binalarda kontrollü hasar performans düzeyi

TBDY (2018) 15.8.4.'e göre “*Eğer varsa gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri kaydı ile, aşağıdaki koşulları sağlayan binaların Kontrollü Hasar Performans Düzeyinde olduğu kabul edilir:*

(a) *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 (b) paragrafında tanımlanan kadarı İleri Hasar Bölgesi'ne geçebilir (TBDY, 2018).*

(b) *İleri Hasar Bölgesi'ndeki düşey elemanların, her bir katta düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam 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).*

(c) *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 (Doğrusal yöntemle hesapta, alt ve üst düğüm noktalarının ikisinde birden Denk.(7.3)'ün sağlandığı kolonlar bu hesaba dahil edilmezler.”*

Gevrek hasar gösteren elemanların uygun şekilde güçlendirilmesi koşuluyla, bir betonarme bina Kontrollü Hasar Performans Düzeyinde kabul edilebilir. Bu düzeyin sağlanabilmesi için, herhangi bir katta ikincil olmayan kirişlerin en fazla %35'inin İleri Hasar Bölgesi'ne geçmesi; düşey taşıyıcı elemanlardan İleri Hasar Bölgesi'ne geçenlerin, o kattaki toplam kesme kuvveti katkısının %20'yi, en üst katta ise %40'ı aşmaması

gerekir. Diğer tüm taşıyıcı elemanlar Sınırlı veya Belirgin Hasar Bölgesi'nde kalmalı; ancak aynı katta hem alt hem üst uçlarında Belirgin Hasar Sınırı'nı aşan düşey elemanların taşıdığı kesme kuvvetlerinin, o kattaki toplam düşey kesme kuvvetine oranı %30'u geçmemelidir. Doğrusal analizde, Denklem (3.2)'ü hem alt hem üst düğüm noktalarında sağlayan kolonlar bu sınırlamaya dahil edilmez.

3.5.1.3. Mevcut binalarda göçmenin önlenmesi performans düzeyi

TBDY (2018) 15.8.5.'e göre “*Gevrek olarak hasar gören tüm elemanların Göçme Bölgesi'nde olduğunun gözönüne alınması kaydı ile, aşağıdaki koşulları sağlayan binaların Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir:*

(a) *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 betonarme binalarda bu istisnalar geçerli değildir.*

“(b) *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 (Doğrusal yöntemle hesapta, alt ve üst düğüm noktalarının ikisinde birden Denk.(3.2)'in sağlandığı kolonlar bu hesaba dahil edilmezler)”*

$$(M_{ra} + M_{ru}) \geq 1.2 (M_{rl} + M_{rl}) \quad (3.2)$$

(c) *Binanın mevcut durumunda kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.*

Binanın Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi'nde kabul edilebilmesi için, gevrek hasarların yalnızca Göçme Bölgesi'nde oluştuğu varsayımıyla; kirişlerin en fazla %20'sinin bu bölgeye geçmesi, düşey elemanlardaki kesme kuvveti oranının %30'u aşmaması ve mevcut kullanımın can güvenliği açısından sakıncalı olması gerekmektedir.

3.5.1.4. Göçme durumu

TBDY (2018) 15.8.6.'e göre “*Bina Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi'ni sağlayamıyorsa Göçme Durumu'ndadır. Binanın kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.*

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde mevcut iki okul binasının, numunelerinin alım aşamaları, alınan numunelerin yönetmeliğin ilgili maddeleri gereğince hesaba dahil edilmesi ve analiz yapıldıktan sonraki aşamalarına yer verilmiştir. Önceki bölümlerde verilen bilgilendirmelere atıf yapılarak detaya girilmeden projeden kesitlerle desteklenmiştir. Deprem Performans Analizi sonrasında güçlendirmesi çıkan iki okulun hesap yöntemi seçilmesi ve seçilen hesap yönteminde ne gibi aşamalar kaydedildiği gösterilmiştir.

Okul binasının deprem performansının belirlenebilmesi için öncelikle söz konusu okullarla ilgili bilgiler toplanmıştır. Daha sonra hangi bilgi düzeyine sahip olduğu tespit edilip, bina geometrisi, eleman detayları ve malzeme özellikleri belirlenerek; Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım Kapsamında (ŞDGT) verilen yöntemlerle hesaplanan iç kuvvetlerin veya şekil değiştirmelerin kesit hasar durumlarından (SH, KH, GÖ) hangi hasar bölgesinde olduğu gösterilmiştir.

4.1. Mevcut Malzeme Dayanımının Belirlenmesi

Betonarme yapının mevcut beton mukavemetinin belirlenmesi amacı ile iki farklı yöntem kullanılmıştır.

- Tahribatsız yöntem ile beton mukavemetinin belirlenmesi.
- Tahribatlı yöntem ile beton mukavemetinin belirlenmesi.

Tahribatsız yöntem için *Schmith Test Çekici deneyi* (Öziçer ve Uyanık, 2017), tahribatlı yöntem için ise *karot numune basınç deneyi* (Akdağ ve Mutlu, 2013) yöntemi uygulanmıştır. Sonuçların sağlıklı değerlendirilebilmesi için her iki deney de taşıyıcı elemanların aynı yerinde uygulanmıştır.

Yapılan test sonuçları değerlendirildiği zaman test çekici yönteminin, genel olarak, karot basınç deneylerinden elde edilen mukavemetlerden çok daha büyük olduğu gözlemlenmiştir. Bu sebepten ötürü, binanın mevcut durumunun değerlendirilmesinde verilen ve istatistiksel olarak hesaplanmış karakteristik basınç dayanımı kullanılmıştır.

Bilindiği üzere karot alma işlemi sırasında ve sonrasında taşıyıcı elemanlarda boşlukların elemanın taşıma kapasitesinin azaltılması söz konusudur. Bu nedenle “Karot Numune” alınması işlemi özenle gerçekleştirilmesi gereken bir işlemdir. Bu amaçla karot numunesi alınacak yerlerin yapının taşıyıcı elemanlarının kapasitelerini azaltmayacak, yapının mevcut mimari kullanımını etkilemeyecek şekilde olmasına özel gösterilmiştir. Daha sonra karot numunelerinin alındığı yerler mukavemeti yüksek özel harç ile

doldurulmuştur. Alınan numuneler “Malzeme Laboratuvarında” gerekli işlemlerden sonra basınç deneyine tabi tutulmuştur.

Aşağıda anlatılan sebeplerden dolayı karot basınç dayanımları belli düzeltme katsayıları ile çarpıldıktan sonra binanın mevcut durumunun analizi için kullanılmıştır. Sırası ile bu katsayılar:

- *Çap/boy oranı düzeltme katsayısı*: Elde edilen karot numunelerinin boyunun çapının iki katı olmasına özen gösterilmiş olmasına rağmen, bazı binalarda beton işçiliğinin ve kalitesinin kötü olması nedeniyle deney yapılabilmesi için numunelerin hazırlanması, numune alınması sırasında kırılmaları nedeniyle çap/boy oranları her karot için farklıdır.
- *Karot örselenme katsayısı*: Karot numunesi çapı sabit olmak üzere 9.3 cm’dir. Çapın küçük olması nedeniyle de numunenin alınması sırasında çimento ile agregaların titreşimden dolayı bağlayıcılıklarının nispeten azalacağı varsayılmıştır.
- *Karot pozisyonu düzeltme katsayısı*: Karot deneyleri için alınan numunelerin düşey veya yatay alınmalarına göre deney sonuçlarında farklılıklar söz konusu olmaktadır. Yatay alınan numuneler düşeylere göre daha az kırılma değerleri vermektedir.

TS EN 12504-1’e göre alınmış karot numunelerinin deney sonuçları üzerinde gerekli düzeltme faktörleri uygulandıktan sonra istatistiksel çalışmalar yapılmıştır. Düzeltilerek hesaplanmış *karakteristik beton basınç dayanımı* verilmiştir. Bu değer hesaplanmasında ortalama ve standart sapma için karot verilerinin en büyüğü ve en küçüğü dikkate alınmamıştır.

Ayrıca TBDY (2018) 15.8.3.’e göre yönetmeliğin ilgili maddesi gereği:

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 elemanlarının tümü Sınırlı Hasar Bölgesi’ndedir” (TBDY, 2018).

Eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri kaydı ile, bu durumdaki binaların Sınırlı Hasar Performans Düzeyinde olduğu kabul edilir (TBDY, 2018).

Bu performans kriterlerine göre gerekli hesaplamalar yapılarak değerlendirilmiştir. Bu analizlerde deprem etkileri dışında betonarme işleri için TS500,

yüklemeler için TS498 kullanılmıştır. Mevcut yapı STA4CAD analiz programında üç boyutlu olarak modellenmiş ve analiz sonuçları ayrıntılı olarak verilmiştir.

4.2. Analiz Öncesi Hazırlıklar

Mevcut yapılara ait mimari ve statik projeler olmadığı için röleveler çıkarılmıştır. Saha ekibi tarafından yerinde inceleme yapılarak yapıların mevcut durumu belirlenmiştir. Karot numune alınarak ve Schmidt test çekici deneyi yapılarak beton kalitesi kontrolü yapılmış ve yeterli donanımına sahip laboratuvarında test edilerek mevcut beton dayanımı belirlenmiştir. Dijital proformetre ile donatıların tespiti yapılmış ve belirlenmiş yerlerde kolonların pas payları sıyrılarak donatıları kontrol edilmiştir. Yapının mevcut durumu 3-boyutlu modellenip TBDY (2018)'ne göre analiz edilmiş ve sismik performansı değerlendirilmiştir.

4.3. Birinci Okul Binasından Bilgi Toplanması ve Röleve Çalışması

4.3.1. Yerleşim bilgileri

Kırşehir ili Kaman ilçesinde bulunan okul binası olarak hizmet veren betonarme bir binadır. B+Z+3 Normal kattan oluşmaktadır. Yapım yılı 2005 yılıdır. Bahsi geçen yapı lise binası olarak hizmet vermektedir. Birinci okul binası için yerinde yapılan çalışmalar, kapsamlı bilgi düzeyinde yapılmıştır.

- ✓ **İl/İlçe** : Kırşehir İli Kaman İlçesi
- ✓ **Yapım Yılı** : 2005
- ✓ **Enlem/Boylam** : 39.345844 / 33.719424
- ✓ **Kullanım Amacı**: Okul
- ✓ **Kat Adeti** : B+Z+3N



Şekil 4.1. 1. Okul uydu görüntüsü (Parsel Sogü Uygulaması Google Görüntüsü)



Şekil 4.2. Binanın mevcut durumunun ön ve arka cephe görüntüsü

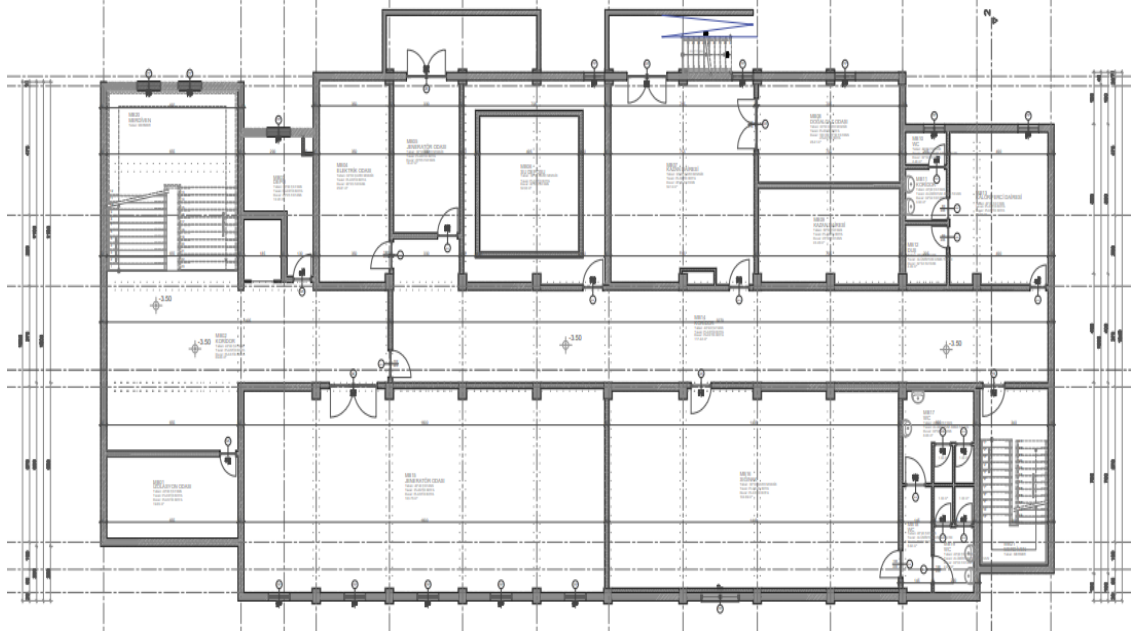
4.3.2. Yapısal geometri ve projeler

Mevcut yapıya ait mimari ve statik projeler olmadığı için röleveller çıkarılmıştır. Yapı üzerinde yapılan çalışmalarda yapının genel geometrik özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan gözlemler sonucunda yapının dikdörtgen plan görüntüsüne sahip olduğu anlaşılmıştır. Yapı tek bloktan oluşmaktadır. Yapı yaklaşık plan ölçüleri 47.55m x 19.05 m'dir. Binanın yapısal geometrik özellikleri ilgili bölümlerde verilmiştir.

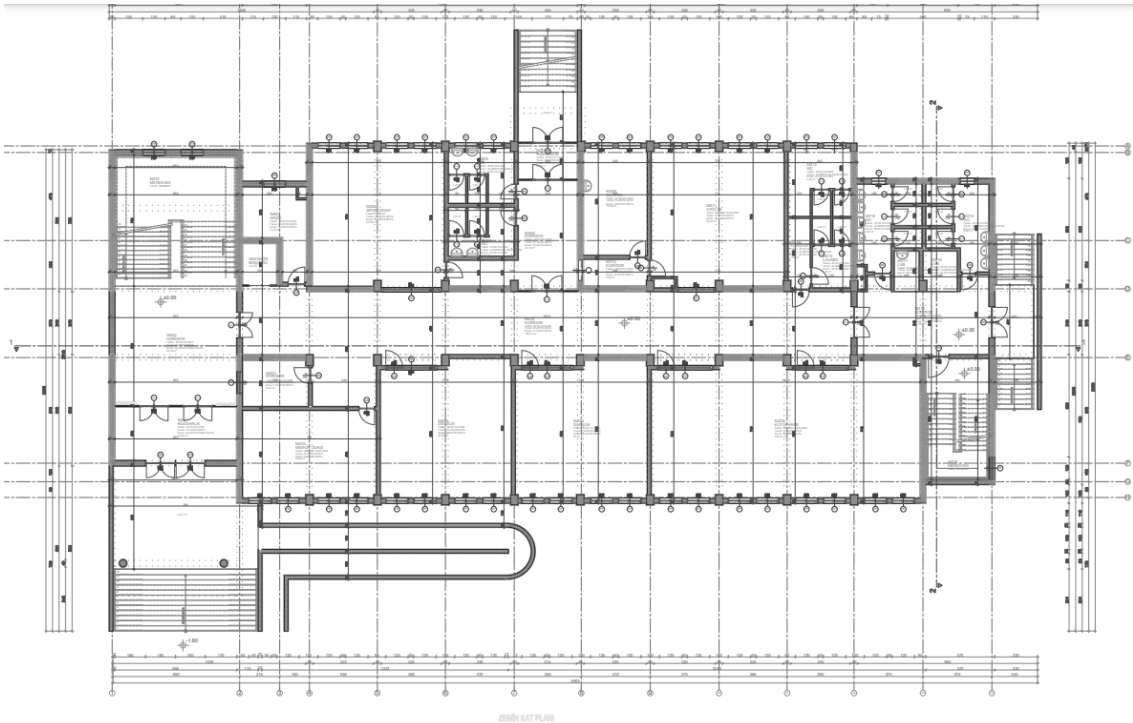
Tablo 4.1. Yapısal Geometri Tablosu

Bina oturma alanı (m ²)	Yaklaşık 916.69 m ²
Geometrik form	Dikdörtgen
Kenar uzunlukları(m)	X yönünde 47.55 m - Y yönünde 19.05 m
Toplam yapı yüksekliği (m)	17.50 m
Kapalı çıkma (konsol)	Yok
Çatı tipi	Ahşap Oturtma Çatı
Taşıyıcı sistem	Betonarme Kolon ve Kirişlerle Taşınan Plak

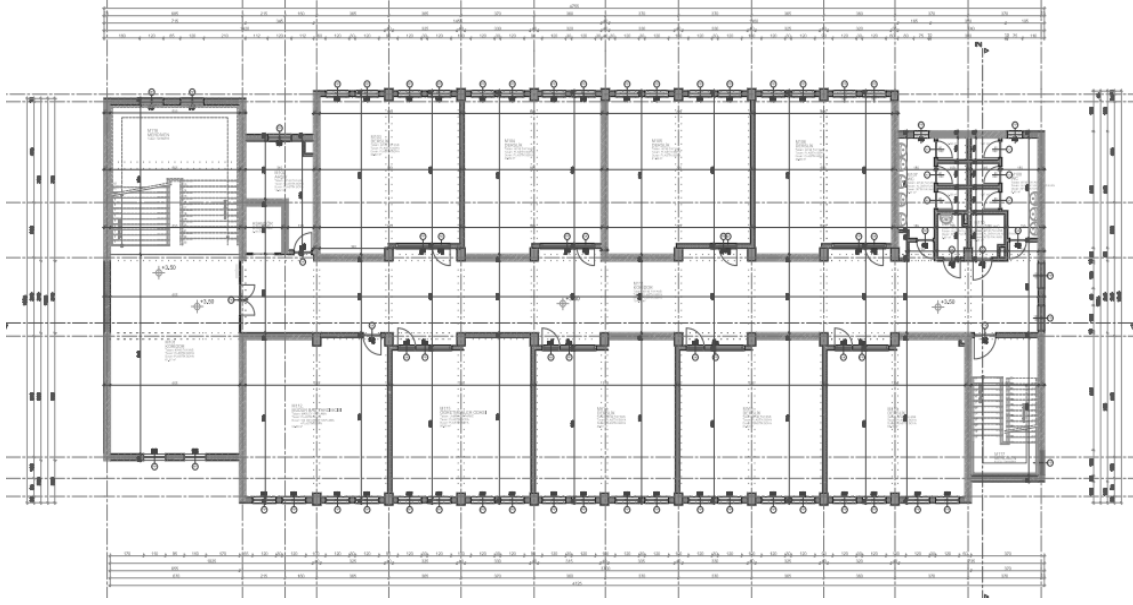
Yapının genelinde kolon kesitleri 55x40 cm, 60x40 cm boyutlarda, kiriş ebatları 30x75 cm olarak tespit edilmiştir. Döşemelerin plak kalınlığı 15 cm'dir. Yapının toplam yüksekliği 17.50 m'dir. Okulun röleve planı (B+Z+3N) aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 4.3. Bodrum kat planı



Şekil 4.4. Zemin kat planı



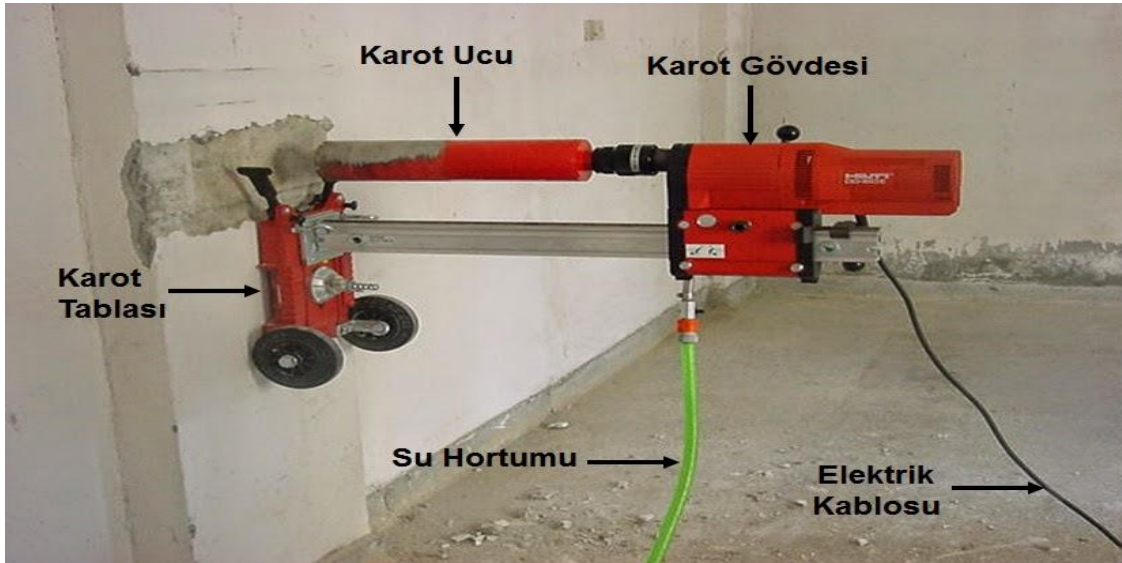
Şekil 4.5. 1, 2 ve 3. katların planı

4.3.3. Malzeme tespit çalışmaları

Bina geometrisinin, eleman detaylarının ve mevcut malzeme özelliklerinin belirlenmesinde TBDY (2018)'nde tanımlanan "Kapsamlı Bilgi Düzeyi" dikkate alınarak yapılmıştır.

4.3.4. Beton dayanımının belirlenmesi

Kapsamlı bilgi düzeyi gereği, toplam 15 adet beton karot örneği alınıp test yapılmıştır. Laboratuvar ortamında yapılan deneyler ile alınan numunelerin mevcut beton basınç dayanımları belirlenmiştir.



Şekil 4.6. Karot alım detayı (Kan, 2020)



Şekil 4.7. Karot alımı

Hesaplamalar yapılırken TBDY Bölüm 15.2.5'ten yararlanılmıştır. Şartnamenin ilgili bölümünden elde edilen beton basınç dayanımlardan yapıya ait beton basınç dayanımının nasıl elde edileceği anlatılmıştır. Elde edilen değerlerin ortalamasından standart sapma değeri çıkarılarak bulunan sonuç ile elde edilen değerlerin ortalamasının 0,85 ile çarpımı karşılaştırılarak büyük olan değer yapının beton dayanımı olarak seçilmiştir.

Tablo 4.2. Birinci okul karot sonuçları

Alınan Karot Sayısı	15
Ortalama Test	30,92 Mpa
Standart Sapma	1,63 Mpa
Kullanılan Beton Mukavemeti (f _{ck})	29,28 Mpa
Not -1: (Ortalama - Standart sapma) değeri ile (Ortalama x 0.85) değeri arasından büyük olan mevcut beton dayanımı olarak kullanılmaktadır.	
Not -2: En düşük değer (28,69 MPa), geriye kalan değerlerin ortalamasının %75'inin (23,31 MPa) üstünde olduğu için bu değer ihmal edilmemiştir.	
$F_{ck} = (Ort. Dayanım - Standart Sapma)$	29,28 Mpa
$F_{cd} = F_{ck} \times \gamma_{mc}$	24,89 Mpa
<i>($\gamma_{mc} = 0.85$ olarak hesaplara dahil edilmiştir.)</i>	

4.3.5. Paspayı sıyırma ve donatı tespiti

Yapılan gözlemlere göre mevcut kolon ve kiriş donatılarının nervürlü (S420) tipi olduğu tespit edilmiştir. Yapısal analizlerde bu tespite uygun olarak düşey donatı akma dayanımı $f_y = 420$ MPa; yatay donatı akma dayanımı $f_y = 420$ MPa alınmıştır.

Yapılan çalışmalarda elde edilen donatı değerleri Tablo 4.3. ve Tablo 4.4. 'te detaylı olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Paspayı sıyırma örnekleri

Tablo 4.3. Kolonlarda paspayı sıyırma ile donatı tespit tablosu

1. OKUL KOLONLARINDA HASARLI DONATI TESPİTLERİ					
NO	KAT-ELEMAN	İŞLEM ADI	AKS	YERİNDE BOYUNA DONATI	YERİNDE ETRİYE
1	Bodrum Kat Kolon	PPSB01	9/E Aksı	10Ø16	Ø8/20/20
2	Bodrum Kat Kolon	PPSB02	5-7/E Aksı	10Ø16	Ø10/20/20
3	Bodrum Kat Perde	PPSB03	6-7/D Aksı	Ø14	Ø8/20/20
4	Bodrum Kat Kolon	PPSB04	5/D Aksı	10Ø16	Ø10/20/20
5	Bodrum Kat Perde	PPSB05	D-C/1 Aksı	Ø16	Ø8/20/20
6	Zemin Kat Kolon	PPSZ01	12/E Aksı	10Ø16	Ø10/20/20
7	Zemin Kat Kolon	PPSZ02	7/B Aksı	14Ø20	Ø10/20/20
8	Zemin Kat Kolon	PPSZ03	10/11-E Aksı	12Ø16	Ø10/20/20
9	Zemin Kat Perde	PPSZ04	A-C/8 Aksı	Ø14	Ø10/20/20
10	Zemin Kat Kolon	PPSZ05	4/E Aksı	10Ø16	Ø10/20/20
11	1. Kat Kolon	PPS101	12/H Aksı	12Ø16	Ø10/20/20
12	1. Kat Kolon	PPS102	9/D Aksı	10Ø16	Ø10/20/20
13	1. Kat Kolon	PPS103	8/D Aksı	10Ø16	Ø10/20/20
14	1. Kat Kolon	PPS104	7-E Aksı	10Ø16	Ø10/20/20
15	1. Kat Kolon	PPS105	6/7-D Aksı	14Ø20	Ø10/20/20
16	2. Kat Kolon	PPS201	9/E-D Aksı	3Ø16	Ø8/20/20
17	2. Kat Kolon	PPS202	11/E Aksı	10Ø16	Ø10/20/20
18	2. Kat Kolon	PPS203	D-12 Aksı	10Ø16	Ø10/20/20
19	2. Kat Perde	PPS204	12/3-E	14Ø20	Ø10/20/20
20	2. Kat Kolon	PPS205	D-10 Aksı	10Ø16	Ø10/20/20
21	2. Kat Kolon	PPS206	D-5 Aksı	10Ø16	Ø10/20/20
22	3. Kat Kolon	PPS301	11/H Aksı	10Ø16	Ø10/20/20
23	3. Kat Kolon	PPS302	14/C-D Aksı	Ø16 Başlık	Ø10
24	3. Kat Kolon	PPS303	12/D Aksı	8Ø16	Ø10/20/20
25	3. Kat Perde	PPS304	10/11-E Aksı	Ø14 GÖVDE	Ø10/20/20
26	3. Kat Kolon	PPS305	8/E Aksı	Ø16	Ø10/20/20

Not: Paspayı sıyırma işlemleri esnasında gözlenen donatılar **NERVÜRLÜ** donatı olduğu için hesaplarda da **St-I** olarak kullanılmıştır.

Tablo 4.4. Kirişlerde paspayı sıyırma ile donatı tespit tablosu

1. OKUL KİRİŞLERİNDE HASARLI DONATI TESPİTLERİ					
NO	KAT-ELEMAN	İŞLEM ADI	AKS	YERİNDE BOYUNA DONATI	YERİNDE ETRİYE
1	Bodrum Kat Kiriş	PPSKB01	7/E-D AKSI	3Ø14	Ø8/20/20
2	Zemin Kat Kiriş	PPSKZ01	E-D/6 AKSI	3Ø16	Ø8/20/20
3	1. Kat Kiriş	PPSK101	H-E/12 AKSI	4Ø14	Ø10/20/20
4	3. Kat Kiriş	PPSK301	C/D-12 AKSI	4Ø14	Ø8/20/20

Not: Paspayı sıyırma işlemleri esnasında gözlenen donatılar **NERVÜRLÜ** donatı olduğu için hesaplarda da **St-I** olarak kullanılmıştır.

4.3.6. Temel çukuru

Yapılan inceleme sonucunda yapı temelinin mütemadi temel olduğu tespit edilmiştir. Yapının temel kiriş genişliği 120 cm ve yüksekliği 60 cm olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.9. Temel Çukuru Kazılması ve Ölçümü

4.3.7. Zemin incelemesi

Zemin çalışması da daha önce yaptırılmış olup deprem performans analizi için gerekli zemin sınıfı ve taşıma gücü gibi değerler gerekli hesaplamalarda kullanılmıştır. Alınan değerler aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Taşıma gücü, temel genişliğinin yaklaşık olarak bir veya iki katı derinlikteki zemine kadar etki eder ve bu zeminin dayanımını verir (Kayabaşı, 2014).

Tablo 4.5. Zemin parametreleri

Kaya			
Cs	0.8	K _s	0.020
B	1200	l _s	33.61
σ	0.6	q _{un}	403.32
karekök	15.033	q _a	8.050323
		q _{em}	5.750

Tablo 4.6. Yüzeysel temeller için dayanım katsayıları tablosu

Dayanım Türü	Dayanım Katsayı Simgesi	Dayanım Katsayı Değeri
Temel Taşıma Gücü	R _v	1.4
Sürtünme Direnci	R _h	1.1
Pasif Direnç	R _p	1.4

Taşıma Gücü Hesabı; SK-1 CR: 4.50 m için 5.75 kg/cm²

Yatak katsayısı K_s= 40xq_{em}nxGS (kN/m³) formülü ile ifade edilmektedir. (Bowles, 1988).

K_v = 8 Düşey yatak modülü

q_{em} = emniyetli taşıma gücü

GS = güvenlik sayısı

K_s= 40xq_{em}nxGS

Tablo 4.7. Yatak katsayısı tablosu

Kuyu İsimleri	KV Düşey Yatak Modülü	Taşıma Gücü (kg/m ²)	Tasarım Katsayısı	K _s Yatak Katsayısı t/m ³
SK-1	40	5.75	1.4	3220

Tablo 4.8. Zemin değerleri

Yerel Zemin Sınıfı	ZB
Bina Kullanım Sınıfı	1
Temel Yatak Katsayısı	3220 ton/m ³
Zemin Emniyetli Taşıma Gücü	5,75 kg/cm ²

4.3.8. Deprem parametreleri ve deprem performans hedefi

4.3.8.1. Deprem parametreleri

Güçlendirme konusu olan yapı, okul binası olarak hizmet veren betonarme bir binadır. B+Z+3 Normal kattan oluşmaktadır. İlk olarak okulun bulunduğu konum, AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritaları uygulamasından bina koordinatları girilerek Şekil 4.10. da verilen bilgiler elde edilmiştir (AFAD, 2025). Tablo 3.4. te Mevcut Yerde Dökme Betonarme Binalar (Yüksek Binalar dışında BYS 2 ≥) için performans hedefleri doğrultusunda aşamalar kaydedilmiştir.

Statik ve mimari projeleri bulunmadığı için bina röleleri çizilerek tüm betonarme elemanların her kattaki yerini ve malzemesini, eksen açıklıklarını,

yüksekliklerini ve boyutlarını içeren binanın hesap modeli oluşturulmuştur. Temel sistemi de bina içinde açılan inceleme çukuru ile belirlenmiştir. Tüm bu veriler STA4CAD e işlenerek hedeflenen performansı sağlayıp sağlamadığına bakılmıştır.

4.3.8.2. AFAD deprem tehlike haritası

Zemin çalışması kapsamında birinci okul binasının bulunduğu yerde zemin sınıfının ZB olduğu belirlenmiştir. Zemin sınıfı dikkate alınarak AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritası kullanılmış ve yapıya ait :

S_s : Kısa Periyot Harita Spektral İvme katsayısı (boyutsuz)

S_1 : 1.0 Saniye Periyot İçin Harita Spektral İvme Katsayısı (boyutsuz)

S_{DS} : Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (boyutsuz)

S_{D1} : 1.0 Saniye Periyot İçin Tasarım Spektral İvme Katsayısı (boyutsuz)

PGA : En Büyük Yer İvmesi (g)

PGV : En Büyük Yer Hızı (cm/sn)

değerler elde edilmiştir.



Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması

Kullanıcı Girdileri

Rapor Başlığı:	1. Okul	
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD-2	50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlama periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
Yerel Zemin Sınıfı:	ZB	Az ayrışmış, orta sağlam kayalar
Enlem:	39.345844°	
Boylam	33.719424°	

Çıktılar

$S_s = 0.389$	$S_1 = 0.106$	$PGA = 0.169$	$PGV = 9.586$
---------------	---------------	---------------	---------------

Şekil 4.10. Mevcut binanın AFAD verileri (<https://tdth.afad.gov.tr>)

Yerel Zemin Sınıfları

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

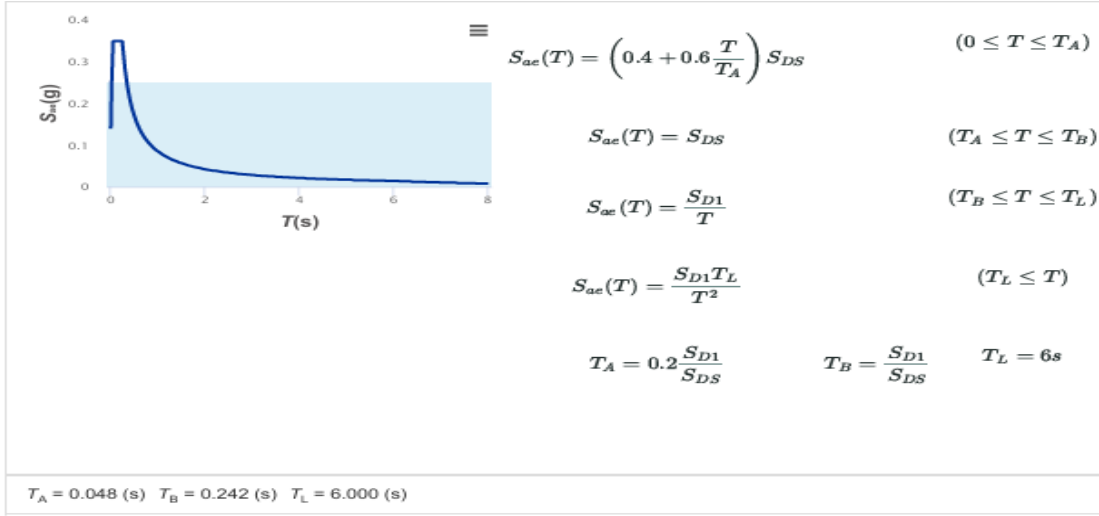
Şekil 4.11. Mevcut yapının yerel zemin sınıfı (<https://tdth.afad.gov.tr>)

Yerel Zemin Sınıfı:	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_S					
	$S_S \leq 0.25$	$S_S = 0.50$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.00$	$S_S = 1.25$	$S_S \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

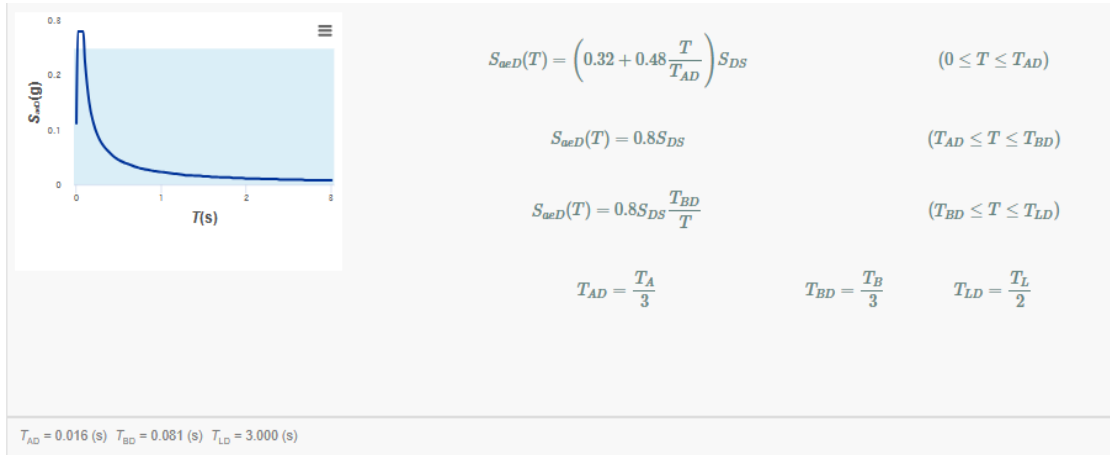
Yerel Zemin Sınıfı:	1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_1					
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \geq 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

Şekil 4.12. Yerel zemin etki katsayıları (<https://tdth.afad.gov.tr>)

- Yerel Zemin Sınıfı: ZB ve SS =0.389 için $F_S=0.900$ (F_S :Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı)
- Yerel Zemin Sınıfı: ZB ve S1 =0.106 için $F_1=0.800$ (F_1 :1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı)
- $S_{DS} = S_S F_S = 0.389 \times 0.900 = 0.350$ (S_{DS} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz])
- $S_{D1} = S_1 F_1 = 0.106 \times 0.800 = 0.085$ (S_{D1} : 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz])



Şekil 4.13. Yapının yatay elastik tasarım spektrumu (<https://tdth.afad.gov.tr>)



Şekil 4.14. Yapının düşey elastik tasarım spektrumu (<https://tdth.afad.gov.tr>)

4.3.8.3. Bina kullanım sınıfı

Okul binasının kullanım amacı değerlendirildiğinde deprem sonrası kullanımı gereken binalar sınıfına girdiği bilinmektedir. Tablo 3.7. (TBDY, 2018 Tablo 3.1)'e göre

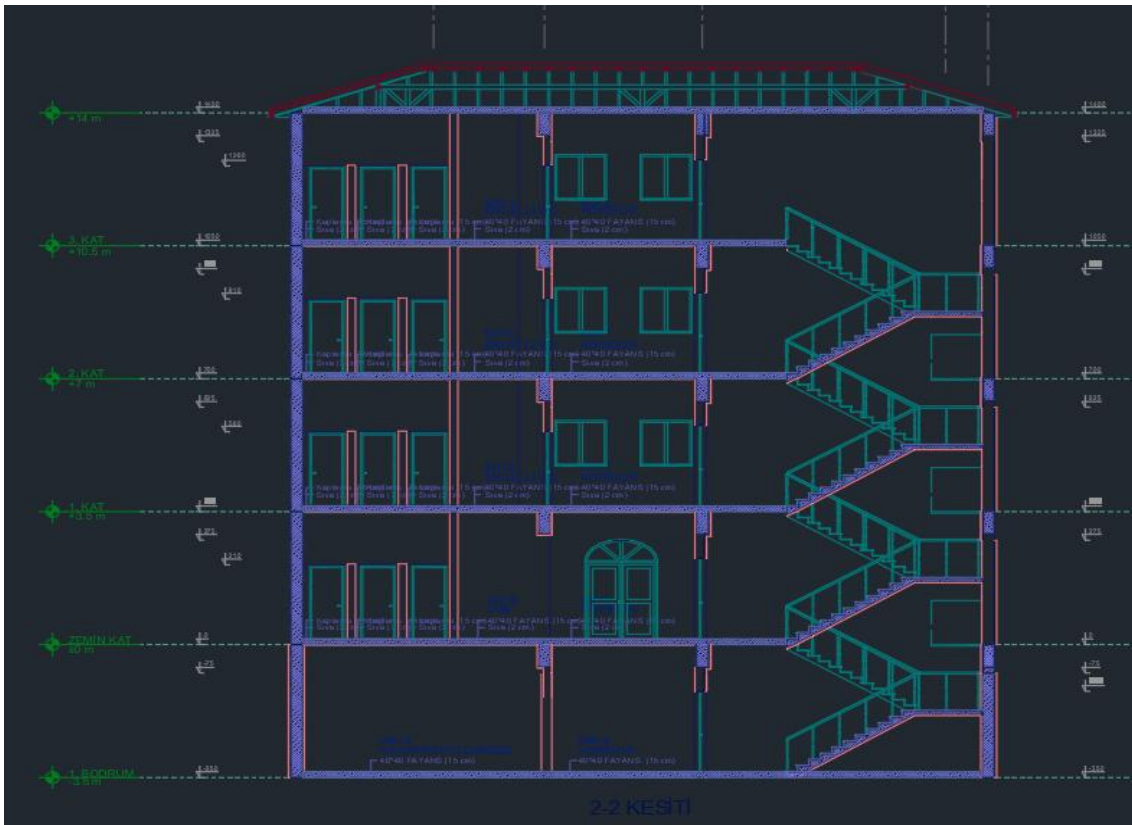
Bina Kullanım Sınıfı 1 ve bina önem katsayısı 1.5 olarak belirlenmiştir.

4.3.8.4. Deprem tasarım sınıfı

AFAD Sismik Tehlike haritasından alınan değerler sonucunda yapının bulunduğu Kırşehir/Kaman bölgesinin DD-2 deprem hareketi ve ZB zemin sınıfı için :

$S_{DS} = S_S \times F_S = 0.389 \times 0.900 = 0.350$ (S_{DS} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]) olarak hesaplanmıştır (AFAD, 2025). Verilen tabloda uygun değerlere göre DTS seçilmiştir. Tablo 3.1. (TBDY 2018 Tablo 3.2)'de verilen değerlere göre yapının deprem tasarım sınıfı (DTS) DD-2 için 3a'dır.

4.3.8.5. Bina yükseklik sınıfı



Şekil 4.15. 1. okul binası kesiti

Yapımız bodrum katlı ve bodrumda rijit perde olduğundan bina yüksekliğimiz H_N 14 m olarak alınmaktadır. Tablo 3.5.(TBDY, 2018 Tablo 3.3.) e göre DTS=3a olduğundan BYS=7 alınmalıdır.

4.3.8.6. Hareketli yük kütle katılım katsayısı

Hareketli yük kütle katılım katsayısı okul binası olduğu için 0.6 seçilmiş ve

hesaplarda kullanılmıştır.

Tablo 4.9. Hareketli Yük Katılım Katsayısı (TBDY, 2018)

Binanın Kullanım Amacı	<i>n</i>
Depo, antrepo, vb.	0.80
Okul, öğrenci yurdu, spor tesisi, sinema, tiyatro, konser salonu, ibadethane, lokanta, mağaza, vb.	0.60
Konut, işyeri, otel, hastane, otopark, vb.	0.30

Bina performans hedefi TBDY 2018 Tablo 3.4(c)'ye göre belirlenmiştir. Deprem tasarım sınıfı (DTS) 3a olan mevcut yapıların DD-2 deprem yer hareket düzeyi için normal performans hedefi Kontrollü Hasar (KH) olması gerekmektedir

4.3.9. Mevcut yapının modellenmesi ve analizi

Mevcut durumdaki 1. okul binası için analiz yapılmış olup, TBDY (2018)'ne göre bina okul binası olarak kullanıldığı için $BKS=1$ ((bina kullanım sınıfı), bina önem katsayısı $I=1.5$ ve $BYS=7$ (bina yükseklik sınıfı) alınmıştır. Deprem Tasarım Sınıfı 3a (DTS=3a) olup, buna istinaden tablo 3.4 (c) e göre DD-2 için kontrollü hasar (KH) performans hedefi sağlanması gerektiği konusunda uyarıda bulunmuştur. Bu raporda DD-2'e göre kontrollü hasar performans hedefi sağlanmamıştır.

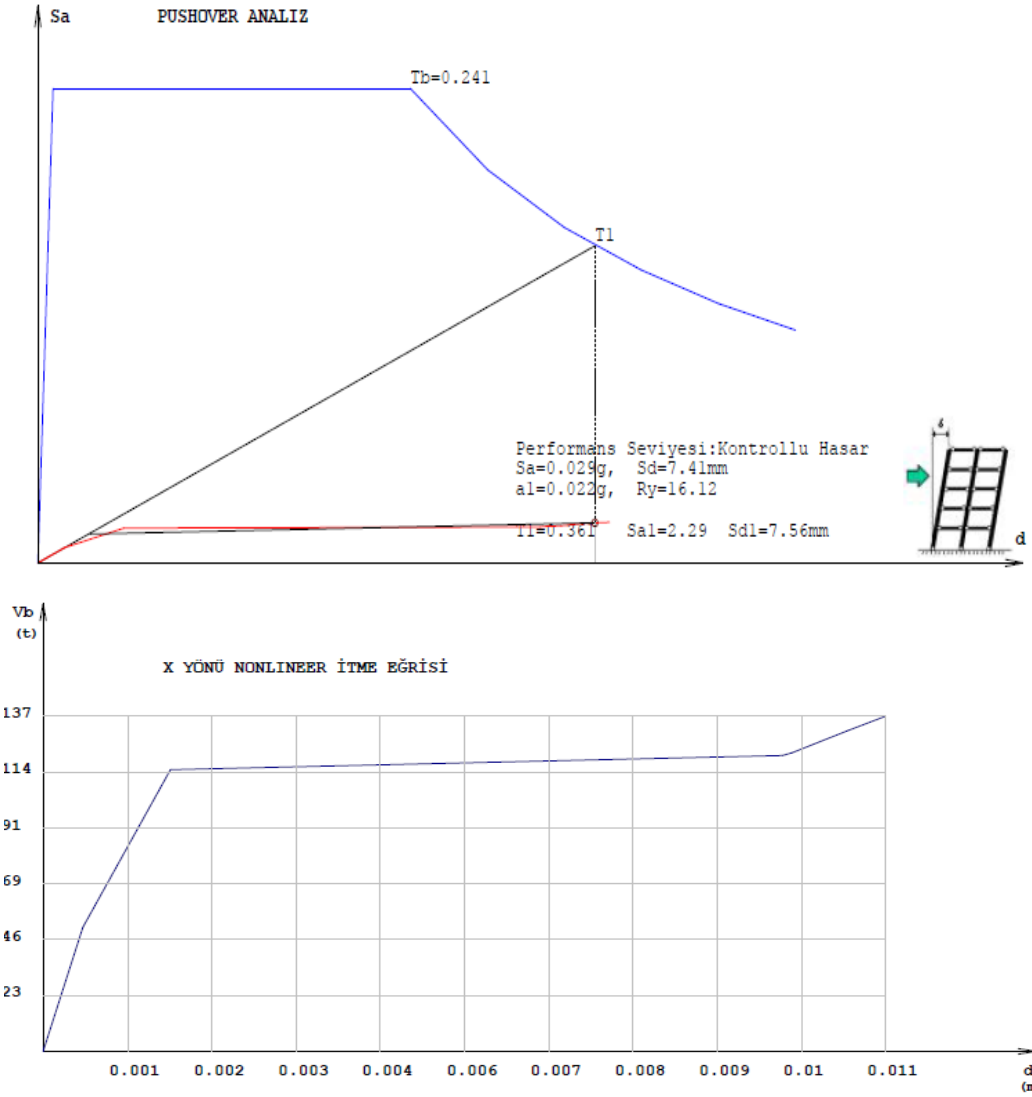
Mevcut bina, STA4-CAD uygulaması ile TBDY (2018) göre tüm veriler girilerek çözümlenmiştir.

4.3.9.1 Mevcut yapının deprem raporu

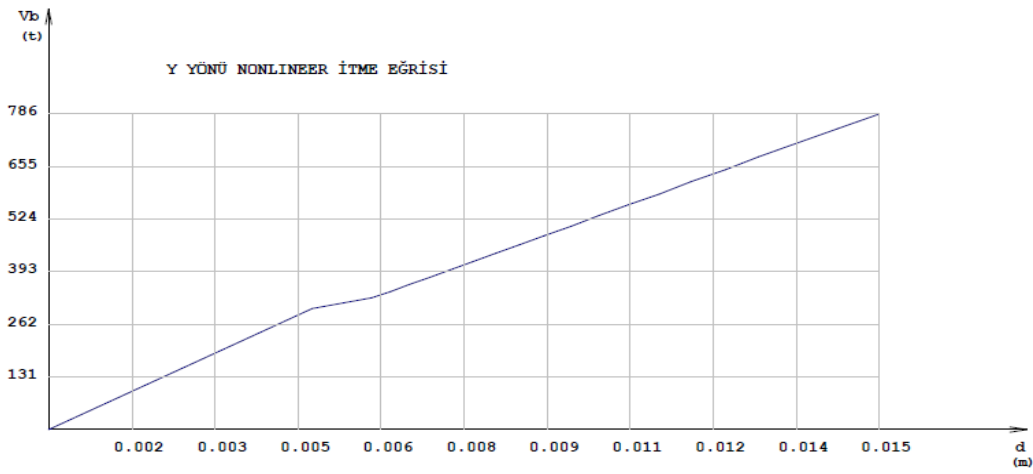
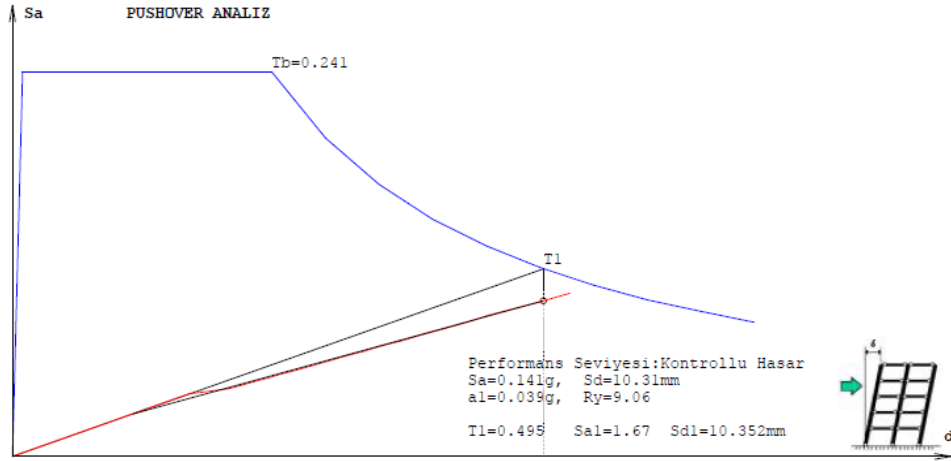
DEPREM RAPORU	
DEPREM STANDARDI	: TBDY2018 CODE
DEPREM ANALIZI	: ÇOK MODLU NONLINEER MODAL ANALİZ
DEPREM YER HAREKETİ DÜZEYİ	: DD2 50 yılda aşılma olasılığı %10
ZEMİN SINIFI	: ZB
BİNA KOORDİNATI (ENLEM/BOYLAM)	: 39.34584° / 33.71943°
YEREL SPECTRAL İVME KATSAYISI	S_s/S_1 : 0.388 / 0.105
TASARIM SPECTRAL İVME KATSAYISI	S_{ds}/S_{d1} : 0.349 / 0.084 DD2, 0.107 / 0.033 DD3
YAPI DAVRANIŞ KATSAYISI	R : 4.00 YENİ GUCLENDİRME ELEMANLARI İCİN -
SİSTEM DAYANIM FAZLALIĞI KATSAYISI	D : 2,5
DEPREM TASARIM SINIFI	DTS : 3a
BİNA YÜKSEKLİK SINIFI	BYS : 7
BİNA KULLANIM SINIFI	BKS : 1 I = 1.0 TBDY 2018 15.4.2
Modal Analiz min. deprem yükü oranı	β : 0.8
Deprem yükü eksantirisitesi	: 0.000
Deprem modal analiz CQC sönüm oranı	: %5
PERFORMANS HEDEFLERİ	:
DD2	:
Normal Performans Hedefi	: KH (Kontrollü Hasar)
Değerlendirme/Tasarım	: ŞGDT (Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım)
DİYAFRAM SAYISI	: 5
Diyafram tanımı : KAT(diyafram no)	

Şekil 4.16. Mevcut yapının deprem raporu

4.3.9.2 Mevcut yapının itme analizi ve itme eğrisi

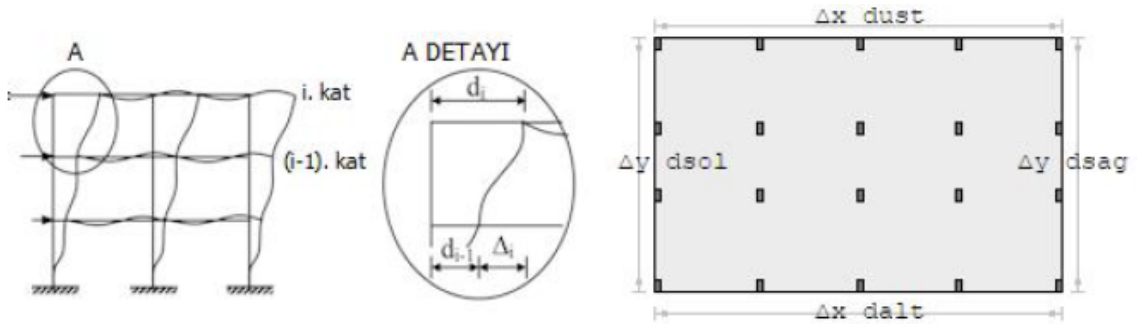


Şekil 4.17. Mevcut yapının X yönünde itme analiz ve eğri grafikleri



Şekil 4.18. Mevcut yapının Y yönünde itme analiz ve eğri grafikleri

4.3.9.3. Mevcut yapının düzensizlik kontrolü



A1,B2 düzensizliklerinin kontrolü

$$d_i = R/I \cdot \Delta, \quad K=1, \quad T_x=0.366s, \quad T_y=0.492s$$

$$\lambda_x = S_a(T_x, DD3) / S_a(T_x, DD2) = 0.089 / 0.230 = 0.388$$

$$\lambda_y = S_a(T_y, DD3) / S_a(T_y, DD2) = 0.066 / 0.171 = 0.388$$

$$\lambda_x \cdot X \max(d_i/h_i) \leq 0.008 \cdot K = 0.008 \quad \lambda_y \cdot Y \max(d_i/h_i) \leq 0.008 \cdot K = 0.008$$

$$Ch=0.5, \quad D=2.50, \quad R=1.00$$

$$\theta_{ni} = [\text{ort}(\Delta_i) \cdot \sum w_k] / (V_i \cdot h_i) \leq 0.12 \cdot D / (Ch \cdot R) \quad \Rightarrow \quad \text{Max} \theta_n = 0.600$$

$$1. \text{ kat } X \text{ düst} = 0.0008738 + -0.0000008 \times (3.94 - 13.56) = 0.0008817 \quad (S103)$$

$$1. \text{ kat } X \text{ dalt} = 0.0008738 + -0.0000008 \times (26.42 - 13.56) = 0.0008632 \quad (S135)$$

$$2. \text{ kat } X \text{ düst} = 0.0031872 + 0.0000006 \times (3.94 - 13.3) - 0.0008817 = 0.0023003 \quad (S203)$$

$$2. \text{ kat } X \text{ dalt} = 0.0031872 + 0.0000006 \times (26.42 - 13.3) - 0.0008632 = 0.0023312 \quad (S235)$$

Şekil 4.19. Düzensizlik kontrolü

Tablo 4.10. Mevcut yapının X yönünde burulma düzensizliği(A1) ve yumuşak kat (B2) düzensizliklerinin kontrolü

X YÖNÜ (+)

Kat	ΔX üst(m)	ΔX dalt(m)	ΔX ort	nbi	nki	$\lambda \cdot R/I \cdot \Delta x/h$	θ_i	kat tipi
5	0.0031547» S503	0.0031869» S525	0.0031708	1.01	0.00	0.00035 ✓	0.00211 ✓	Üst kat
4	0.0032396» S403	0.0032733» S425	0.0032565	1.01	1.03	0.00036 ✓	0.00297 ✓	Normal kat
3	0.0030136» S303	0.0030447» S325	0.0030291	1.01	0.93	0.00034 ✓	0.00337 ✓	Normal kat
2	0.0023003» S203	0.0023312» S235	0.0023158	1.01	0.76	0.00026 ✓	0.00301 ✓	Normal kat
1	0.0008817» S103	0.0008632» S135	0.0008725	1.01	0.36	0.00009 ✓	0.00130 ✓	Normal kat

Tablo 4.11. Mevcut yapının Y yönünde burulma düzensizliği(A1) ve yumuşak kat (B2) düzensizliklerinin kontrolü (STA4CAD raporları)

Y YÖNÜ (+)

Kat	ΔY üst(m)	ΔY dalt(m)	ΔY ort	nbi	nki	$\lambda \cdot R/I \cdot \Delta y/h$	θ_i	kat tipi
5	0.0032198» S510	0.0031917» S513	0.0032058	1.00	0.00	0.00036 ✓	0.00292 ✓	Üst kat
4	0.0032814» S410	0.0032943» S413	0.0032879	1.00	1.03	0.00037 ✓	0.00396 ✓	Normal kat
3	0.0032675» S310	0.0032927» S313	0.0032801	1.00	1.00	0.00037 ✓	0.00487 ✓	Normal kat
2	0.0031802» S210	0.0031939» S213	0.0031871	1.00	0.97	0.00035 ✓	0.00543 ✓	Normal kat
1	0.0030241» S110	0.0029914» S113	0.0030078	1.01	0.90	0.00032 ✓	0.00561 ✓	Normal kat

Tablo 4.12. Mevcut yapının (B1) düşey doğrultuda düzensizliklerinin kontrolü(STA4CAD raporları)

Kat	A_w	A_{gx}	A_{gy}	A_{kx}	A_{ky}	ΣA_{ex}	ΣA_{ey}	n_{cix}	n_{ciy}	AÇIKLAMA
5	4.26	11.65	24.09	15.16	10.45	18.19	29.92	1.00	1.00	üst kat ✓
4	4.26	11.65	24.09	15.16	10.45	18.19	29.92	1.00	1.00	Düzenli ✓
3	4.26	11.65	24.09	15.16	10.45	18.19	29.92	1.00	1.00	Düzenli ✓
2	4.51	11.65	24.09	18.41	12.44	18.93	30.47	1.04	1.02	Düzenli ✓
1	4.51	36.30	26.13	0.00	0.00	40.81	30.64	2.16	1.01	Düzenli ✓

4.3.9.4 Mevcut binanın analiz sonuçları

Tablo 4.13. Yapı burulma kütle atalet momenti (STA4CAD raporları)

Kat	A (m ²)	I_x (m ⁴)	I_y (m ⁴)	X_g (m)	Y_g (m)	J_{mass} (m ²)
5	855.42	23816.06	151513.59	23.71	13.47	204.96
4	846.79	23691.60	148797.29	23.84	13.50	203.70
3	846.79	23691.60	148797.29	23.84	13.50	203.70
2	910.09	30249.07	173457.82	22.99	14.00	223.83
1	846.79	23691.60	148797.29	23.84	13.50	203.70

Tablo 4.14. Kat kütlesi ve rijitlik merkezi (STA4CAD raporları)

Kat (dyf)	H (m)	W_g	W_q	n	R Rx/Ry	D Dx/Dy	X_g (m)	X_r (m)	Y_g (m)	Y_r (m)	ΣW_k
5	17.50	941.74	129.55	0.60	1	2.5	23.82	23.82	13.23	13.07	1019.475
4	14.00	1138.40	344.02	0.60	1	2.5	24.06	23.83	13.29	13.12	1344.810
3	10.50	1136.00	347.59	0.60	1	2.5	24.04	23.80	13.30	13.19	1344.558
2	7.00	1188.91	361.03	0.60	1	2.5	23.60	23.73	13.58	13.30	1405.524
1	3.50	1360.26	347.00	0.60	1	2.5	23.85	23.58	13.29	13.56	1568.453

$\Sigma W_t = 6682.819$

Tablo 4.15. Kat deprem deplasmanları (STA4CAD raporları)

Kat (dyf)	9. yükleme		10. yükleme		11. yükleme		12. yükleme	
	δx (m)	θz (rad)	δx (m)	θz (rad)	δy (m)	θz (rad)	δy (m)	θz (rad)
5	0.0126414	0.0000056	0.0126414	0.0000056	-0.015968	0.0000002	-0.015968	0.0000002
4	0.0094715	0.0000040	0.0094715	0.0000040	-0.012762	-0.0000000	-0.012762	-0.0000000
3	0.0062158	0.0000022	0.0062158	0.0000022	-0.009474	-0.0000000	-0.009474	-0.0000000
2	0.0031872	0.0000006	0.0031872	0.0000006	-0.006194	0.0000004	-0.006194	0.0000004
1	0.0008738	-0.0000000	0.0008738	-0.0000000	-0.003007	0.0000007	-0.003007	0.0000007

Deprem yapı salınımları: $x= 0.00072$ $y= 0.00091$

Tablo 4.16. Kat deprem momenti kontrolü (STA4CAD raporları)

Kat	H (m)	Fx	Fx . H	H (m)	Fy	Fy . H
5	17.50	437.14	7649.90	17.50	319.57	5592.52
4	14.00	304.60	4264.44	14.00	241.74	3384.35
3	10.50	209.79	2202.74	10.50	152.57	1601.99
2	7.00	174.28	1219.96	7.00	144.40	1010.82
1	3.50	105.07	367.75	3.50	123.91	433.67
		1230.88	15704.79		982.19	12023.36

Tablo 4.17. Yapı devrilme kontrolü (STA4CAD raporları)

Kat	Wg+0.6·Wq	Xg-X	(Xg-X) · (Wg+0.6·Wq)	Yg-Y	(Yg-Y) · (Wg+0.6·Wq)
5	1019.47	24.028	24496.33	9.913	10105.81
4	1344.81	23.785	31986.88	9.977	13417.15
3	1344.56	23.812	32016.13	9.987	13427.98
2	1405.52	24.250	34084.60	10.265	14427.59
1	1568.45	24.003	37648.21	9.977	15648.38
	679.82	25.463	17310.55	10.681	7261.19
			177542.70		74288.09

X yönü devrilme kontrolü= $177542.699/15704.795=11.305 > 1.5$ ✓

Y yönü devrilme kontrolü= $74288.093/12023.356=6.179 > 1.5$ ✓

Tablo 4.18. Kolon ve kiriş kesme kuvveti dağılımı**KOLON KESME KUVVETİ DAĞILIMI**

KAT NO	(-X)				(X)				(-Y)				(Y)			
	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB
5	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
4	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
3	91.9	8.1	0.0	0.0	78.3	21.7	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
2	83.8	16.2	0.0	0.0	50.0	50.0	0.0	0.0	95.0	5.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
1	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
Max.	100.					50.0										

KİRİŞ HASAR YÜZDELERİ

KAT NO	(-X)				(X)				(-Y)				(Y)			
	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB
5	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
4	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
3	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
2	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
1	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
Max.	100.															

X yönü kiriş sayısı=17,48,41,41,41

Y yönü kiriş sayısı=27,36,29,29,29

4.3.9.5. Mevcut yapının hasar durumları

STA4-CAD		YETERSİZ ELEMAN LİSTESİ		Auto Zoom	X
■ D240	■ P156	■ S212			
■ P148	■ S201				
■ P145	■ S202				
■ P146	■ S217				
■ P147	■ S234				
■ P149	■ T1				
■ P150	■ T10				
■ P151	■ T6				
■ P152	■ T7				
■ P160	■ T12				
■ P161	■ T8				
■ P162	■ T2				
■ P163	■ T19				
■ P164	■ T3				
■ P165	■ T21				
■ P166	■ T9				
■ P167	■ T20				
■ P168					
■ P159					
■ P153					
■ P157					
■ P158					

■ KESİTİ YETERSİZ	■ SÜNEKLİLİK ALANI YETERSİZ
■ KOLON-KIRIS BİRLESİM KESMESİ YETERSİZ	■ KESME GÜVENLİĞİ YETERSİZ
■ ZEMİN GERİLMESİ YETERSİZ	■ ZİMBALAMA YETERSİZ
■ SEHİM YETERSİZ	■ GÜÇLÜ KOLON YETERSİZ
■ PERDE DEPREM YUKU TRANSFERİ	■ PLAK YÜKSEKLİĞİ YETERSİZ

GÜÇLENDİRME PROJESİ : MEVCUT KOLON DONATILARINA GÖRE KONTROL EDİLMİŞTİR.

Şekil 4.20. Yetersiz eleman listesi (STA4CAD verileri)

Tablo 4.19. Güçlendirilmesi gereken gevrek eleman listesi

Güçlendirilmesi Gereken Gevrek Elemanlar	
Panel	P145 [±] , P146 [±] , P147 [±] , P148 [±] , P149 [±] , P150 [±] , P151 [±] , P152 [±] , P153 [±] , P156 [±] , P157 [±] , P158 [±] , P159 [±] , P160 [±] , P161 [±] , P162 [±] , P164 [±] , P165 [±] , P166 [±] , P167 [±] , P168 [±]
Kiris	K211, K212, K213, K216, K218, K220, K230, K231, K234, K311, K312, K410, K411, K412, K415, K417, K419, K428, K429, K431, K511, K515

P145	H	540.40	540.40	279.55	534.60	534.60	V	226.80	GV	X
P146	H	537.38	537.38	283.04	540.34	540.34	V	233.59	GV	X
P147	H	554.24	554.24	286.54	557.24	557.24	V	235.43	GV	X
P148	H	504.82	504.82	279.55	498.99	498.99	V	231.74	GV	X
P149	H	537.79	537.79	286.54	532.35	532.35	V	235.43	GV	X
P150	H	503.06	503.06	286.54	556.16	556.16	V	235.43	GV	X
P151	H	516.68	516.68	283.04	529.77	529.77	V	233.59	GV	X
P152	H	519.01	519.01	276.05	513.31	513.31	V	224.95	GV	X
P153	H	1695.82	1695.82	499.69	1668.26	1668.26	V	407.97	GV	X
P154	H	169.47	169.47	401.85	163.89	163.89	V	330.96	SN	✓
P155	H	196.41	196.41	401.85	156.03	156.03	V	330.96	SN	✓
P156	H	577.41	577.41	283.04	570.07	570.07	V	233.59	GV	X
P157	H	1827.35	1827.35	499.69	1818.41	1818.41	V	407.97	GV	X
P158	H	6850.48	6850.48	79.55	641.48	641.48	V	231.74	GV	X
P159	H	6855.52	6855.52	86.54	616.99	616.99	V	235.43	GV	X
P160	H	80.70	80.70	283.04	583.52	583.52	V	233.59	GV	X
P161	H	90.10	90.10	283.04	572.95	572.95	V	233.59	GV	X
P162	H	90.10	90.10	286.54	588.01	588.01	V	235.43	GV	X
P163	H	97.98	97.98	286.54	540.82	540.82	V	235.43	GV	X
P164	H	90.10	90.10	283.04	580.44	580.44	V	233.59	GV	X
P165	H	90.06	90.06	286.54	589.07	589.07	V	235.43	GV	X
P166	H	9.42	9.42	283.04	572.43	572.43	V	233.59	GV	X
P167	H	85.16	85.16	283.04	569.18	569.18	V	233.59	GV	X
P168	H	85.85	85.85	283.04	567.41	567.41	V	233.59	GV	X
P169	H	8.19	8.19	283.04	293.05	293.05	V	1191.57	SN	✓
P170	H	9.23	9.23	283.04	134.90	134.90	V	1153.13	SN	✓

45 adet gevrek eleman bulunmaktadır.

DD2 YER HAREKETİ DÜZEYİNDE, BİNA PERFORMANS SONUCU:

Kontrollü hasar performans bölgesi durumu, DD2 ileri performans hedefi sağlanmıştır. (Gevrek hasar gören elemanların güçlendirilmesi koşulu ile)

Kontrollü hasar performans bölgesi yeterlilik kontrolü:

Kiriş Hasar oranı=(IH=%0.0<=%35 ✓), (GB=%0 ✓)
 Kolon Hasar oranı=(IH=%0.0<=%20 ✓), (GB=%0 ✓)
 Üst kat Vc oranı=(IH=%0.0<=%40 ✓), (GB=%0 ✓)
 Plastiklesen kolon Vc oranı=(IH+GB=%0.0<=%30 ✓)

Şekil 4.21. Yapı performans sonucu

Bu analiz sonucuna göre yapımızda kesit yetersizliği, kesme güvenliği yetersizliği, plak yüksekliği yetersizliği ve zemin gerilmesi yetersizliği görünmektedir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, 23 adet kiriş ve 22 adet perde elemanında olmak üzere toplamda 45 adet gevrek davranış sergileyen eleman belirlenmiştir. Mevcut yapı hedeflenen deprem performans düzeyine ulaşabilmesi amacıyla çeşitli alternatif güçlendirme yöntemlerinin teknik ve ekonomik açıdan incelenmesi planlanmaktadır. Söz konusu yöntemler hem eleman düzeyinde hem de sistem düzeyinde iyileştirme sağlayacak şekilde değerlendirilecektir.

4.3.10. Güçlendirme seçenekleri ve sonuçların incelenmesi

Bu bölümde mevcut okul binası farklı güçlendirme yöntemleriyle ele alınarak değerlendirme yapılmıştır.

4.3.10.1. Yapıya güçlendirme perdesi eklenmesi ve performans analiz sonuçları

Yapıya dıştan betonarme perde ilavesi yapılarak güçlendirme yapılmış ve bu öneriye “Güçlendirme-1” adı verilerek analiz yapılmıştır.

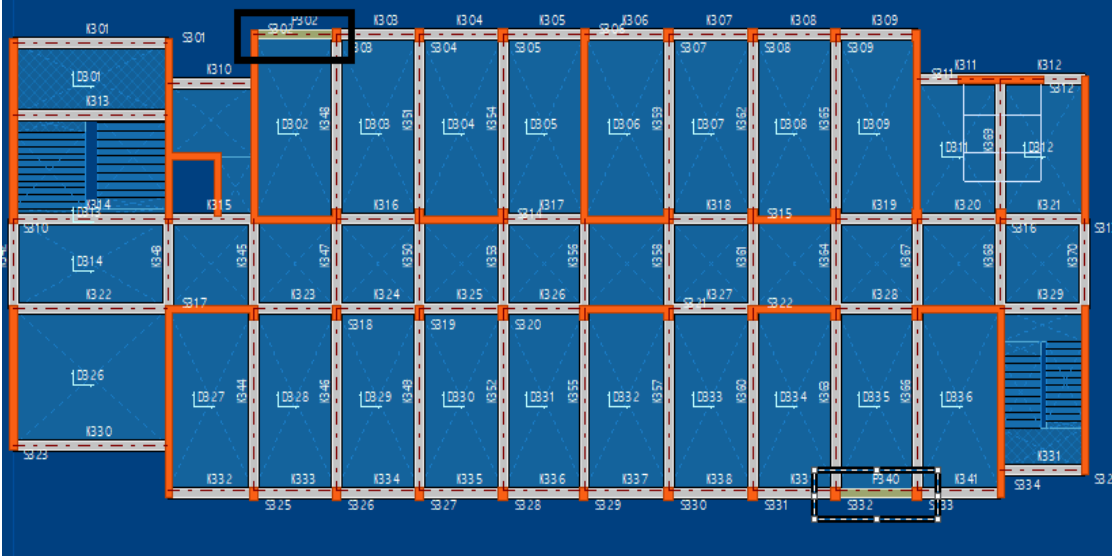
Yapıya sonradan eklenen perde duvarlar, taşıyıcı sistemin deprem karşısındaki kapasitesini artırmakta ve yanal ötelenmeleri sınırlamaktadır. Bu perdelerin mevcut sistemle bütünleşik çalışabilmesi için, katlar arası donatı sürekliliği sağlanmış ve elastisite modülü yüksek malzemelerden kaçınılmıştır. Aksi takdirde malzemeler arası uyumsuzluk nedeniyle yük aktarımı engellenebilir ve gevrek kırılmalar oluşabilir. Perdeler tüm katlarda süreklilik gösterecek şekilde dış akslara ve iki kolon arasına yerleştirilerek hem mimari uyum hem de çerçeve davranışı gözetilmiştir. Yapı öncelikle lineer olarak çözümlenmiş, doğrusal hesap yöntemini sağlamadığı için nonlineer olarak çözümlenmiştir.

Tablo 4.20. Kat Eko kontrolü

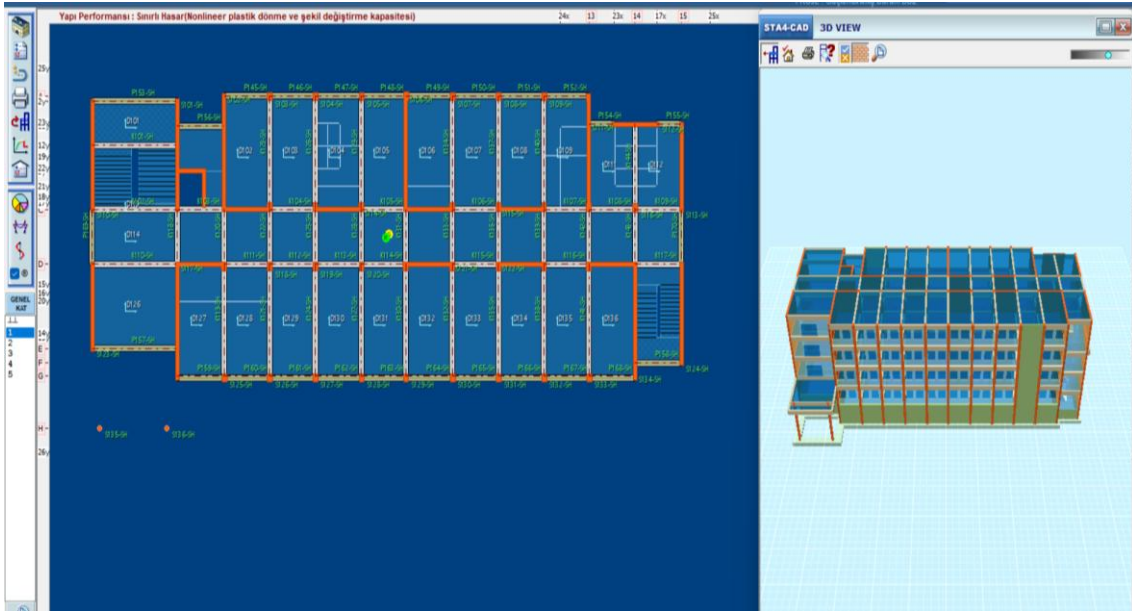
Kat	Kiris EK0x <5	Kiris EK0y <5	Kolon EK0x <3	Kolon EK0y <3	Kir.EKO ≥ Kol.EKO
1	0.504 ✓	0.751 ✓	0.234 ✓	0.121 ✓	✓
2	0.722 ✓	0.778 ✓	1.191 ✓	0.256 ✓	✗
3	0.826 ✓	0.787 ✓	0.688 ✓	0.171 ✓	✓
4	0.877 ✓	0.788 ✓	0.365 ✓	0.147 ✓	✓

DOĞRUSAL HESAP YÖNTEMİ SINIRLARI SAĞLANMAMIŞTIR.

1. okul binası için yapılan performans analizi sonucunda yapının gerekli performansa ulaşabilmesi için x yönünde 2 adet güçlendirme perdesi atılmıştır.



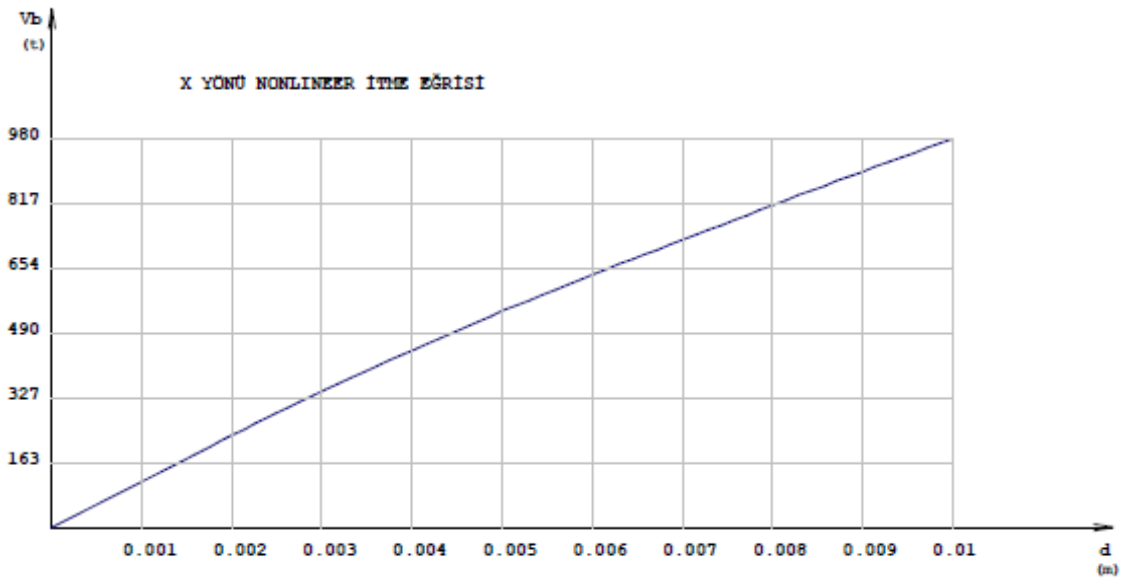
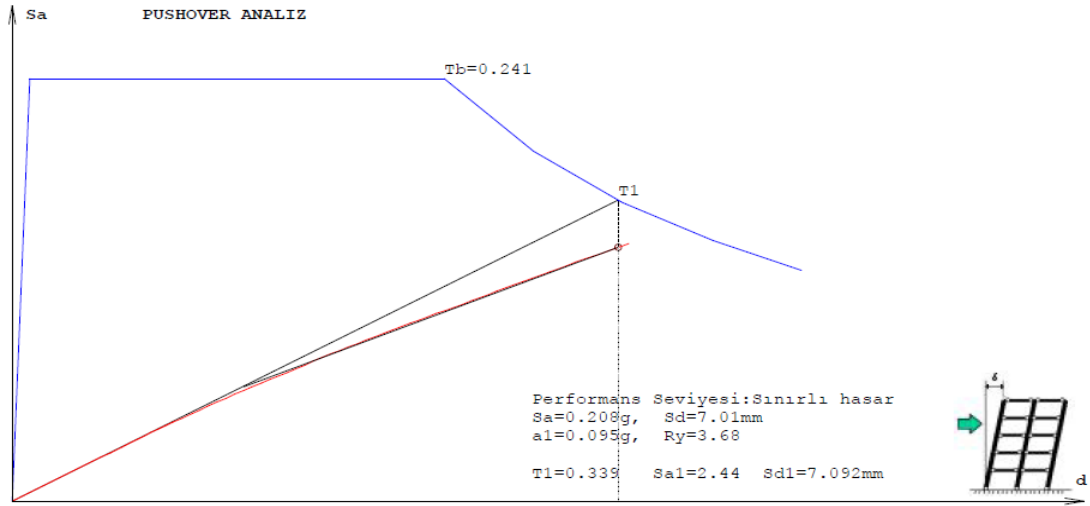
Şekil 4.22. Güçlendirme perdelerinin geleceği kısımlar (STA4CAD verileri)



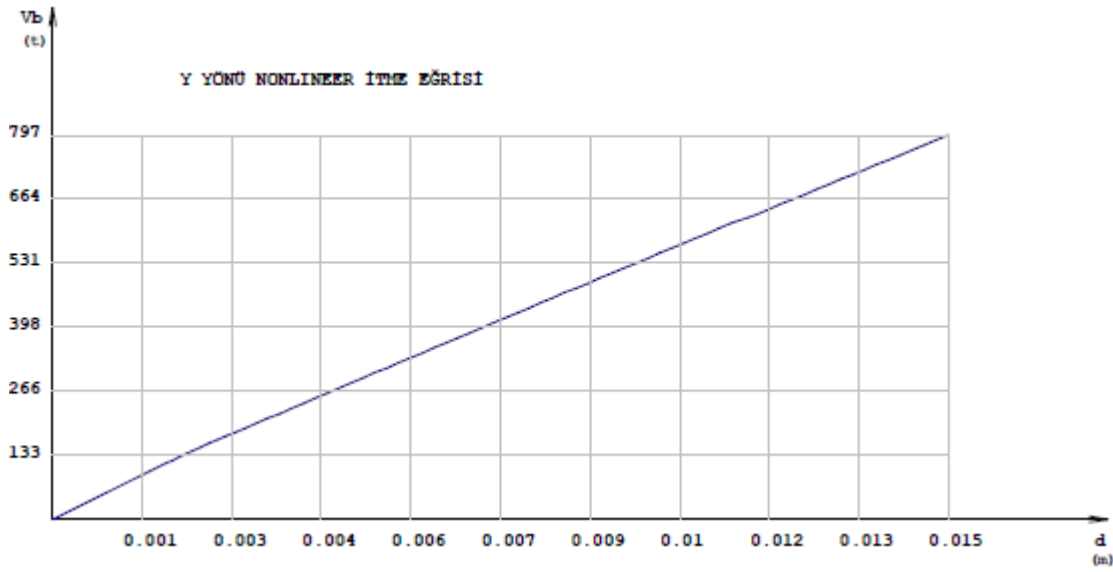
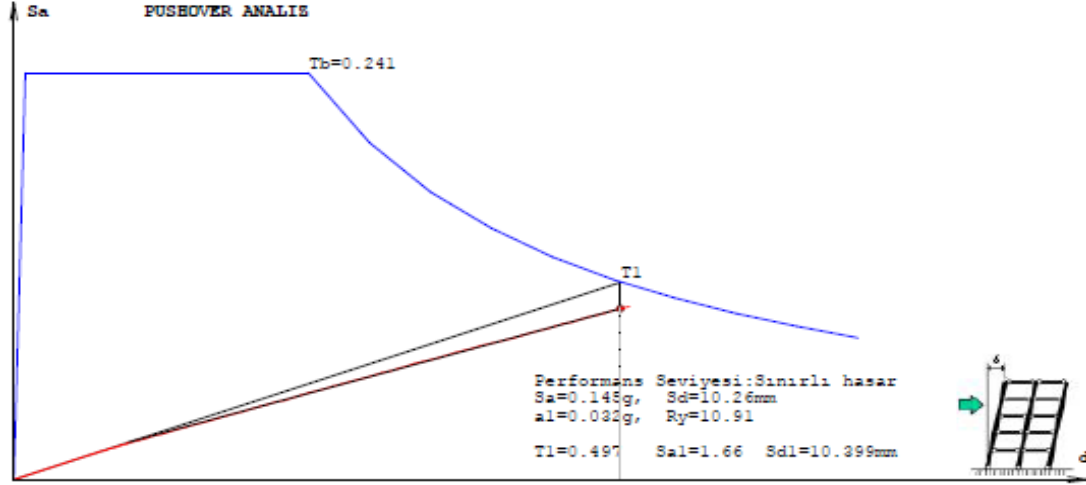
Şekil 4.23. Güçlendirme-1 sonrası analiz (STA4CAD verileri)



Şekil 4.24. Güçlendirme-1 sonrası yapının 3-D ön ve arka görüntüleri (STA4CAD verileri)



Şekil 4.25. Güçlendirme-1 sonrası X yönünde itme analiz ve eğri grafikleri



Şekil 4.26. Güçlendirme-1 sonrası Y yönünde itme analiz ve eğri grafikleri

Tablo 4.21. Güçlendirme-1 sonrası yapının X yönünde burulma düzensizliği(A1) ve yumuşak kat (B2) düzensizliklerinin kontrolü

X YÖNÜ (+)

Kat	ΔX üst (m)	ΔX alt (m)	ΔX ort	nbi	nki	$\lambda \cdot R/I \cdot \Delta x/h$	θ_i	kat tipi
5	0.0007139» S503	0.0007242» S525	0.0007191	1.01	0.00	0.00032 ✓	0.00184 ✓	Üst kat
4	0.0007405» S403	0.0007512» S425	0.0007459	1.01	1.04	0.00033 ✓	0.00254 ✓	Normal kat
3	0.0006957» S303	0.0007055» S325	0.0007006	1.01	0.94	0.00031 ✓	0.00290 ✓	Normal kat
2	0.0005391» S203	0.0005482» S235	0.0005437	1.01	0.78	0.00024 ✓	0.00263 ✓	Normal kat
1	0.0002226» S103	0.0002191» S135	0.0002208	1.01	0.39	0.00009 ✓	0.00123 ✓	Normal kat

Tablo 4.22. Güçlendirme-1 sonrası yapının Y yönünde burulma düzensizliği(A1) ve yumuşak kat (B2) düzensizliklerinin kontrolü (STA4CAD raporları)

Y YÖNÜ (+)

Kat	ΔY üst (m)	ΔY alt (m)	ΔY ort	nbi	nki	$\lambda \cdot R/I \cdot \Delta y/h$	θ_i	kat tipi
5	0.0008080» S510	0.0008014» S513	0.0008047	1.00	0.00	0.00036 ✓	0.00295 ✓	Üst kat
4	0.0008224» S410	0.0008267» S413	0.0008245	1.00	1.02	0.00037 ✓	0.00399 ✓	Normal kat
3	0.0008185» S310	0.0008260» S313	0.0008223	1.00	1.00	0.00037 ✓	0.00491 ✓	Normal kat
2	0.0007969» S210	0.0008014» S213	0.0007992	1.00	0.97	0.00036 ✓	0.00547 ✓	Normal kat
1	0.0007591» S110	0.0007508» S113	0.0007550	1.01	0.91	0.00032 ✓	0.00565 ✓	Normal kat

Tablo 4.23. Güçlendirme-1 sonrası yapının (B1) düşey doğrultuda düzensizliklerinin kontrolü(STA4CAD raporları)

Kat	Aw	Agx	Agy	Akx	Aky	ΣA_{ex}	ΣA_{ey}	ncix	nciy	AÇIKLAMA
5	4.26	13.60	24.09	14.54	10.45	20.05	29.92	1.00	1.00	üst kat ✓
4	4.26	13.60	24.09	14.54	10.45	20.05	29.92	1.00	1.00	Düzenli ✓
3	4.26	13.60	24.09	14.54	10.45	20.05	29.92	1.00	1.00	Düzenli ✓
2	4.51	13.60	24.09	17.80	12.44	20.79	30.47	1.04	1.02	Düzenli ✓
1	4.51	36.30	26.13	0.00	0.00	40.81	30.64	1.96	1.01	Düzenli ✓

Tablo 4.24. Güçlendirme-1 sonrası yapının burulma kütle atalet momenti (STA4CAD raporları)

Kat	A (m ²)	I _x (m ⁴)	I _y (m ⁴)	X _g (m)	Y _g (m)	J _{mass} (m ²)
5	855.42	23816.06	151513.59	23.71	13.47	204.96
4	846.79	23691.60	148797.29	23.84	13.50	203.70
3	846.79	23691.60	148797.29	23.84	13.50	203.70
2	910.09	30249.07	173457.82	22.99	14.00	223.83
1	846.79	23691.60	148797.29	23.84	13.50	203.70

Tablo 4.25. Güçlendirme-1 sonrası yapının kat kütlesi ve rijitlik merkezi (STA4CAD raporları)

Kat (dyf)	H (m)	W _g	W _q	n	R _{Rx/Ry}	D _{Dx/Dy}	X _g (m)	X _r (m)	Y _g (m)	Y _r (m)	ΣW_k
5	17.50	954.44	129.52	0.60	4	2.5	23.83	23.82	13.22	13.02	1032.153
4	14.00	1148.09	344.02	0.60	4	2.5	24.07	23.82	13.29	13.08	1354.505
3	10.50	1145.70	347.59	0.60	4	2.5	24.05	23.79	13.30	13.16	1354.254
2	7.00	1198.60	361.03	0.60	4	2.5	23.61	23.70	13.58	13.28	1415.220
1	3.50	1356.58	347.00	0.60	4	2.5	23.84	23.56	13.29	13.55	1564.774

$\Sigma W_t = 6720.905$

Tablo 4.26. Kat deprem deplasmanları (STA4CAD raporları)

Kat (dyf)	9. yükleme		10. yükleme		11. yükleme		12. yükleme	
	δ_x (m)	θ_z (rad)	δ_x (m)	θ_z (rad)	δ_y (m)	θ_z (rad)	δ_y (m)	θ_z (rad)
5	0.0029288	0.0000019	0.0029288	0.0000019	-0.004005	0.0000000	-0.004005	0.0000000
4	0.0022100	0.0000013	0.0022100	0.0000013	-0.003201	-0.0000000	-0.003201	-0.0000000
3	0.0014645	0.0000008	0.0014645	0.0000008	-0.002376	-0.0000000	-0.002376	-0.0000000
2	0.0007640	0.0000003	0.0007640	0.0000003	-0.001554	0.0000001	-0.001554	0.0000001
1	0.0002211	-0.0000000	0.0002211	-0.0000000	-0.000755	0.0000002	-0.000755	0.0000002

Deprem yapı salınımları: x= 0.00017 y= 0.00023

Tablo 4.27. Kat deprem momenti kontrolü (STA4CAD raporları)

Kat	H (m)	F _x	F _x . H	H (m)	F _y	F _y . H
5	17.50	115.56	2022.23	17.50	80.39	1406.88
4	14.00	84.77	1186.85	14.00	60.47	846.54
3	10.50	57.82	607.14	10.50	38.17	400.74
2	7.00	45.96	321.73	7.00	36.20	253.39
1	3.50	26.93	94.27	3.50	30.82	107.87
		331.05	4232.22		246.04	3015.42

Tablo 4.28. Yapı devrilme kontrolü (STA4CAD raporları)

Kat düşey yük momenti (tm) X=47.85m Y=3.317m moment noktası

Kat	Wg+0.6·Wq	Xg-X	(Xg-X) · (Wg+0.6·Wq)	Yg-Y	(Yg-Y) · (Wg+0.6·Wq)
5	1019.47	24.028	24496.33	9.913	10105.81
4	1344.81	23.785	31986.88	9.977	13417.15
3	1344.56	23.812	32016.13	9.987	13427.98
2	1405.52	24.250	34084.60	10.265	14427.59
1	1568.45	24.003	37648.21	9.977	15648.38
	679.82	25.463	17310.55	10.681	7261.19
			177542.70		74288.09

X yönü devrilme kontrolü=177542.699/15704.795=11.305 > 1.5 ✓

Y yönü devrilme kontrolü=74288.093/12023.356=6.179 > 1.5 ✓

Tablo 4.29. Kolon kesme kuvveti dağılımı ve bina performansı

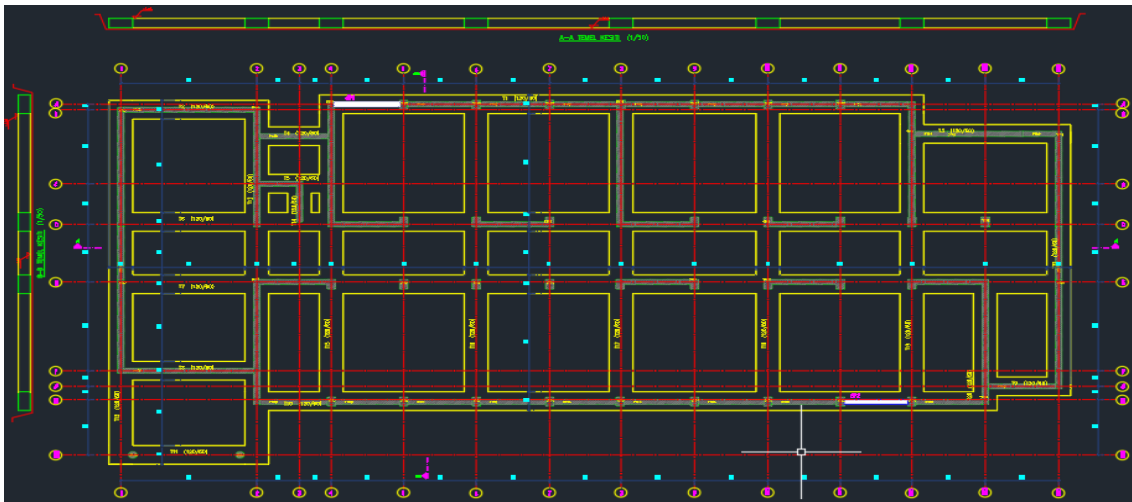
KOLON KESME KUVVETİ DAĞILIMI

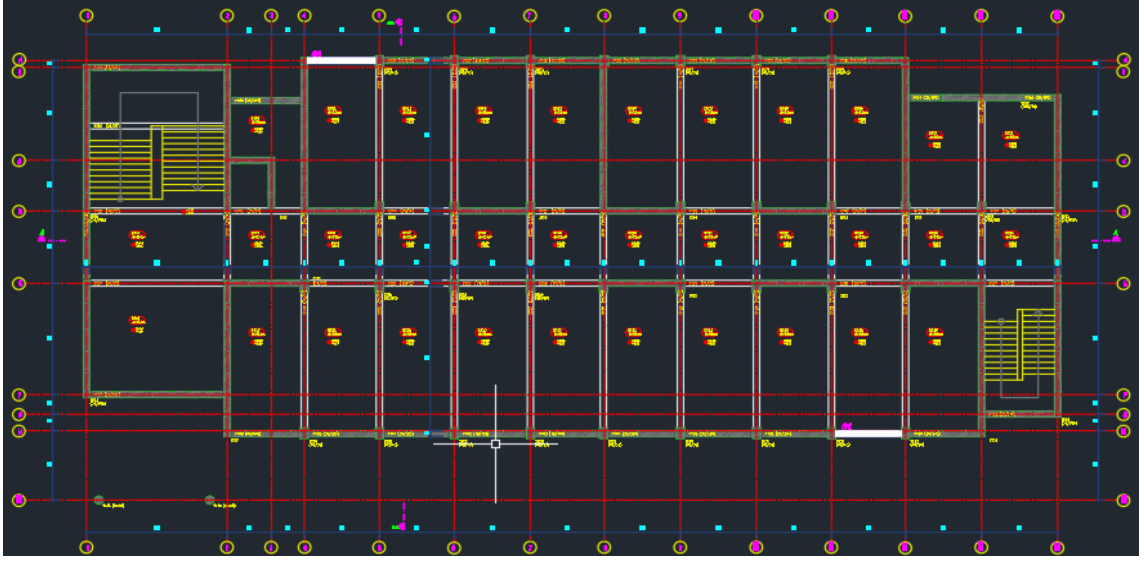
KAT NO	(-X)				(X)				(-Y)				(Y)			
	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB
5	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
4	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
3	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
2	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
1	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
Max.	100.															

DD2 YER HAREKETİ DÜZEYİNDE, BINA PERFORMANS SONUCU:

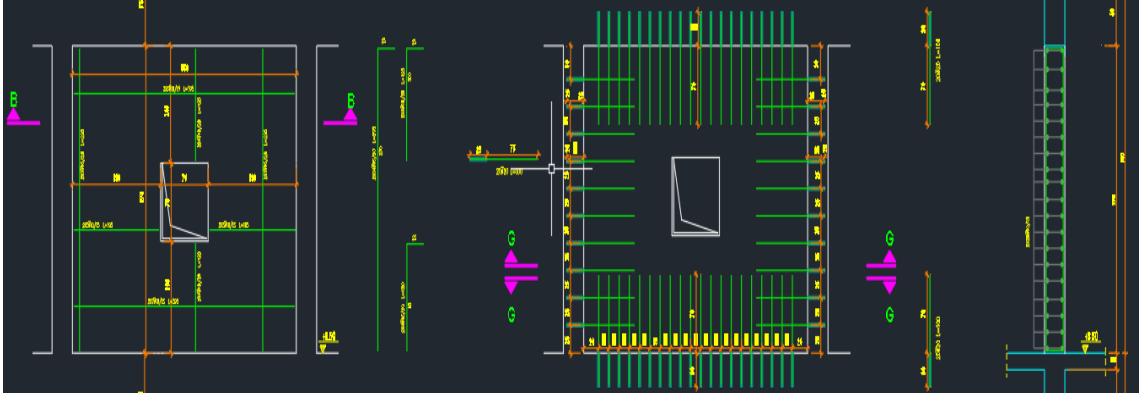
Kiriş Belirgin Hasar oranı=0.0≤20 Sınırlı Hasar ✓

Güçlendirme-1 alternatifinde belirtilen yerlere x yönünde 2 adet betonarme perde ilavesi yapılarak çözüm sunulmuştur. Yapılan performans analizi sonucunda gevrek eleman kalmadığı ve binadan istenen performans düzeyini sağladığı ortaya çıkmıştır. Güçlendirme yapılırken kütle ve rijitlik merkezimizin birbirine yakınlığına önem gösterilerek güçlendirme yapılmıştır. Güçlendirme perdesi detayları aşağıda verilmiştir.

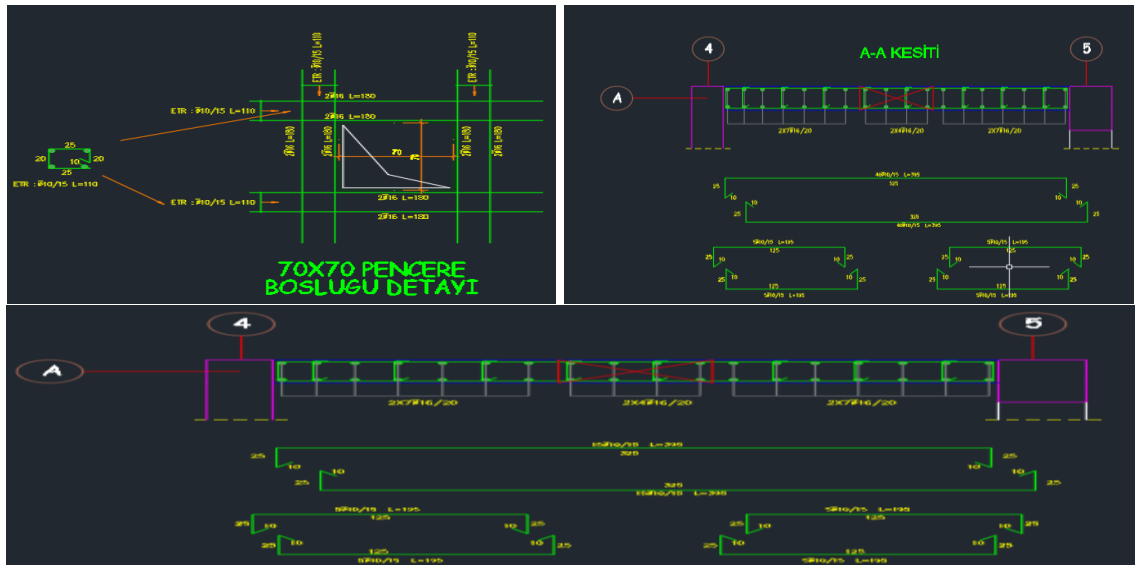
**Şekil 4.27.** Temel planı güçlendirilmiş durum



Şekil 4.28. Zemin ve 1,2,3. katlar güçlendirilmiş durum planı



Şekil 4.29. Donatı yerleşim planı



Şekil 4.30. Perde boşluk detayı ve donatı yerleşim detayları

4.3.10.2. Güçlendirme-1 Fayda Maliyet Oranları

Mimarlık ve Mühendislik Hizmet Bedellerinin Hesabında Kullanılacak 2023 Yılı Yapı Yaklaşık Birim Maliyetleri Hakkında Tebliğde yer alan yapı yaklaşık birim maliyetleri üzerinden hesaplama yapılmıştır (Resmî Gazete, 2023).

Tablo 4.30. Yapının mimarlık hizmetlerine göre birim m² maliyeti

YAPININ MİMARLIK HİZMETLERİNE ESAS OLAN SINIFI	(BM)TL/m²
IV. SINIF YAPILAR	
A GRUBU YAPILAR.....	6.825,00 TL
1. Özelliği olan büyük okul yapıları (Spor salonu, konferans salonu ve ek tesisleri olan eğitim yapıları)	
2. Poliklinikler	
3. Liman binaları	
4. İdari binalar (ilçe tipi hükümet konakları, vergi daireleri ve benzeri)	
5. İlçe belediyeleri	
6. 150 kişiyi geçen cezaevleri	
7. Kaplıcalar, şifa evleri ve benzeri termal tesisleri	
8. İbadethaneler (1500 kişiye kadar)	
9. Aqua parklar	
10. Entegre sanayi tesisleri	
11. Müstakil spor köyleri (Yüzme havuzları, spor salonları ve statları bulunan)	
12. Yaşlılar huzurevi, kimsesiz çocuk yuvaları, yetiştirme yurtları	
13. Büyük alışveriş merkezleri	
14. Yüksek okullar ve eğitim enstitüleri	
15. Apartman tipi konutlar (Yapı yüksekliği 30,50 m'den az yapılar)	
16. Oteller (1 ve 2 yıldızlı)	
Bu gruptakilere benzer yapılar.	
B GRUBU YAPILAR.....	8.100,00 TL
1. Araştırma binaları, laboratuvarlar ve sağlık merkezleri	
2. İl tipi belediyeler	
3. İl tipi idari kamu binaları	
4. Metro istasyonları	
5. Stadyum, spor salonları ve yüzme havuzları	
6. Büyük postaneler (merkez postaneleri)	
7. Otobüs terminaleri	
8. Eğlence amaçlı yapılar (çok amaçlı toplantı, eğlence ve düğün salonları) 9. Banka binaları	
10. Normal radyo ve televizyon binaları	
11. Özelliği olan genel sığınaklar	
12. Müstakil veya ikiz konutlar (Bağımsız bölüm brüt alanı 151 m ² ~ 600 m ² villalar, teras evleri, dağ evleri, kaymakam evi ve benzeri)	
13. Bu gruptakilere benzer yapılar.	
C GRUBU YAPILAR.....	8.825,00 TL
1. Büyük kütüphaneler ve kültür yapıları	
2. Bakanlık binaları	
3. Yüksek öğrenim yurtları	
4. Arşiv binaları	
5. Radyoaktif korumalı depolar	
6. Büyük Adliye Sarayları	
7. Otel (3 yıldızlı) ve moteller	
8. Rehabilitasyon ve tedavi merkezleri	
9. İl tipi hükümet konakları ve büyükşehir belediye binaları	
10. İş merkezleri (Yapı yüksekliği 21,50 m ile 30,50 m arası - 30,50 m dâhil yapılar)	

Tablo 4.30(devamı). Yapının mimarlık hizmetlerine göre birim m² maliyeti

YAPININ MİMARLIK HİZMETLERİNE ESAS OLAN SINIFI	(BM)TL/m²
IV. SINIF YAPILAR	
11. Konutlar (Yapı yüksekliği 30,50 m ile 51,50 m arası - 51,50 m dâhil yapılar) Bu gruptakilere benzer yapılar.	

Yapı türümüz IV Sınıf A grubu yapıya dahil olduğu için yapının yeniden maliyetini belirlemede m² fiyatı 6.825,00 TL alınmıştır.

Yapılan bu çalışmalar sonucunda 1. okul binası Güçlendirme-1 sonucu performans analiz çalışmasında onarım ile ilgili kısımları dikkate alınarak güçlendirme maliyetleri hesap edilmiş ve fayda maliyet oranı oluşturulmuştur. Güçlendirme ve onarım maliyeti aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 4.31. Güçlendirme ve onarım maliyeti yaklaşık maliyet icmalı

Sıra No	Tanımı	Tutar
1	Güçlendirme İmalatları	363.048,96 TL
2	Onarım İmalatları	1.567597,17 TL
3	Mekanik İmalatlar	11.851,90 TL
4	Elektrik İmalatları	52.735,30 TL
	Genel Toplam	1.995.233,64TL

Bu oran Güçlendirme/Yapının Yeniden Yapım Maliyeti/ % **7,13** olarak belirlenmiştir.

Yeniden Maliyet Hesabı 4100 M² * 6.825,00 TL = 27.982.500,00 TL

Maliyet hesap özeti aşağıdaki şekilde verilmiştir.

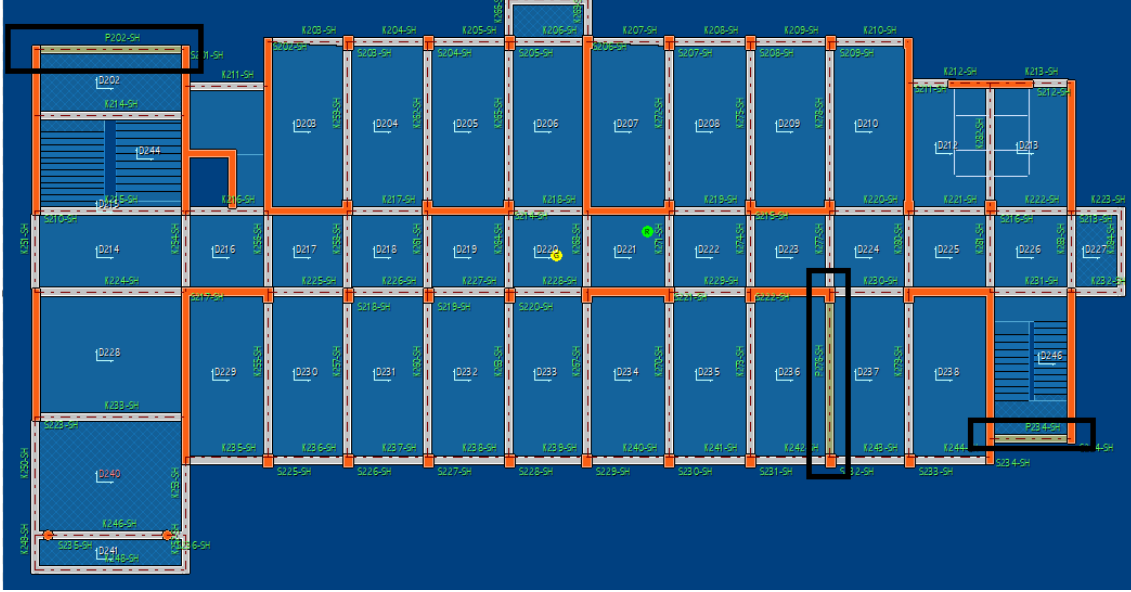
Tablo 4.32. Yapı fayda maliyet değerlendirmesi tablosu

Yapı m ²	4100
Yeniden Yapım Maliyeti	27.982.500,00
Güçlendirme Maliyeti	1.995.233,64
Yapının Maliyeti/Güçlendirme Maliyeti Oranı	7.13%

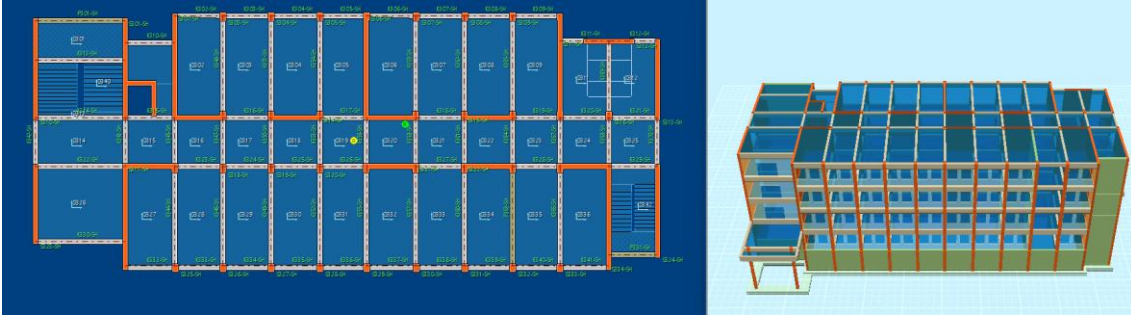
4.3.10.3. Yapıya farklı perdelerin eklenmesi ve performans analizi

Yapıya dıştan ve iç duvardan betonarme perde ilavesi yapılarak güçlendirme yapılmış ve bu öneriye “Güçlendirme-2” adı verilerek analiz yapılmıştır.

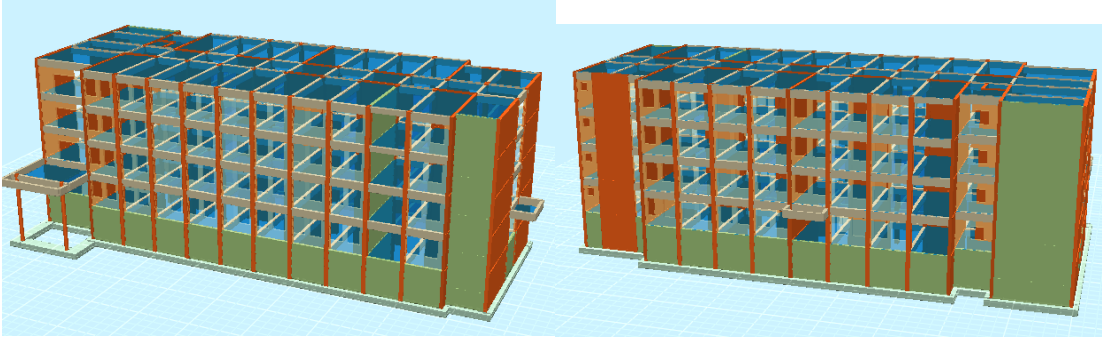
1. okul binası için yapılan performans analizi sonucunda yapının gerekli performansa ulaşabilmesi için x yönünde 2 adet ve Y yönünde 1 adet güçlendirme perdesi atılmıştır.



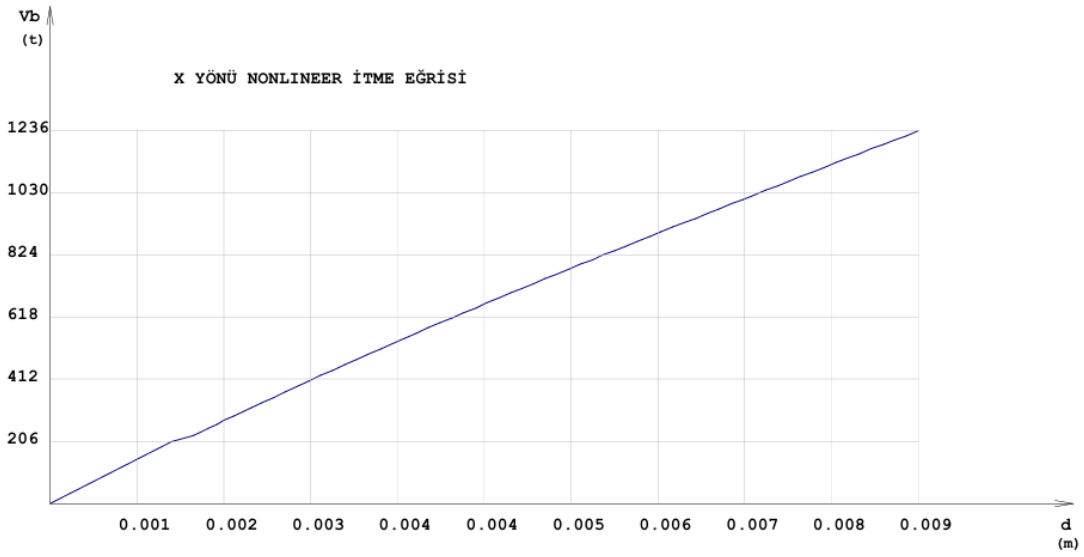
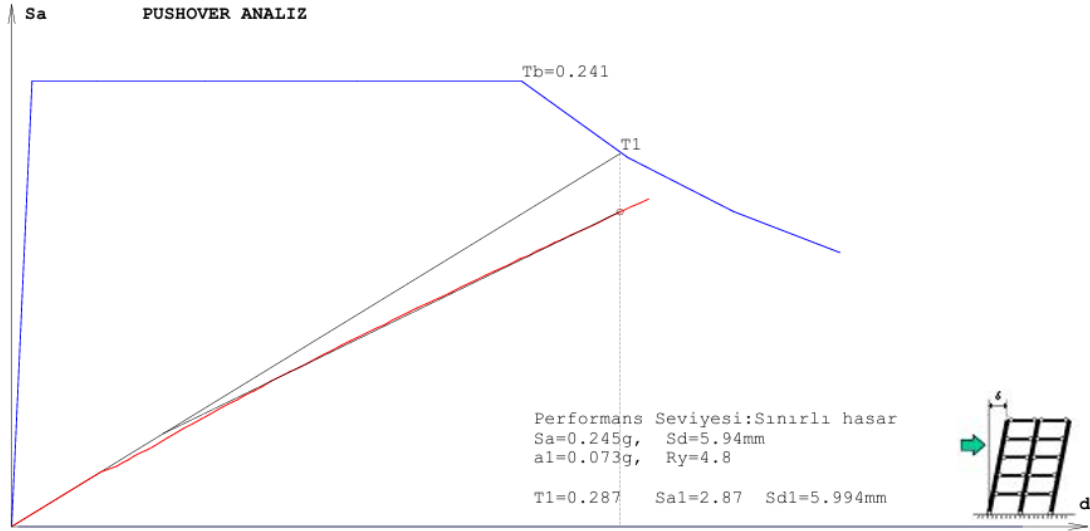
Şekil 4.31. Güçlendirme perdelerinin geleceği kısımlar (STA4CAD verileri)



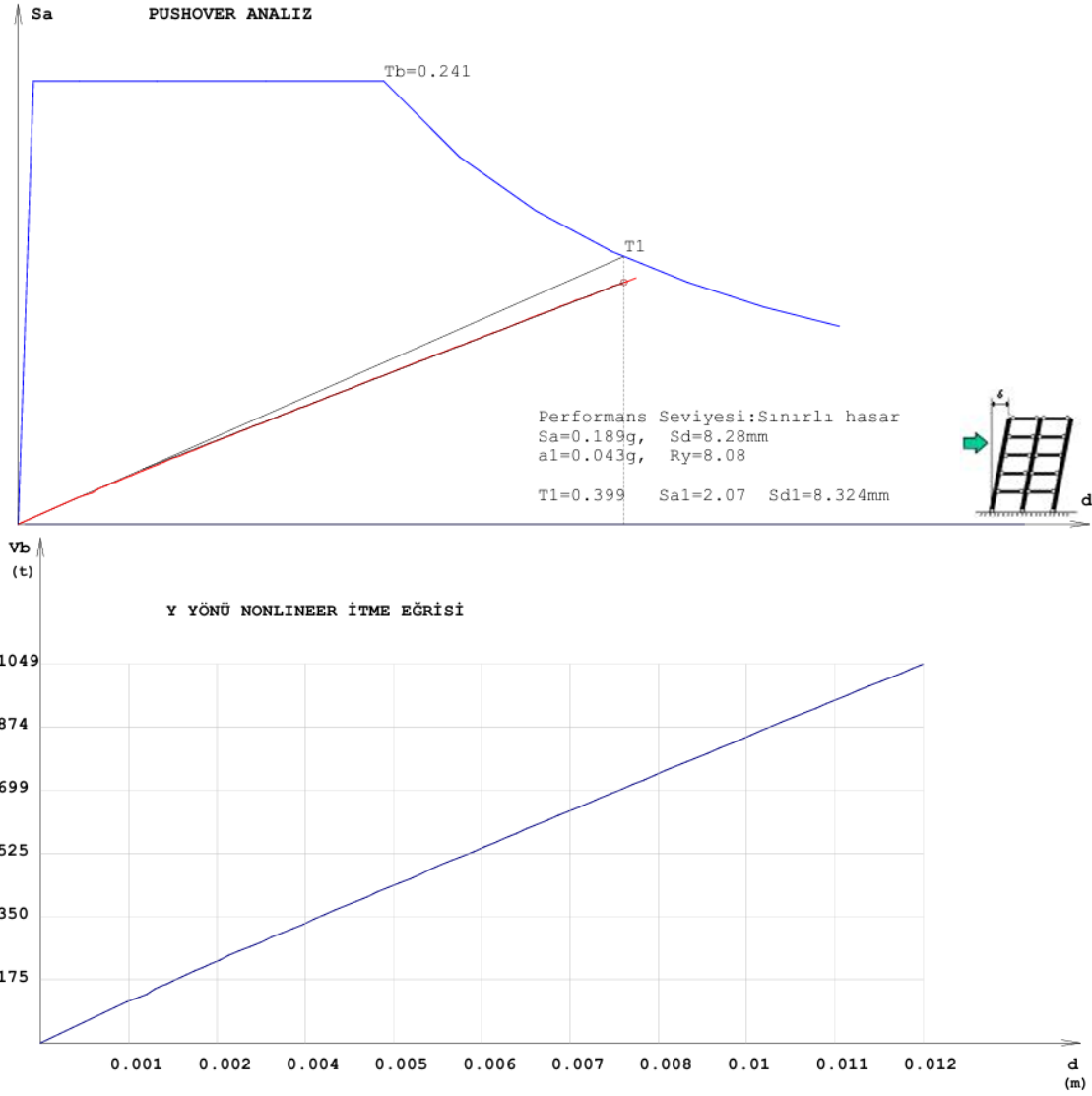
Şekil 4.32. Güçlendirme-2 sonrası analiz (STA4CAD verileri)



Şekil 4.33. Güçlendirme-2 sonrası yapının 3-D ön ve arka görüntüleri (STA4CAD verileri)



Şekil 4.34. Güçlendirme-2 sonrası X yönünde itme analiz ve eğri grafikleri



Şekil 4.35. Güçlendirme-2 sonrası Y yönünde itme analiz ve eğri grafikleri

Tablo 4.33. Güçlendirme-2 sonrası yapının X yönünde burulma düzensizliği(A1) ve yumuşak kat (B2) düzensizliklerinin kontrolü

X YÖNÜ (+)

Kat	ΔX üst (m)	ΔX dalt (m)	ΔX ort	nbi	nki	$\lambda \cdot R/I \cdot \Delta x/h$	θ_i	kat tipi
5	0.0005678» S503	0.0006297» S525	0.0005987	1.05	0.00	0.00028 ✓	0.00140 ✓	Üst kat
4	0.0005736» S403	0.0006391» S425	0.0006063	1.05	1.01	0.00028 ✓	0.00183 ✓	Normal kat
3	0.0005566» S303	0.0006181» S325	0.0005873	1.05	0.97	0.00027 ✓	0.00214 ✓	Normal kat
2	0.0004580» S203	0.0005178» S235	0.0004879	1.06	0.83	0.00023 ✓	0.00208 ✓	Normal kat
1	0.0002138» S103	0.0002410» S135	0.0002274	1.06	0.45	0.00010 ✓	0.00112 ✓	Normal kat

Tablo 4.34. Güçlendirme-2 sonrası yapının Y yönünde burulma düzensizliği(A1) ve yumuşak kat (B2) düzensizliklerinin kontrolü (STA4CAD raporları)

Y YÖNÜ (+)

Kat	ΔY üst (m)	ΔY dalt (m)	ΔY ort	nbi	nki	$\lambda \cdot R/I \cdot \Delta y/h$	θ_i	kat tipi
5	0.0007622» S510	0.0004804» S513	0.0006213	1.23	0.00	0.00034 ✓	0.00207 ✓	Üst kat
4	0.0007750» S410	0.0005019» S413	0.0006385	1.21	1.03	0.00034 ✓	0.00274 ✓	Normal kat
3	0.0007683» S310	0.0005020» S313	0.0006352	1.21	0.99	0.00034 ✓	0.00332 ✓	Normal kat
2	0.0007375» S210	0.0004800» S213	0.0006087	1.21	0.96	0.00033 ✓	0.00365 ✓	Normal kat
1	0.0006816» S110	0.0004534» S113	0.0005675	1.20	0.89	0.00029 ✓	0.00375 ✓	Normal kat

Tablo 4.35. Güçlendirme-2 sonrası yapının (B1) düşey doğrultuda düzensizliklerinin kontrolü(STA4CAD raporları)

Kat	Aw	Agx	Agy	Akx	Aky	Σ Aex	Σ Aey	ncix	nciy	AÇIKLAMA
5	4.26	14.64	26.18	13.43	10.45	20.91	32.00	1.00	1.00	üst kat ✓
4	4.26	15.66	26.18	13.43	10.45	21.93	32.00	1.05	1.00	Düzenli ✓
3	4.26	15.66	26.18	13.43	10.45	21.93	32.00	1.00	1.00	Düzenli ✓
2	4.51	15.66	26.18	16.69	12.44	22.67	32.55	1.03	1.02	Düzenli ✓
1	4.51	37.32	28.22	0.00	0.00	41.83	32.73	1.84	1.01	Düzenli ✓

Tablo 4.36. Güçlendirme-2 sonrası yapının burulma kütle atalet momenti (STA4CAD raporları)

Kat	A (m ²)	Ix (m4)	Iy (m4)	Xg (m)	Yg (m)	Jmass (m ²)
5	855.42	23816.06	151513.59	23.71	13.47	204.96
4	846.79	23691.60	148797.29	23.84	13.50	203.70
3	846.79	23691.60	148797.29	23.84	13.50	203.70
2	910.09	30249.07	173457.82	22.99	14.00	223.83
1	846.79	23691.60	148797.29	23.84	13.50	203.70

Tablo 4.37. Güçlendirme-2 sonrası yapının kat kütlesi ve rijitlik merkezi (STA4CAD raporları)

Kat (dyf)	H (m)	Wg	Wq	n	R Rx/Ry	D Dx/Dy	Xg (m)	Xr (m)	Yg (m)	Yr (m)	Σ Wk
5	17.50	987.74	129.52	0.60	4	2.5	23.80	27.97	13.22	11.65	1065.451
4	14.00	1155.09	344.02	0.60	4	2.5	24.19	28.10	13.35	11.80	1361.504
3	10.50	1162.90	347.59	0.60	4	2.5	24.17	28.11	13.37	12.11	1371.455
2	7.00	1216.79	361.03	0.60	4	2.5	23.75	27.93	13.64	12.59	1433.407
1	3.50	1366.75	347.00	0.60	4	2.5	24.05	27.26	13.39	13.37	1574.951

$\Sigma Wt = 6806.766$

Tablo 4.38. Kat deprem deplasmanları (STA4CAD raporları)

Kat (dyf)	9. yükleme		10. yükleme		11. yükleme		12. yükleme	
	δx (m)	θz (rad)	δx (m)	θz (rad)	δy (m)	θz (rad)	δy (m)	θz (rad)
5	0.0024761	0.0000138	0.0024761	0.0000138	-0.002950	0.0000277	-0.002950	0.0000277
4	0.0018847	0.0000105	0.0018847	0.0000105	-0.002352	0.0000217	-0.002352	0.0000217
3	0.0012864	0.0000071	0.0012864	0.0000071	-0.001740	0.0000159	-0.001740	0.0000159
2	0.0007053	0.0000039	0.0007053	0.0000039	-0.001131	0.0000103	-0.001131	0.0000103
1	0.0002252	0.0000012	0.0002252	0.0000012	-0.000549	0.0000048	-0.000549	0.0000048

Deprem yapı salınımları: x= 0.00014 y= 0.00017

Tablo 4.39. Kat deprem momenti kontrolü (STA4CAD raporları)

Kat	H (m)	Fx	Fx . H	H (m)	Fy	Fy . H
5	17.50	130.13	2277.35	17.50	91.49	1601.08
4	14.00	99.14	1387.99	14.00	70.17	982.38
3	10.50	69.04	724.87	10.50	46.29	486.05
2	7.00	52.13	364.94	7.00	41.49	290.42
1	3.50	29.17	102.09	3.50	33.18	116.14

379.61

4857.23

282.62

3476.07

Tablo 4.40. Yapı devrilme kontrolü (STA4CAD raporları)

Kat düşey yük momenti (tm) X=47.85m Y=3.317m moment noktası

Kat	Wg+0.6·Wq	Xg-X	(Xg-X) · (Wg+0.6·Wq)	Yg-Y	(Yg-Y) · (Wg+0.6·Wq)
5	1065.45	24.050	25623.88	9.901	10549.20
4	1361.50	23.663	32217.29	10.035	13663.25
3	1371.45	23.677	32472.46	10.051	13784.05
2	1433.41	24.099	34543.58	10.326	14802.00
1	1574.95	23.798	37480.24	10.073	15864.89
	679.82	25.463	17310.55	10.681	7261.19

179648.01

75924.58

X yönü devrilme kontrolü=179648.012/4857.234=36.986 > 1.5 ✓

Y yönü devrilme kontrolü=75924.585/3476.072=21.842 > 1.5 ✓

Tablo 4.41. Kolon ve kirişlerde kesme kuvveti dağılımı ve bina performansı

KOLON KESME KUVVETİ DAĞILIMI

KAT NO	(-X)				(X)				(-Y)				(Y)			
	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB
5	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
4	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
3	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
2	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
1	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
Max.	100.															

KIRIŞ HASAR YÜZDELERİ

KAT NO	(-X)				(X)				(-Y)				(Y)			
	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB
5	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
4	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
3	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
2	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
1	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
Max.	100.															

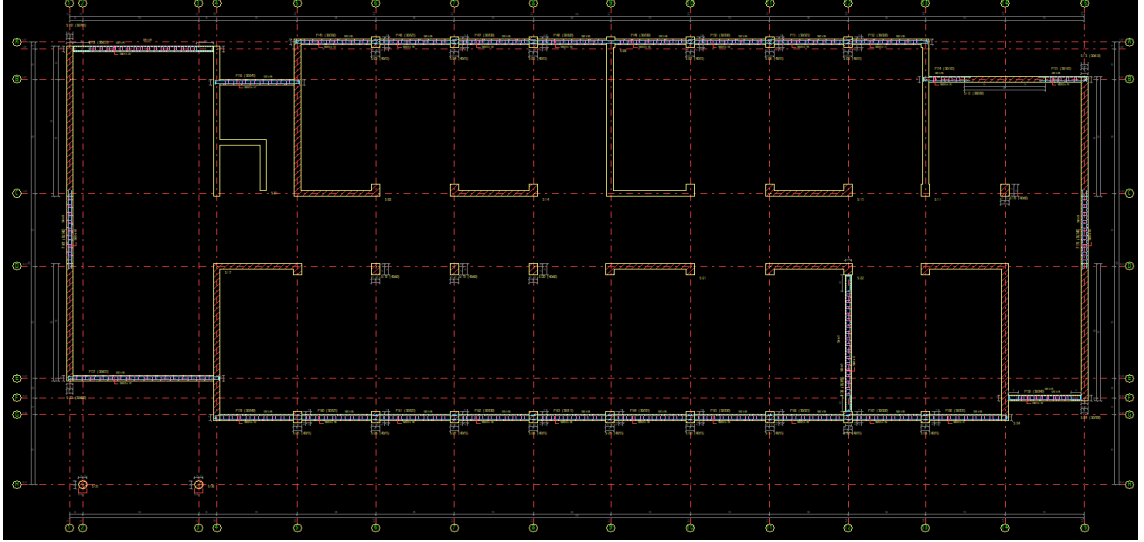
X yönü kiriş sayısı=17,46,39,39,39

Y yönü kiriş sayısı=26,35,28,28,28

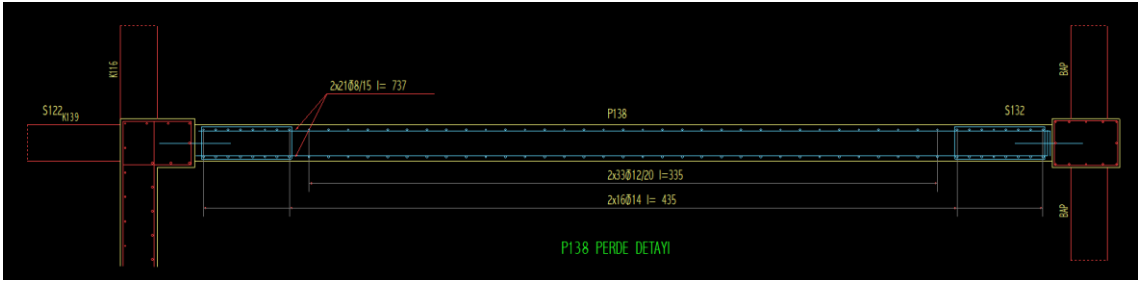
DD2 YER HAREKETİ DÜZEYİNDE, BINA PERFORMANS SONUCU:

Kiriş Belirgin Hasar oranı=%0.0<=%20 Sınırlı Hasar ✓

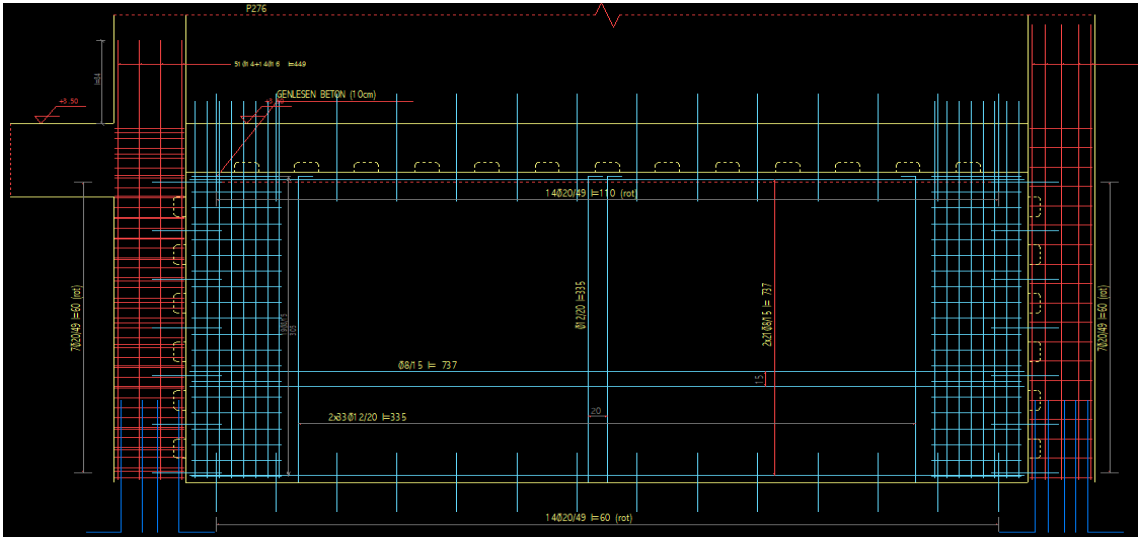
Güçlendirme-2 alternatifinde belirtilen yerlere x yönünde 2 adet ve Y yönünde 1 adet betonarme perde ilavesi yapılarak çözüm sunulmuştur. Yapılan performans analizi sonucunda gevrek eleman kalmadığı ve binadan istenen performans düzeyini sağladığı ortaya çıkmıştır. Güçlendirme perdesi detayları aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.36. Zemin ve 1,2,3. katlar güçlendirilmiş durum planı



Şekil 4.37. Donatı yerleşim planı



Şekil 4.38. Perde boşluk detayı ve donatı yerleşim detayları

4.3.10.4. Güçlendirme-2 fayda maliyet oranları

Yapı türümüz IV Sınıf A grubu yapıya dahil olduğu için yapının yeniden maliyetini belirlemede m2 fiyatı 6.825,00 TL alınmıştır. Güçlendirme ve onarım maliyeti

aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 4.42. Güçlendirme-2 için güçlendirme ve onarım yaklaşık maliyet icmali

Sıra No	Tanımı	Tutar
1	Güçlendirme İmalatları	763.922,71 TL
2	Onarım İmalatları	1.567.597,17 TL
3	Mekanik İmalatlar	11.851,90 TL
4	Elektrik İmalatları	52.735,30 TL
	Genel Toplam	2.396.107,08TL

Bu oran Güçlendirme/Yapının Yeniden Yapım Maliyeti % **8,57** olarak belirlenmiştir.

Yeniden Maliyet Hesabı $4100 \text{ M}^2 * 6.825,00 \text{ TL} = 27.982.500,00 \text{ TL}$

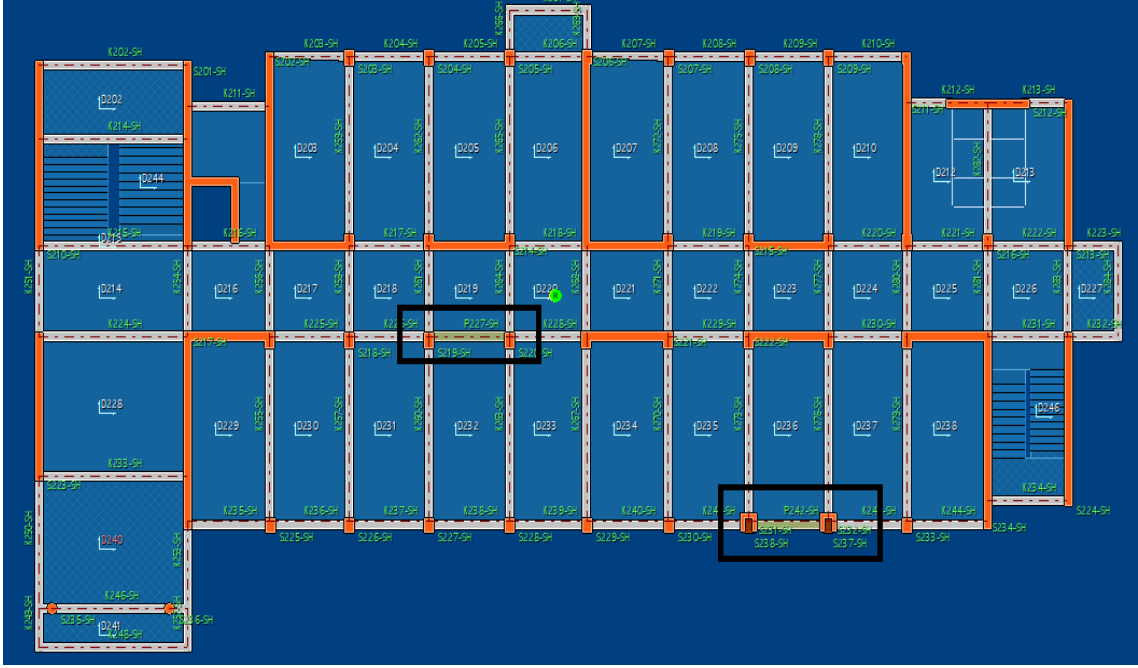
Maliyet hesap özeti aşağıdaki şekilde verilmiştir.

Tablo 4.43. Yapı fayda maliyet değerlendirmesi tablosu

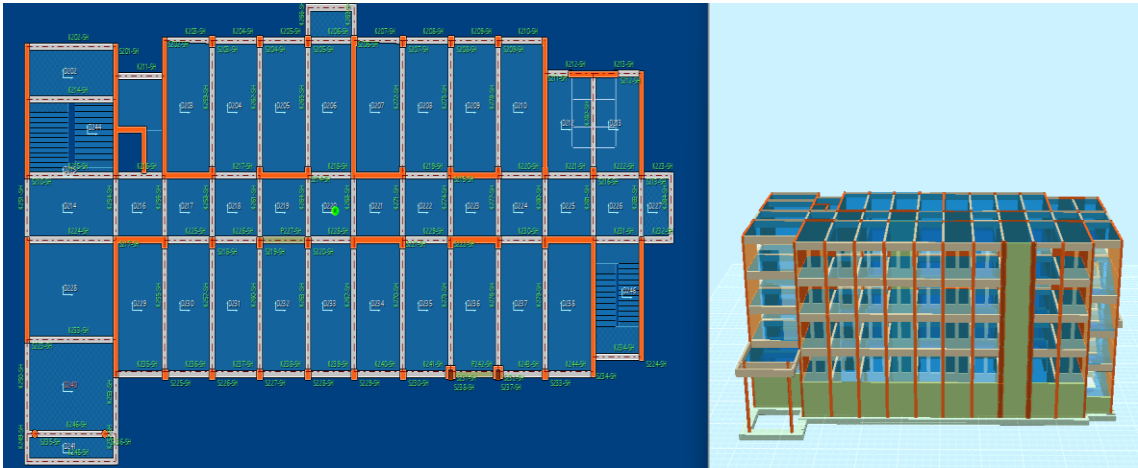
Yapı m ²	4100
Yeniden Yapım Maliyeti	27.982.500,00
Güçlendirme Maliyeti	2.396.107,08
Yapının Maliyeti/Güçlendirme Maliyeti Oranı	8.57%

4.3.10.5. Yapıya kolon mantolaması ve perde eklenerek performans analizinin yapılması

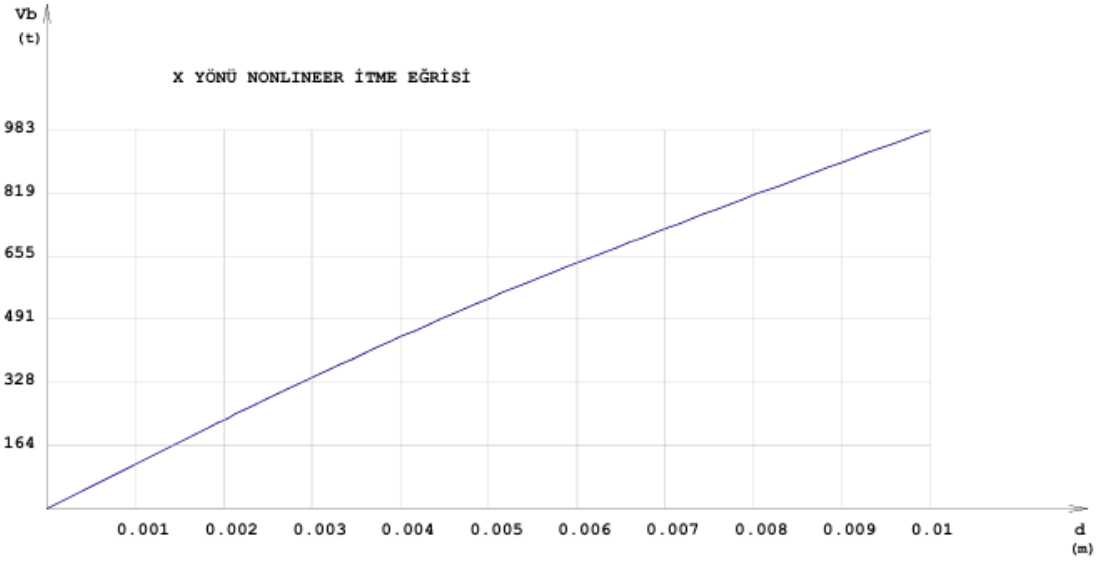
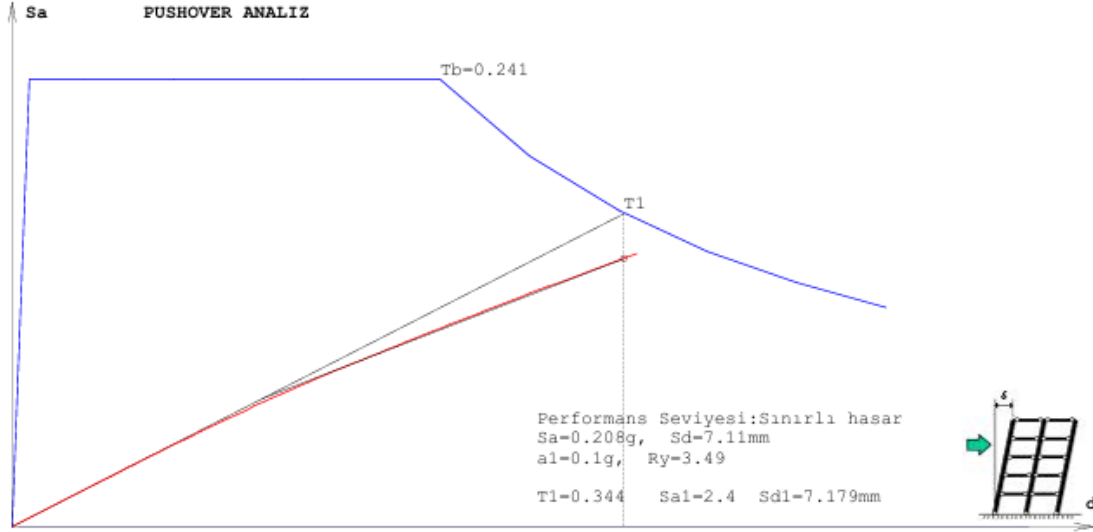
Yapıya dıştan betonarme perde ilavesi yapılarak ve kesiti kurtarmayan kolona betonarme manto ilavesi yapılarak güçlendirme yapılmış ve bu öneriye “Güçlendirme-3” adı verilerek analiz yapılmıştır. Yapı mimari durumu ve ihtimaller dahilinde perde eklenen yerlerin konumu değiştirildikten sonra yapının S231 ve S232 kolonları boyunca analiz sonrası gevrek eleman hatasıyla karşılaştığı için, bu kolonların gelen yükün kolonlar tarafından karşılanamadığı düşünüldüğünden; hem perde ilavesi ile yük aktarımında kolaylık olması açısından bir uygulamaya gidilmiş hemde perde ilave edilse dahi gevreklik sorunu son katta çözülemediği için betonarme manto yapılarak gelen yükü önce mevcut kolonun taşıması, taşıyamadığı yerde mantonun devreye girmesi sağlanarak uygun bir çözüme kavuşturulmuştur.



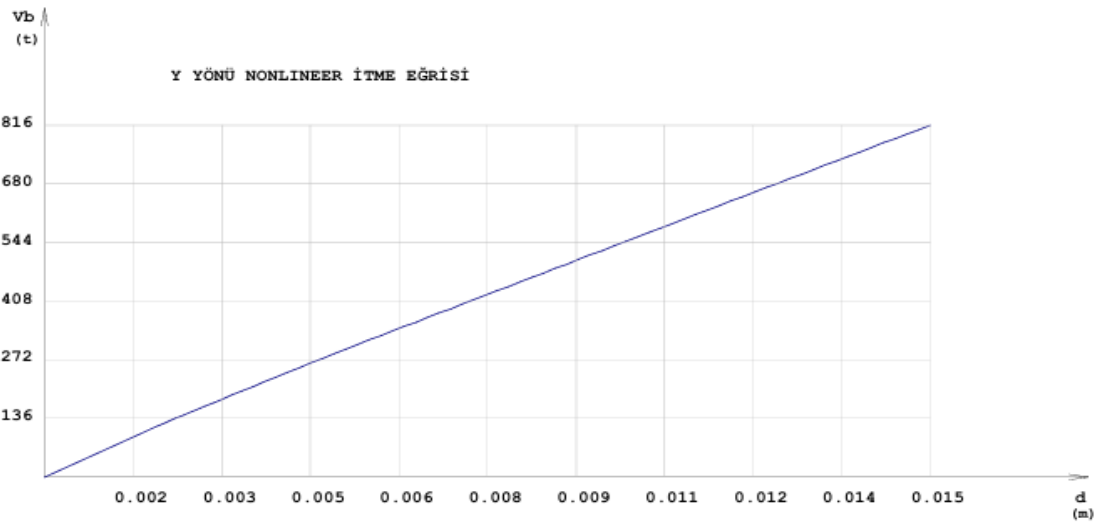
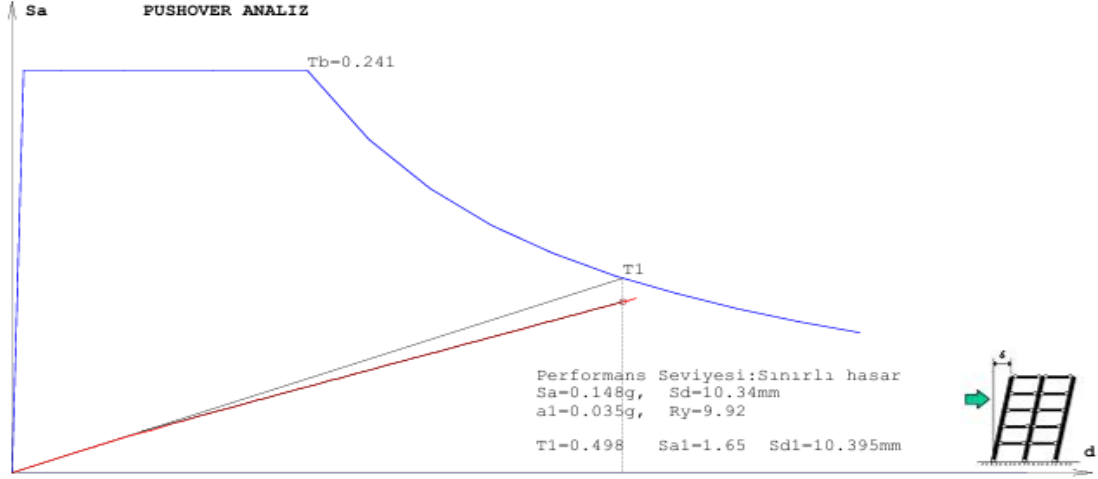
Şekil 4.39. Güçlendirme perdelerinin geleceği kısımlar (STA4CAD verileri)



Şekil 4.40. Güçlendirme-3 sonrası analiz (STA4CAD verileri)



Şekil 4.41. Güçlendirme-3 sonrası X yönünde itme analiz ve eğri grafikleri



Şekil 4.42. Güçlendirme-3 sonrası Y yönünde itme analiz ve eğri grafikleri

Tablo 4.44. Güçlendirme-3 sonrası yapının X yönünde burulma düzensizliği(A1) ve yumuşak kat (B2) düzensizliklerinin kontrolü

X YÖNÜ (+)

Kat	ΔX üst (m)	ΔX dalt (m)	ΔX ort	nbi	nki	$\lambda \cdot R/I \cdot \Delta x/h$	θ_i	kat tipi
5	0.0007428» S503	0.0007315» S525	0.0007372	1.01	0.00	0.00033 ✓	0.00190 ✓	Üst kat
4	0.0007671» S403	0.0007564» S425	0.0007617	1.01	1.03	0.00034 ✓	0.00264 ✓	Normal kat
3	0.0007180» S303	0.0007075» S325	0.0007128	1.01	0.94	0.00032 ✓	0.00301 ✓	Normal kat
2	0.0005532» S203	0.0005424» S235	0.0005478	1.01	0.77	0.00025 ✓	0.00271 ✓	Normal kat
1	0.0002233» S103	0.0002102» S135	0.0002168	1.03	0.38	0.00010 ✓	0.00123 ✓	Normal kat

Tablo 4.45. Güçlendirme-1 sonrası yapının Y yönünde burulma düzensizliği(A1) ve yumuşak kat (B2) düzensizliklerinin kontrolü (STA4CAD raporları)

Y YÖNÜ (+)

Kat	ΔY üst (m)	ΔY dalt (m)	ΔY ort	nbi	nki	$\lambda \cdot R/I \cdot \Delta y/h$	θ_i	kat tipi
5	0.0008059» S510	0.0008044» S513	0.0008052	1.00	0.00	0.00036 ✓	0.00296 ✓	Üst kat
4	0.0008209» S410	0.0008295» S413	0.0008252	1.01	1.02	0.00037 ✓	0.00401 ✓	Normal kat
3	0.0008174» S310	0.0008290» S313	0.0008232	1.01	1.00	0.00037 ✓	0.00493 ✓	Normal kat
2	0.0007958» S210	0.0008041» S213	0.0007999	1.01	0.97	0.00036 ✓	0.00550 ✓	Normal kat
1	0.0007571» S110	0.0007518» S113	0.0007544	1.00	0.90	0.00032 ✓	0.00567 ✓	Normal kat

Tablo 4.46. Güçlendirme-3 sonrası yapının (B1) düşey doğrultuda düzensizliklerinin kontrolü(STA4CAD raporları)

Kat	Aw	Agx	Agy	Akx	Aky	Σ Aex	Σ Aey	ncix	nciy	AÇIKLAMA
5	4.77	13.94	24.09	14.54	10.45	20.90	30.43	1.00	1.00	üst kat ✓
4	4.77	13.62	24.09	14.54	10.45	20.57	30.43	0.98	1.00	Düzenli ✓
3	4.77	13.62	24.09	14.54	10.45	20.57	30.43	1.00	1.00	Düzenli ✓
2	5.02	13.62	24.09	17.80	12.44	21.31	30.98	1.04	1.02	Düzenli ✓
1	5.02	37.29	26.13	0.00	0.00	42.31	31.15	1.99	1.01	Düzenli ✓

Tablo 4.47. Güçlendirme-3 sonrası yapının burulma kütle atalet momenti (STA4CAD raporları)

Kat	A (m ²)	Ix (m4)	Iy (m4)	Xg (m)	Yg (m)	Jmass (m ²)
5	855.42	23816.06	151513.59	23.71	13.47	204.96
4	846.79	23691.60	148797.29	23.84	13.50	203.70
3	846.79	23691.60	148797.29	23.84	13.50	203.70
2	910.09	30249.07	173457.82	22.99	14.00	223.83
1	846.79	23691.60	148797.29	23.84	13.50	203.70

Tablo 4.48. Güçlendirme-3 sonrası yapının kat kütlesi ve rijitlik merkezi (STA4CAD raporları)

Kat (dyf)	H (m)	Wg	Wq	n	R Rx/Ry	D Dx/Dy	Xg (m)	Xr (m)	Yg (m)	Yr (m)	Σ Wk
5	17.50	960.67	129.72	0.60	4	2.5	23.93	23.83	13.37	13.70	1038.499
4	14.00	1152.85	344.48	0.60	4	2.5	24.13	23.84	13.39	13.70	1359.541
3	10.50	1152.77	348.05	0.60	4	2.5	24.11	23.81	13.41	13.69	1361.600
2	7.00	1205.68	361.48	0.60	4	2.5	23.68	23.74	13.68	13.67	1422.566
1	3.50	1370.93	347.45	0.60	4	2.5	23.87	23.59	13.35	13.67	1579.401

$\Sigma Wt = 6761.607$

Tablo 4.49. Kat deprem deplasmanları (STA4CAD raporları)

Kat (dyf)	9. yükleme		10. yükleme		11. yükleme		12. yükleme	
	δx (m)	θz (rad)	δx (m)	θz (rad)	δy (m)	θz (rad)	δy (m)	θz (rad)
5	0.0029775	-0.000002	0.0029775	-0.000002	-0.004008	-0.000000	-0.004008	-0.000000
4	0.0022404	-0.000002	0.0022404	-0.000002	-0.003202	-0.000000	-0.003202	-0.000000
3	0.0014788	-0.000001	0.0014788	-0.000001	-0.002377	-0.000000	-0.002377	-0.000000
2	0.0007662	-0.000001	0.0007662	-0.000001	-0.001554	-0.000000	-0.001554	-0.000000
1	0.0002176	-0.000000	0.0002176	-0.000000	-0.000754	0.0000001	-0.000754	0.0000001

Deprem yapı salınımları: x= 0.00017 y= 0.00023

Tablo 4.50. Kat deprem momenti kontrolü (STA4CAD raporları)

Kat	H (m)	Fx	Fx . H	H (m)	Fy	Fy . H
5	17.50	114.98	2012.24	17.50	80.77	1413.39
4	14.00	82.70	1157.78	14.00	60.33	844.66
3	10.50	56.64	594.71	10.50	38.12	400.29
2	7.00	45.61	319.24	7.00	36.25	253.75
1	3.50	27.00	94.51	3.50	31.04	108.63
		326.93	4178.47		246.51	3020.72

Tablo 4.51. Yapı devrilme kontrolü (STA4CAD raporları)

Kat düşey yük momenti (tm)		X=47.85m		Y=3.317m		moment noktası	
Kat	Wg+0.6·Wq	Xg-X	(Xg-X) · (Wg+0.6·Wq)	Yg-Y	(Yg-Y) · (Wg+0.6·Wq)		
5	1038.50	23.920	24841.05	10.054	10440.55		
4	1359.54	23.722	32251.57	10.070	13690.46		
3	1361.60	23.738	32321.38	10.092	13740.71		
2	1422.57	24.175	34389.97	10.362	14740.17		
1	1579.40	23.982	37877.60	10.028	15837.84		
	679.82	25.463	17310.55	10.681	7261.19		
			178992.13		75710.91		

X yönü devrilme kontrolü=178992.128/4178.473=42.837 > 1.5 ✓

Y yönü devrilme kontrolü=75710.913/3020.724=25.064 > 1.5 ✓

Tablo 4.52. Kolon ve kirişlerde kesme kuvveti dağılımı ve bina performansı**KOLON KESME KUVVETİ DAĞILIMI**

KAT NO	(-X)				(+X)				(-Y)				(+Y)			
	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB
5	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
4	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
3	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
2	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
1	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
Max.	100.															

KİRİŞ HASAR YÜZDELERİ

KAT NO	(-X)				(+X)				(-Y)				(+Y)			
	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB
5	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
4	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
3	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
2	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
1	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
Max.	100.															

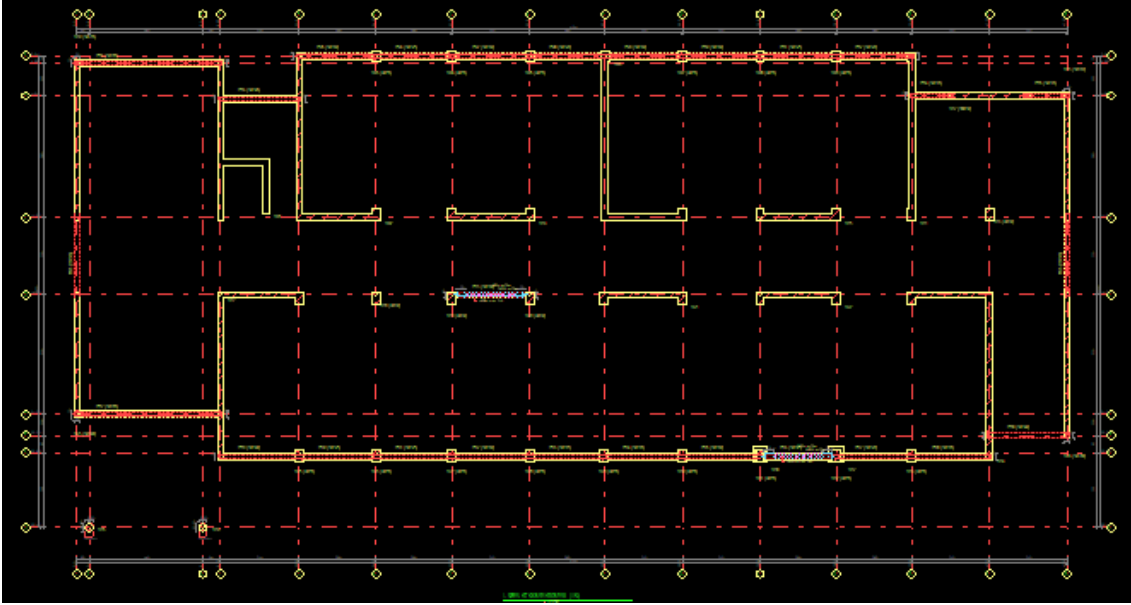
X yönü kiriş sayısı=16,46,39,39,39

Y yönü kiriş sayısı=27,36,29,29,29

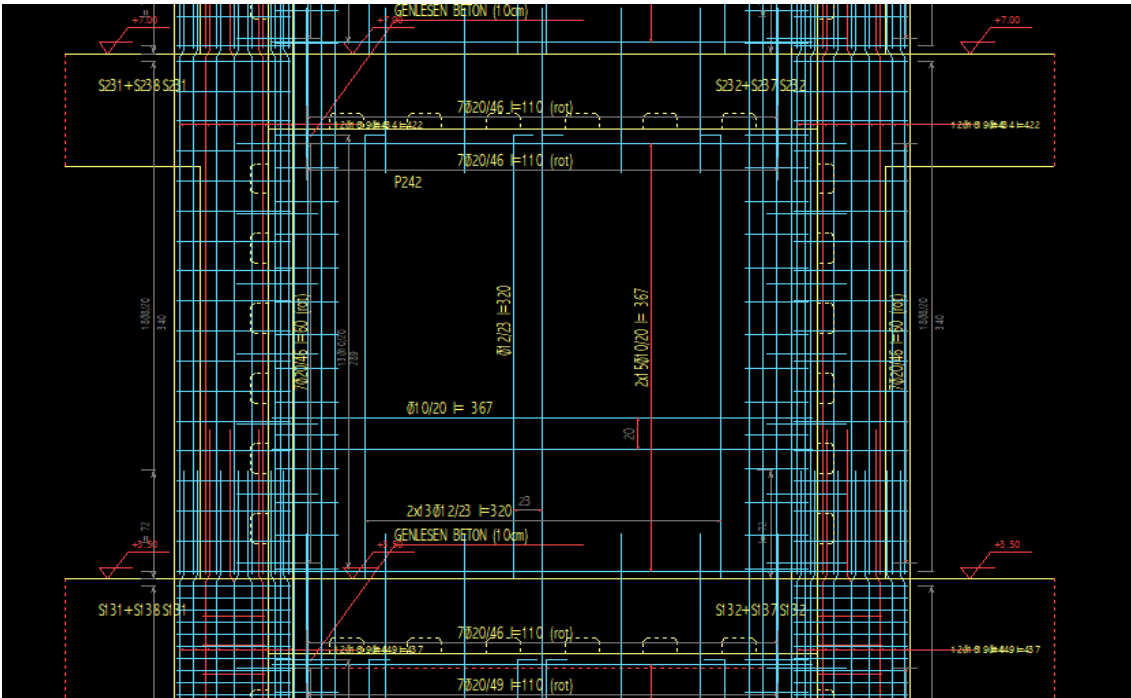
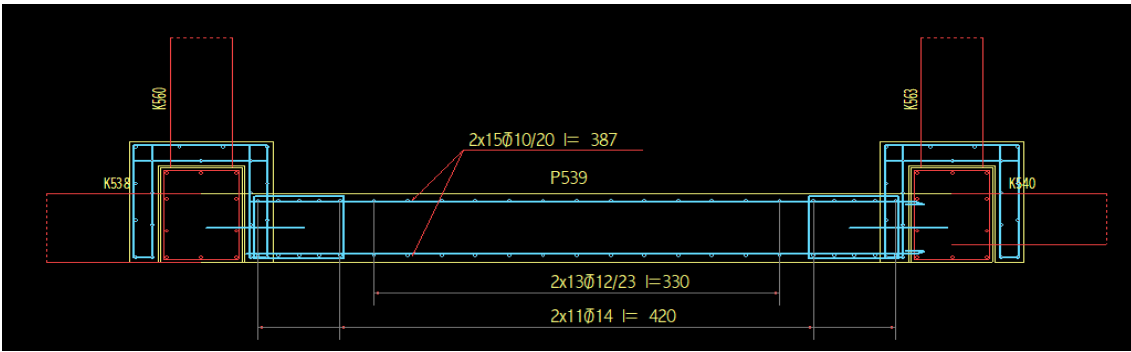
DD2 YER HAREKETİ DÜZEYİNDE, BINA PERFORMANS SONUCU:

Kiriş Belirgin Hasar oranı=%0.0<=%20 Sınırlı Hasar ✓

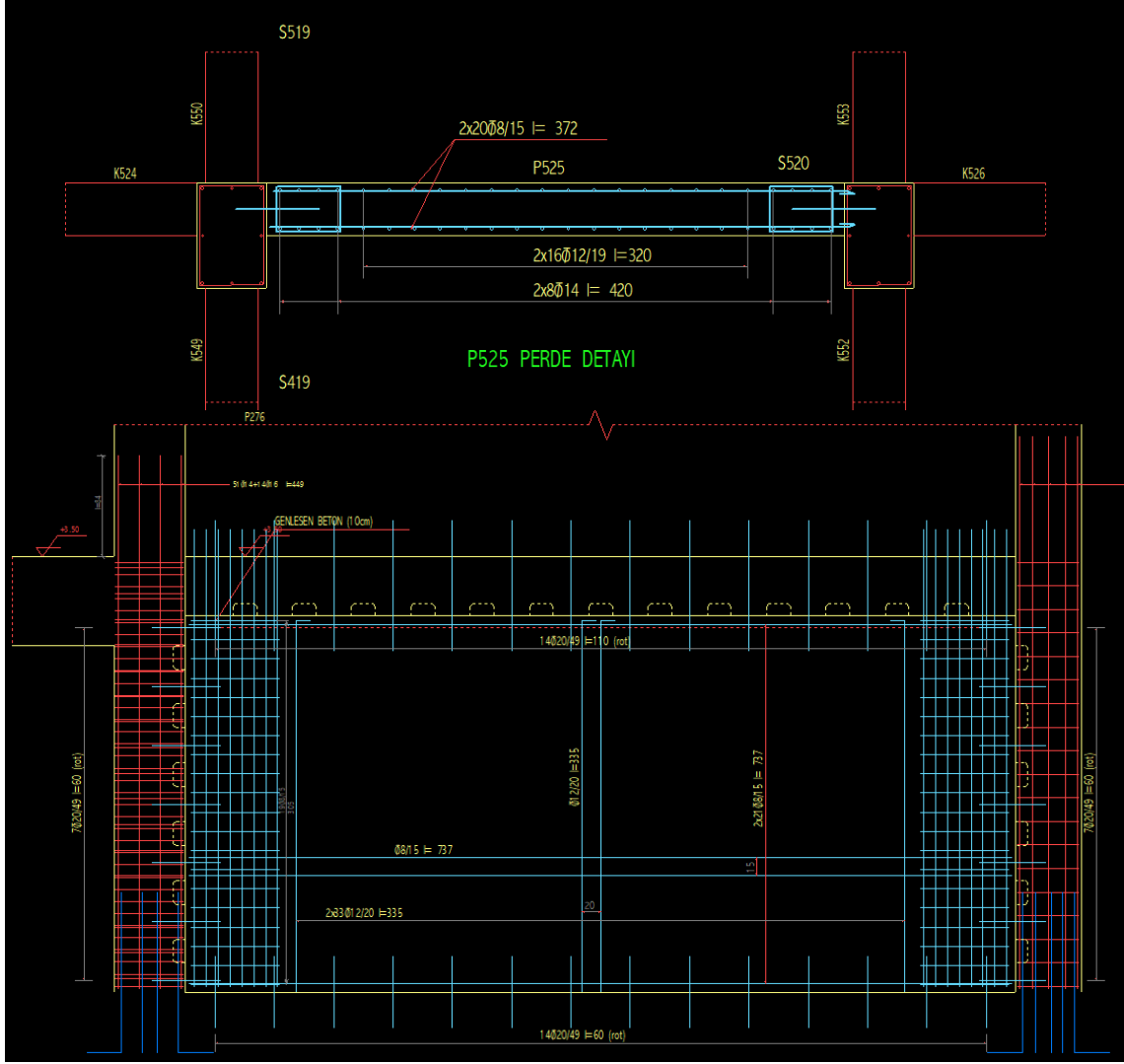
Güçlendirme-3 alternatifinde belirtilen yerlere x yönünde 2 adet betonarme perde ilavesi ve kolon mantolama yapılarak çözüm sunulmuştur. Yapılan performans analizi sonucunda gevrek eleman kalmadığı ve binadan istenen performans düzeyini sağladığı ortaya çıkmıştır. Güçlendirme perdesi detayları aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.43. Zemin ve 1,2,3. katlar güçlendirilmiş durum planı



Şekil 4.44. Mantolanmış kolon ve ilave perde donatı yerleşim planı



Şekil 4.45. Perde donatı yerleşim detayları

4.3.10.6. Güçlendirme-3 fayda maliyet oranları ve güçlendirmelerin karşılaştırılması

Yapı türümüz IV Sınıf A grubu yapıya dahil olduğu için yapının yeniden maliyetini belirlemede m2 fiyatı 6.825,00 TL alınmıştır. Güçlendirme ve onarım maliyeti aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 4.53. Güçlendirme ve onarım maliyeti yaklaşık maliyet icmali

Sıra No	Tanımı	Tutar
1	Güçlendirme İmalatları	541.363,00 TL
2	Onarım İmalatları	1.724.356,70 TL
3	Mekanik İmalatlar	11.851,90 TL
4	Elektrik İmalatları	52.735,30 TL
	Genel Toplam	2.330.306,90TL

Bu oran Güçlendirme/Yapının Yeniden Yapım Maliyeti/ % **8,33** olarak belirlenmiştir.

$$\text{Yeniden Maliyet Hesabı } 4100 \text{ M}^2 * 6.825,00 \text{ TL} = 27.982.500,00 \text{ TL}$$

Tablo 4.54. Yapı fayda maliyet değerlendirmesi tablosu

Yapı m ²	4100
Yeniden Yapım Maliyeti	27.982.500,00
Güçlendirme Maliyeti	2.330.306,90
Yapının Maliyeti/Güçlendirme Maliyeti Oranı	8.33%

Güçlendirme alternatifleri sonuçları aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Tablo 4.55. Deprem yapı salınımı karşılaştırması

Kat Deprem Deplasmanları Deprem Yapı Salınımı		
	X	Y
Mevcut bina	0.00072	0.00091
Güçlendirme-1	0.00017	0.00023
Güçlendirme-2	0.00014	0.00017
Güçlendirme-3	0.00017	0.00023

Yapıya uygulanan 3 ayrı güçlendirme çalışmaları neticesinde, taşıyıcı sistemin X ve Y yönlerindeki deplasman değerlerinde belirgin bir azalma gözlemlenmiştir.

Tablo 4.56. Deprem Momenti Kontrolü

Deprem Momenti Kontrolü		
	F _x	F _y
Mevcut bina	1230,88	982,19
Güçlendirme-1	331,05	246,04
Güçlendirme-2	379,61	282,62
Güçlendirme-3	326,93	246,51

Yapıya uygulanan alternatif güçlendirmeler sonucu deprem momentinin önemli ölçüde düştüğü gözlemlenmiştir.

Tablo 4.57. Yapı Güçlendirme Maliyetleri kontrolü

	Maliyeti	Fayda Maliyet Oranı
Mevcut bina	27.982.500,00	
Güçlendirme-1	1.995.233,64	%7,13
Güçlendirme-2	2.396.107,08	%8,57
Güçlendirme-3	2.330.306,90	%8,33

Alternatif güçlendirme senaryolarının maliyet analizleri neticesinde, Güçlendirme-1 uygulamasının en ekonomik çözüm olduğu belirlenmiştir. Bu güçlendirmede, mevcut taşıyıcı sisteme yalnızca betonarme perde elemanları entegre edilmiş; ilave donatı, çelik eleman ve kapsamlı işçilik gerektiren uygulamalara başvurulmamıştır. Söz konusu yaklaşım, yalnızca perde imalatına yönelik maliyet kalemleri içerdiğinden, toplam uygulama giderlerini minimize etmiş ve maliyet etkinliği açısından, mimari açıdan ve işçilik açısından diğer alternatiflere kıyasla üstünlük sağlamıştır.

Güçlendirme-2 senaryosu kapsamında Y yönünde önerilen perde duvarın bodrum katta mevcut bir mahali bölmesi, yapının mimari işlevselliği ve mekânsal bütünlüğü açısından çeşitli sakıncalar doğurmaktadır. Bu tür bir yerleşim kullanım alanlarının etkinliğini azaltmakta ve yapı mimarisini bozmaktadır.

Güçlendirme-3 senaryosunda ise perde başlıklarında yer alan kolonlarda kesme dayanımının yetersiz olması nedeniyle betonarme mantolama uygulaması kullanılmış ve sonrasında bu kolonların arasına perde imalatı eklenmiştir. Güçlendirme-1 ile hemen hemen aynı deplasmanları sağlasada maliyet açısından üstünlük sağlayamamıştır.

Sonuç olarak, yapı için üç farklı güçlendirme alternatifi önerilmiş olup, uygulama kolaylığı ve maliyet etkinliği açısından en uygun seçeneğin Güçlendirme-1 uygulaması olduğu değerlendirilmiştir. Bu alternatifte yalnızca betonarme perde elemanlarının ilavesi söz konusu olduğundan, ek malzeme, işçilik ve özel uygulama gereksinimleri oluşmamıştır. Ayrıca yapının mevcut durumda sınırlı sayıda deprem perdesine sahip olması da dikkate alındığında, Güçlendirme-1 uygulaması hem rijitlik artışı hem de ekonomik çözüm üretmesi bakımından daha avantajlıdır.

4.4. İkinci Okul Binasından Bilgi Toplanması ve Röleve Çalışması

4.4.1. Yerleşim bilgileri

Yapı, Kırşehir ili Kaman ilçesinde bulunan okul binası olarak hizmet veren betonarme bir binadır. Z+2 Normal kattan oluşmaktadır. Yapım tarihi 2005 yılıdır. İkinci okul binası için yerinde yapılan çalışmalar, kapsamlı bilgi düzeyinde yapılmıştır.

- ✓ **İl/İlçe** : Kırşehir İli Kaman İlçesi
- ✓ **Yapım Yılı** : 2005
- ✓ **Enlem/Boylam** : 39.367832/33.736497
- ✓ **Kullanım Amacı**: Okul

✓ **Kat Adeti** : Zemin+ 2 Normal Kat



Şekil 4.46. Binanın mevcut konumu



Şekil 4.47. Binanın ön ve arka cephe fotoğrafları

4.4.2. Yapısal geometri ve projeleri

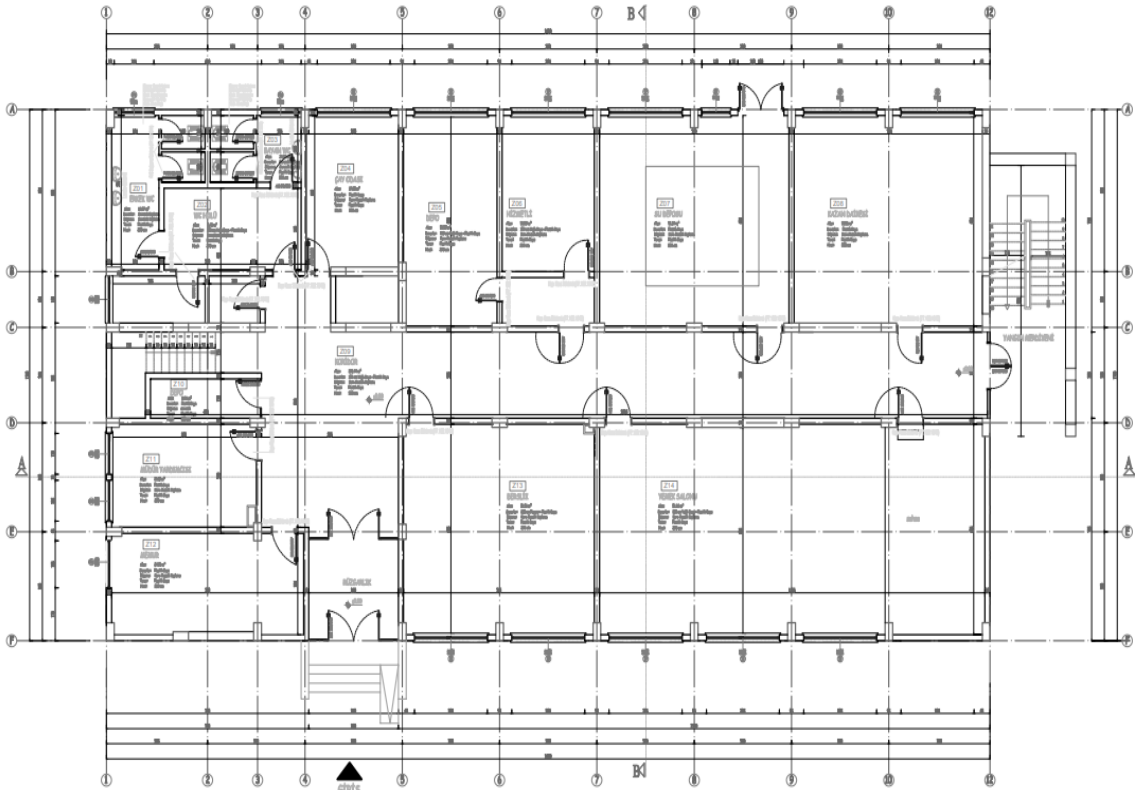
Mevcut yapıya ait mimari ve statik projeler olmadığı için röleveler çıkarılmıştır. Yapı üzerinde yapılan çalışmalarda yapının genel geometrik özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan gözlemler sonucunda yapının dikdörtgen plan görüntüsüne sahip olduğu anlaşılmıştır. Yapı tek bloktan oluşmaktadır. Yapı yaklaşık plan ölçüleri 34.00 m x 17.50 m'dir. Binanın yapısal geometrik özellikleri ilgili bölümlerde verilmiştir.

Tablo 4.58. Yapısal Geometri Tablosu

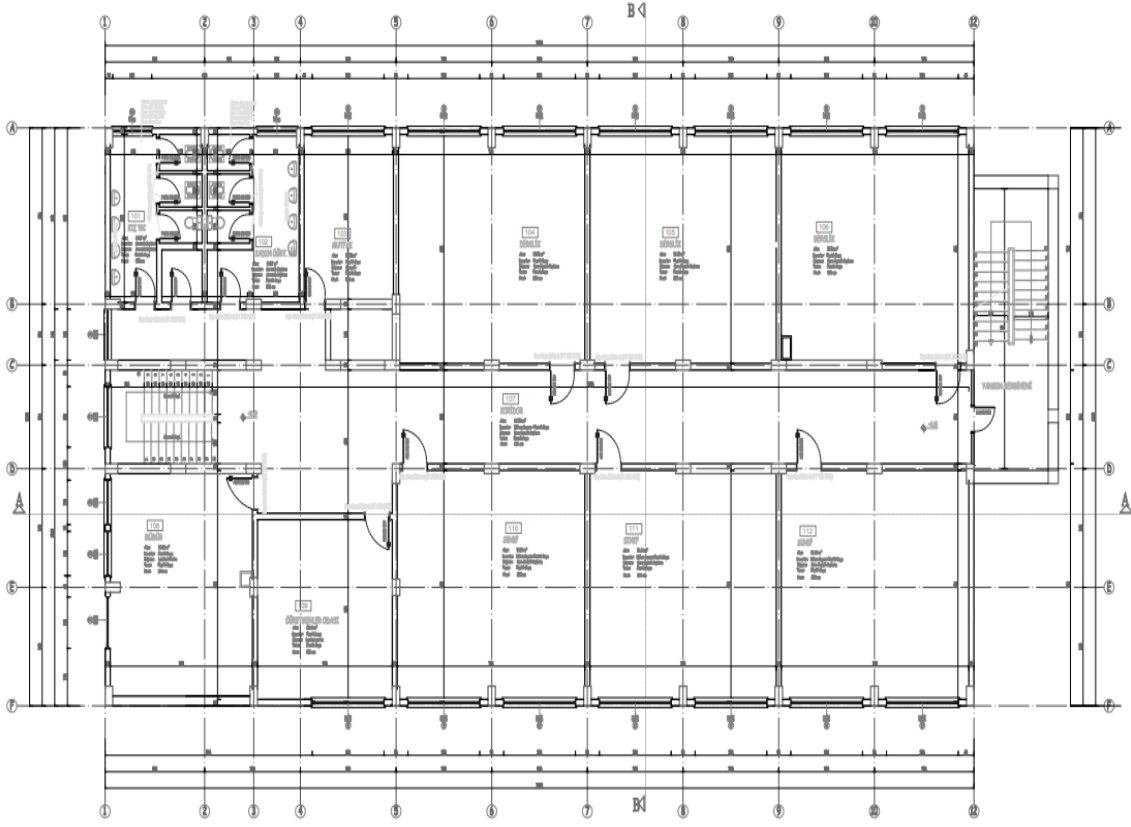
Bina oturma alanı (m ²)	Yaklaşık 638.87 m ²
Geometrik form	Dikdörtgen
Kenar uzunlukları(m)	X yönünde 34.00 m - Y yönünde 17.50 m
Toplam yapı yüksekliği (m)	9.30 m
Kapalı çıkma (konsol)	Yok
Çatı tipi	Ahşap Oturma Çatı
Taşıyıcı sistem	Betonarme Kolon ve Kirişlerle Taşınan Plak

Yapının genelinde kolon kesitleri 30x60 cm, 40x40 cm, 30x50 cm boyutlarda, kiriş ebatları 30x60 cm olarak tespit edilmiştir. Döşemelerin plak kalınlığı 15 cm'dir. Yapının toplam yüksekliği 9.30 m'dir.

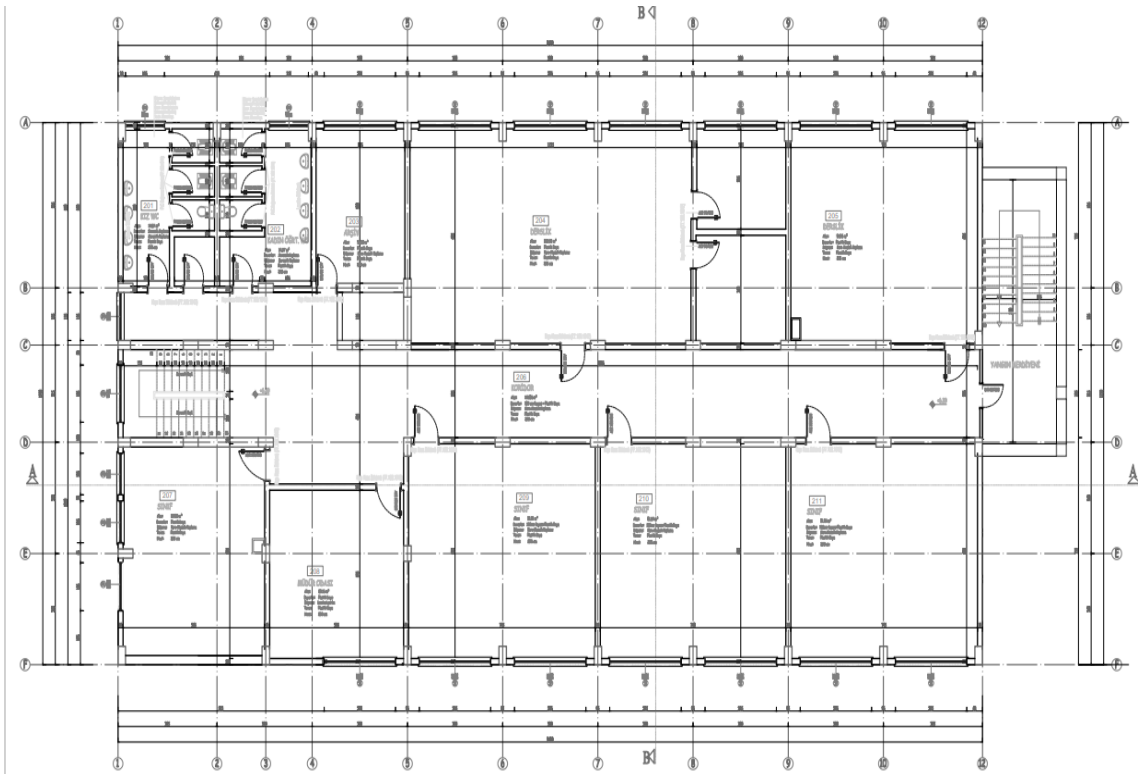
2. okul binası röleve projesi (Z+2N) aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 4.48. Mevcut yapının zemin kat planı



Şekil 4.49. Mevcut yapının 1. kat planı



Şekil 4.50. Mevcut yapının 2. kat planı

4.4.3. Malzeme tespit çalışmaları

Bina geometrisinin, eleman detaylarının ve mevcut malzeme özelliklerinin belirlenmesinde TBDY (2018)'de tanımlanan "Kapsamlı Bilgi Düzeyi" dikkate alınarak yapılmıştır.

4.4.4. Beton dayanımının belirlenmesi

Kapsamlı bilgi düzeyi gereği, toplam 9 adet beton karot örneği alınıp test yapılmıştır. Alınan numuneler laboratuvar ortamında yapılan deneyler ile mevcut beton basınç dayanımları belirlenmiştir.

Tablo 4.59. Karot Sonuçları

Alınan Karot Sayısı	9
Ortalama Test	19 Mpa
Standart Sapma	0,7 Mpa
Tasarım Test Mukavemeti	18,34 Mpa
Kullanılan Beton Mukavemeti (fcm)	18 Mpa

4.4.5. Paspayı sıyırma ve donatı tespiti

Yapılan gözlemlere göre mevcut kolon ve kiriş donatılarının nervürlü (S420) tipi olduğu tespit edilmiştir. Yapısal analizlerde bu tespite uygun olarak düşey donatı akma dayanımı $f_y = 420\text{MPa}$; yatay donatı akma dayanımı $f_y = 420\text{MPa}$ alınmıştır. Yapı güvenliği belirleme çalışmaları yapılan binada betonarme elemanlardaki donatıları belirlemek amacı ile Donatı Taraması (Röntgen Muayenesi) yapılmıştır. Veri almaya müsait betonarme yapı elemanlarında hasarsız donatı taraması (röntgen muayenesi) yapılmıştır. Çalışmalar neticesinde yerinde inceleme yapılan kolonlara ait elde edilen bulgular aşağıdaki gibidir.

Tablo 4.60. Donatı tespiti

Kat	Röntgen No	Yapı Elemanı	Boyut (cm) Yerinde	Donatı Adedi		Düşey Donatı	Yatay Donatı
				Uzun Kenar	Kısa Kenar		
1	R1	D/6 Kolon	30/60	4	3	10Ø16	Ø8/20
1	R2	D/9 Kolon	30/60	4	3	10Ø16	Ø8/20
1	R3	C/7 Kolon	30/60	4	3	10Ø16	Ø8/20
1	R4	D/5 Kolon	30/60	4	3	10Ø16	Ø8/20
1	R5	C/2-3 Perde	30/-	3	-	Ø14/20	Ø8/20
2	R6	C/10 Kolon	30/60	4	3	10Ø16	Ø8/20
2	R7	C/13 Kolon	30/60	4	3	10Ø16	Ø8/20
2	R8	C/8 Kolon	30/60	4	3	10Ø16	Ø8/20
2	R9	D/5 Kolon	30/60	4	3	10Ø16	Ø8/20
3	R10	C/2-3 Perde	30/-	3	-	Ø14/20	Ø8/20
3	R11	D/6 Kolon	30/60	4	3	10Ø16	Ø8/20

Tablo 4.60 (devamı). Donatı tespiti

Kat	Röntgen No	Yapı Elemanı	Boyut (cm) Yerinde	Donatı Adedi		Düşey Donatı	Yatay Donatı
				Uzun Kenar	Kısa Kenar		
3	R12	C/7 Kolon	30/60	4	3	10Ø16	Ø8/20
3	R13	D/9 Kolon	30/60	4	3	10Ø16	Ø8/20

Yapılan çalışmada elde edilen donatı değerleri aşağıdaki tablolarda detaylı olarak gösterilmiştir.

Tablo 4.61. Donatı değerleri

Sıra No	Kat Eleman	Kod	Yapı Elemanı		Düşey Donatı	Yatay Donatı
1	A101	S1	D/6 Aksı	Kolon	Ø16	Ø8
2	A102	S2	D/9 Aksı	Kolon	Ø16	Ø8
3	A103	S3	C/7 Aksı	Kolon	Ø16	Ø8
4	A104	S4	D/5 Aksı	Kolon	Ø16	Ø8
5	A105	S5	C/2-3 Aksı	Perde	Ø14	Ø8
6	A201	S6	C/10 Aksı	Kolon	Ø16	Ø8
7	A202	S7	C/13 Aksı	Kolon	Ø16	Ø8
8	A203	S8	C/8 Aksı	Kolon	Ø16	Ø8
9	A204	S9	D/5 Aksı	Kolon	Ø16	Ø8
10	A301	S10	C/2-3 Aksı	Perde	Ø14	Ø8
11	A302	S11	D/6 Aksı	Kolon	Ø16	Ø8
12	A303	S12	C/7 Aksı	Kolon	Ø16	Ø8
13	A304	S13	D/9 Aksı	Kolon	Ø16	Ø8

Beton Test Çekici Deneyi : Betonun mevcut basınç dayanımının yaklaşık değerini belirlemek amacıyla kullanılan tahribatsız bir yöntem çeşitidir.

Tablo 4.62. Beton test çekici deney raporu

DENEY SONUÇLARI					
Numune Alınan Yapı Elemanı			R (Ortalama)	değeri	Ortalama Basınç Dayanımı (N/mm ²)
No	Blok Kat	Vuruş Açısı			
1	Zemin Kat	>	32		19.9
2	Zemin Kat	>	33		20.59
3	Zemin Kat	>	33		20.59
4	1. Kat	>	32		19.9
5	1. Kat	>	36		24.71
6	1. Kat	>	33		20.59
7	2. Kat	>	34		21.96
8	2. Kat	>	32		19.9
9	2. Kat	>	33		20.59

4.4.6. Temel çukuru

Yapıdan 2 adet muayene çukuru kazılmış ve ölçülmüştür.

4.4.7. Zemin incelemesi

Zemin çalışması da daha önce yaptırılmış olup deprem performans analizi için

gerekli zemin sınıfı ve taşıma gücü gibi değerler gerekli hesaplamalarda kullanılmıştır.

Tablo 4.63. Zemin değerleri

Yerel Zemin Sınıfı	ZB
Bina Kullanım Sınıfı	1
Temel Yatak Katsayısı	2396 ton/m ³
Zemin Emniyetli Taşıma Gücü	4.28 kg/cm ²

4.4.8. Deprem parametreleri ve deprem performans hedefi

4.4.8.1. Deprem parametreleri

Kırşehir ili Kaman ilçesinde bulunan okul binası olarak hizmet veren betonarme bir binadır. Z+2 Normal kattan oluşmaktadır. Yapım yılı 2005 tir. İlk olarak okulun bulunduğu konum, AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritaları uygulamasından bina koordinatları girilerek aşağıda verilen bilgiler elde edilmiştir (AFAD, 2025). Bu uygulama her bir deprem yer hareket düzeyleri için ayrı ayrı tekrarlanmıştır. **Tablo 3.4** de Mevcut Yerde Dökme Betonarme Binalar (Yüksek Binalar dışında $BYS \geq 2$) için performans hedefleri belirlenmiştir

Statik ve mimari projeleri bulunmadığı için bina röleveleri çizilerek tüm betonarme elemanların her kattaki yerini ve malzemesini, eksen açıklıklarını, yüksekliklerini ve boyutlarını içeren binanın hesap modeli oluşturulmuştur. Temel sistemi de bina içinde açılan inceleme çukuru ile belirlenmiştir. Tüm bu veriler STA4CAD e işlenerek hedeflenen performansı sağlayıp sağlamadığına bakılmıştır.

4.4.8.2. Afad deprem tehlike haritası

Zemin çalışması kapsamında 2. okul binasının bulunduğu yerde zemin sınıfının ZB olduğu belirlenmiştir. Zemin sınıfı dikkate alınarak AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritası Kullanılmış ve yapıya ait

S_s : Kısa Periyot Harita Spektral İvme katsayısı (boyutsuz)

S_1 : 1.0 Saniye Periyot İçin Harita Spektral İvme Katsayısı (boyutsuz)

S_{DS} : Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (boyutsuz)

S_{D1} : 1.0 Saniye Periyot İçin Tasarım Spektral İvme Katsayısı (boyutsuz)

PGA : En Büyük Yer İvmesi (g)

PGV : En Büyük Yer Hızı (cm/sn)

değerleri elde edilmiştir.

Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması

Kullanıcı Girdileri

Rapor Başlığı:	2. Okul	
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD-2	50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
Yerel Zemin Sınıfı:	ZB	Az ayrılmış, orta sağlam kayalar
Enlem:	39.367832°	
Boylam	33.736497°	

Çıktılar

$S_s = 0.394$ $S_1 = 0.107$ $PGA = 0.171$ $PGV = 9.691$

Şekil 4.51. Mevcut yapının AFAD verileri (<https://tdth.afad.gov.tr>)

Yerel Zemin Sınıfları

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

Şekil 4.52. Yapının yerel zemin sınıfları (<https://tdth.afad.gov.tr>)

Yerel Zemin Etki Katsayıları

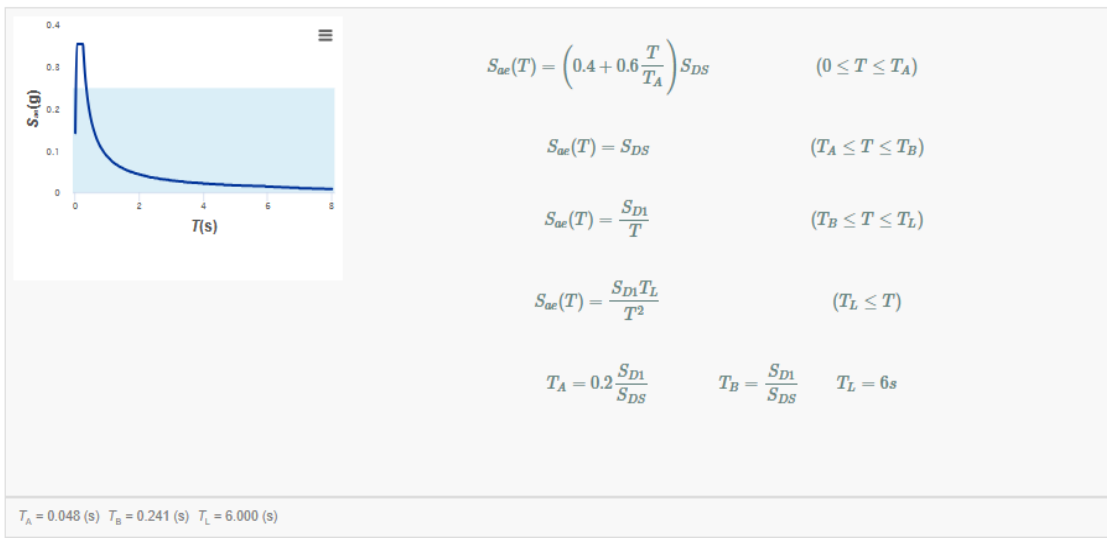
Yerel Zemin Sınıfı:	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_S					
	$S_S \leq 0.25$	$S_S = 0.50$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.00$	$S_S = 1.25$	$S_S \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

Yerel Zemin Sınıfı:	1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_1					
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \geq 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

Şekil 4.53. Yapının yerel zemin etki katsayıları (<https://tdth.afad.gov.tr>)

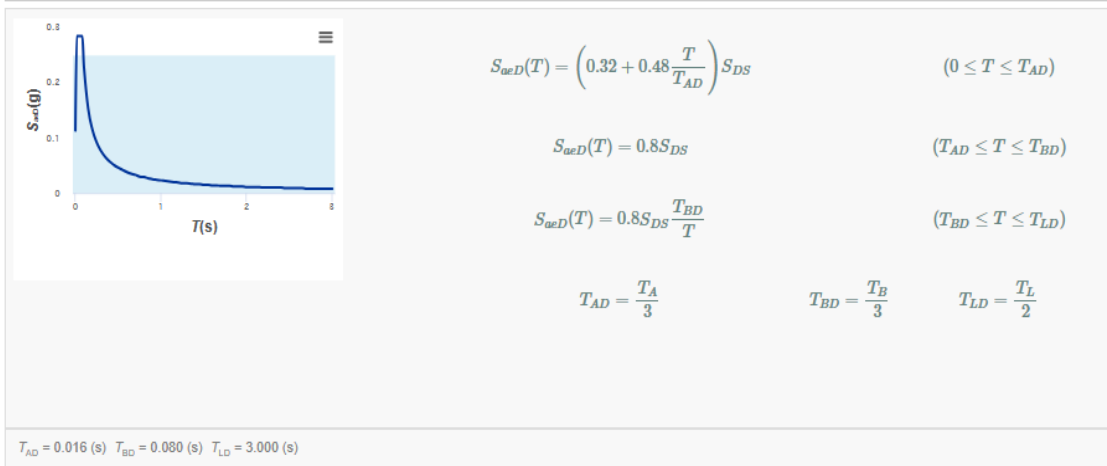
- Yerel Zemin Sınıfı: ZB ve $S_S = 0.394$ için $F_S = 0.900$ (F_S : Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı)
- Yerel Zemin Sınıfı: ZB ve $S_1 = 0.107$ için $F_1 = 0.800$ (F_1 : 1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı)
- $S_{DS} = S_S F_S = 0.394 \times 0.900 = 0.355$ (S_{DS} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz])
- $S_{D1} = S_1 F_1 = 0.107 \times 0.800 = 0.086$ (S_{D1} : 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz])

Yatay Elastik Tasarım Spektrumu



Şekil 4.54. Yatay elastik tasarım spektrumu (<https://tdth.afad.gov.tr>)

Düşey Elastik Tasarım Spektrumu



Şekil 4.55. Düşey elastik tasarım spektrumu (<https://tdth.afad.gov.tr>)

4.4.8.3. Bina kullanım sınıfı

İkinci okul binasının kullanım amacı değerlendirilmiş ve deprem sonrası kullanımı gereken binalar sınıfına girdiği bilinmektedir. TBDY 2018 Tablo 3.1'e göre Bina Kullanım Sınıfı 1 ve bina önem katsayısı 1.5 olarak belirlenmiştir.

4.4.8.4 Deprem tasarım sınıfı

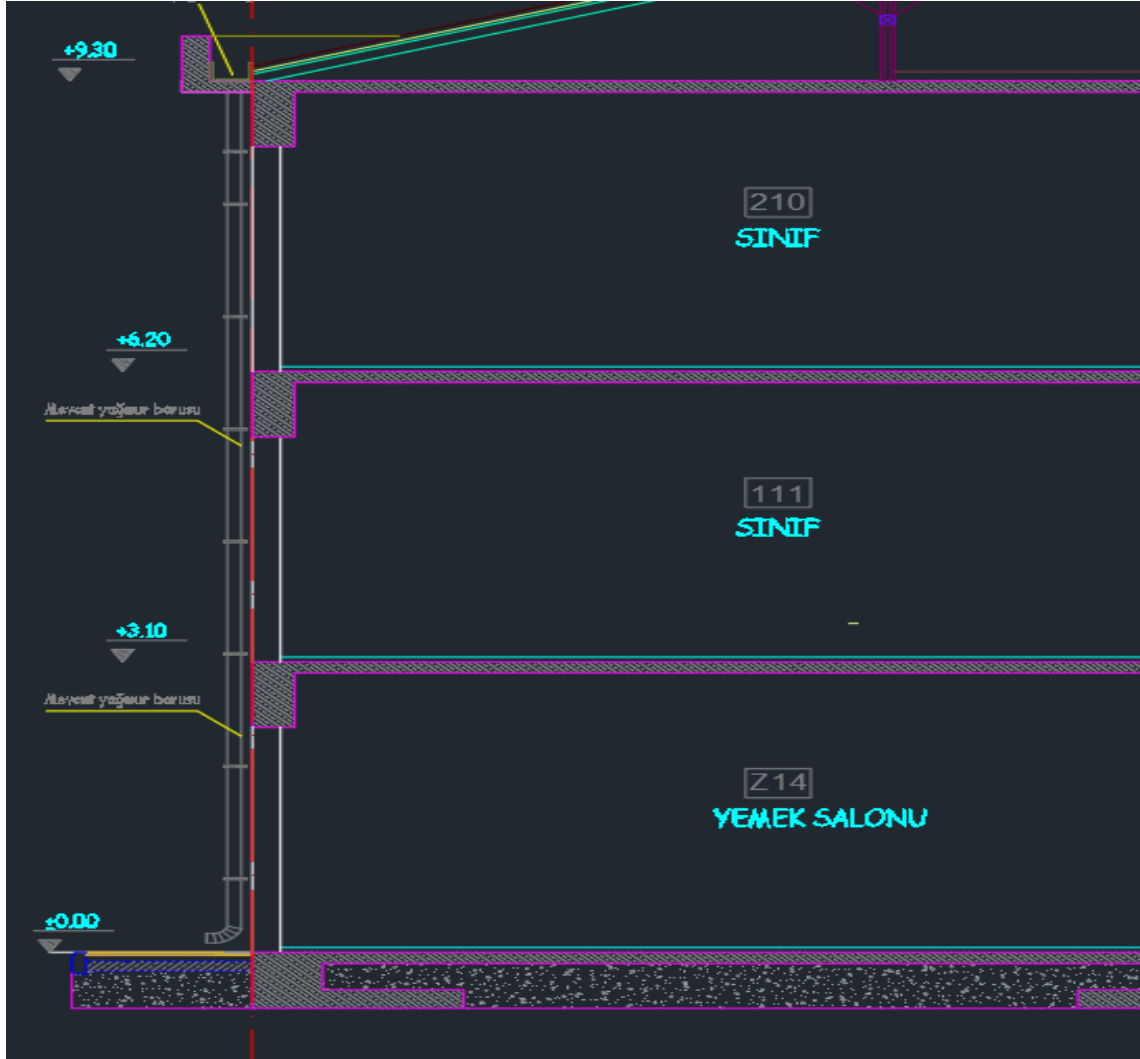
AFAD Sismik Tehlike haritasından alınan değerler sonucunda yapının bulunduğu Kırşehir/Kaman bölgesinin DD-2 deprem hareketi ve ZB zemin sınıfı için

$S_{DS} = S_S \times F_S = 0.394 \times 0.900 = 0.355$ (S_{DS} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]) olarak hesaplanmıştır (AFAD, 2025). Verilen tabloda uygun

değerlere göre DT S seçilmiştir.

TBDY (2018) Tablo 3.2’de verilen değerlere göre yapının deprem tasarım sınıfı (DTS) DD-2 için 3a’dır.

4.4.8.5. Bina yükseklik sınıfı



Şekil 4.56. İkinci okul bina kesiti

Yapı yüksekliğimiz $H_N = 9,30$ m ve $DTS = 3a$ olduğundan TBDY (2018) Tablo 3.3. e göre $BYS = 8$ alınmalıdır.

4.4.8.6. Hareketli yük kütle katılım katsayısı

Hareketli yük kütle katılım katsayısı 0.6 seçilmiştir. Seçilen katsayı hesaplarda kullanılmıştır.

Tablo 4.64. Hareketli Yük Katılım Katsayısı (TBDY, 2018)

Binanın Kullanım Amacı	<i>n</i>
Depo, antrepo, vb.	0.80
Okul, öğrenci yurdu, spor tesisi, sinema, tiyatro, konser salonu, ibadethane, lokanta, mağaza, vb.	0.60
Konut, işyeri, otel, hastane, otopark, vb.	0.30

4.4.8.7. Deprem performans hedefi

Bina performans hedefi TBDY (2018) Tablo 3.4(c)'ye göre belirlenmiştir. Deprem tasarım sınıfı (DTS) 3a olan mevcut yapıların ileri performans hedefini belirlemesi gerektiği belirtilmiştir. Yapının DD-2 deprem hareketi için ileri performans hedefi olarak Kontrollü Hasar (KH) olarak belirlenmiştir.

Mevcut betonarme binalar için TBDY (2018) Tablo 3.4(c) de yer alan kriterler eşliğinde DD-2 deprem yer hareketi düzeyine göre değerlendirme yaklaşımı Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım (ŞGDT) ilkesiyle yaklaşmıştır.

4.4.9. Yapının modellenmesi ve analizi

Mevcut durumdaki 2. okul binası için analiz yapılmış olup, TBDY (2018)'ne göre bina okul binası olarak kullanıldığı için $BKS=1$ ((bina kullanım sınıfı), bina önem katsayısı $I=1.5$ ve $BYS=8$ (bina yükseklik sınıfı) alınmıştır. Deprem Tasarım Sınıfı 3a (DTS=3a) olup, buna istinaden tablo 3.4 (c) e göre DD-2 için kontrollü hasar (KH) performans hedefi sağlanması gerektiği konusunda uyarıda bulunmuştur. Bu raporda DD-2'e göre kontrollü hasar performans hedefi sağlanmamıştır.

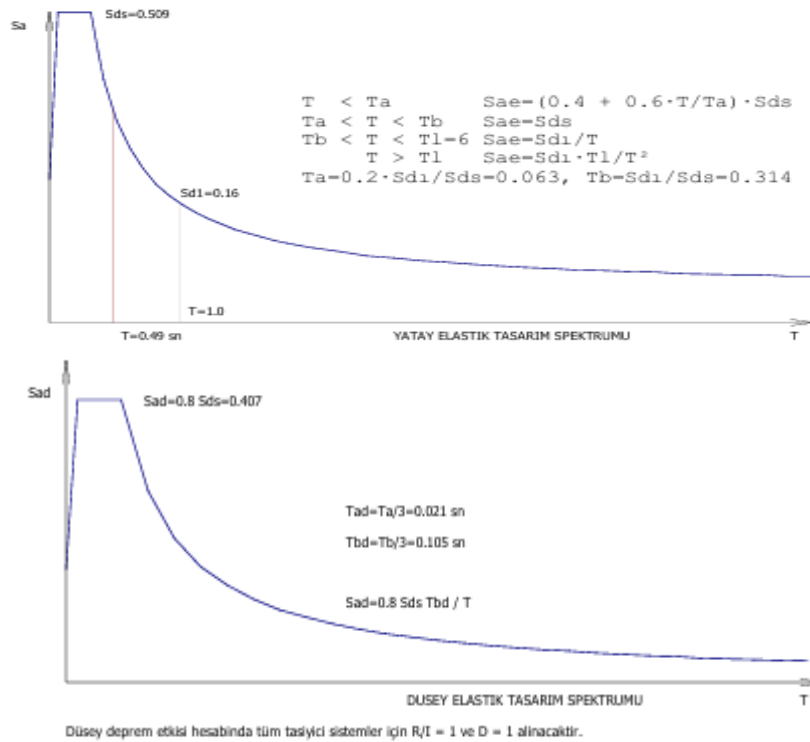
Mevcut bina, STA4-CAD uygulaması ile TBDY (2018) göre tüm veriler girilerek çözümlenmiştir. Etkin kapasite oranı (EKO) değerlerini sağladığı için lineer yöntemlerle analiz yapılmıştır.

Tablo 4.65. Yapı EKO değerleri

Kat	Kiris EKO _x <5	Kiris EKO _y <5	Kolon EKO _x <3	Kolon EKO _y <3	Kir.EKO ≥ Kol.EKO
1	1.903 ✓	3.849 ✓	0.800 ✓	1.488 ✓	✓
2	1.942 ✓	3.514 ✓	0.627 ✓	1.309 ✓	✓

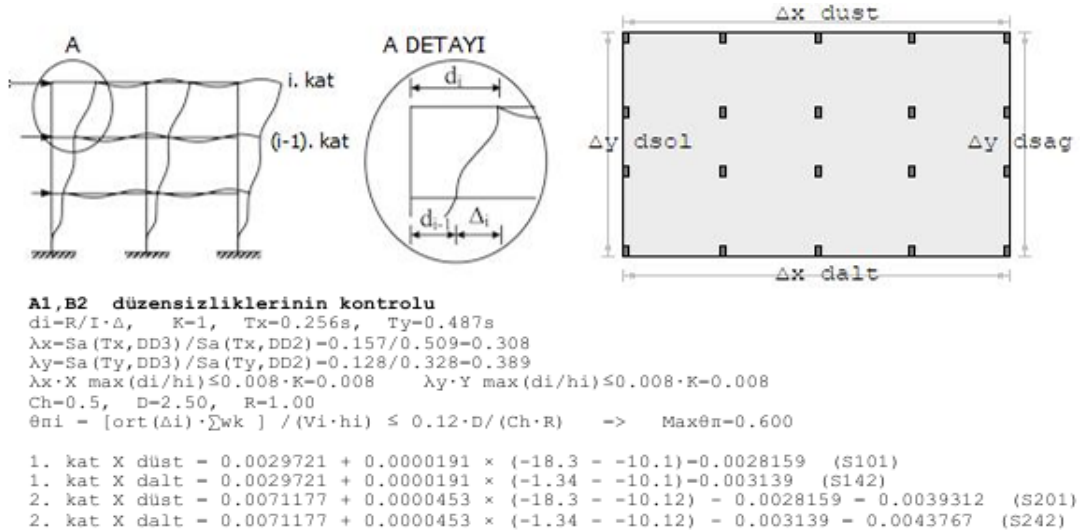
DOĞRUSAL HESAP YÖNTEMİ SINIRLARI SAĞLANMIŞTIR.

4.4.9.1. Mevcut yapının yatay ve düşey elastik spektrumu



Şekil 4.57. Mevcut yapının yatay ve düşey elastik spektrumu

4.4.9.2 Mevcut yapının düzensizlik kontrolü



Şekil 4.58. Düzensizlik kontrolü

Tablo 4.66. Mevcut yapının X yönünde burulma düzensizliği(A1) ve yumuşak kat (B2) düzensizliklerinin kontrolü

X YÖNÜ (+)

Kat	ΔX düst (m)	ΔX dalt (m)	ΔX ort	nbi	nki	$\lambda \cdot R/I \cdot \Delta x/h$	θ_i	kat tipi
3	0.0036952» S301	0.0040249» S342	0.0038601	1.04	0.00	0.00041 ✓	0.00192 ✓	Üst kat
2	0.0039312» S201	0.0043767» S242	0.0041539	1.05	1.08	0.00045 ✓	0.00258 ✓	Normal kat
1	0.0028159» S101	0.0031390» S142	0.0029774	1.05	0.72	0.00032 ✓	0.00233 ✓	Normal kat

Tablo 4.67. Mevcut yapının Y yönünde burulma düzensizliği(A1) ve yumuşak kat (B2) düzensizliklerinin kontrolü (STA4CAD raporları)

Y YÖNÜ (+)

Kat	ΔY üst(m)	ΔY dalt(m)	ΔY ort	nbi	nki	$\lambda \cdot R/I \cdot \Delta y/h$	θ_i	kat tipi
3	0.0051123» S301	0.0074775» S311	0.0062949	1.19	0.00	0.00097 ✓	0.00518 ✓	Üst kat
2	0.0066216» S201	0.0104648» S211	0.0085432	1.22	1.36	0.00136 ✓	0.00877 ✓	Normal kat
1	0.0050988» S101	0.0079401» S111	0.0065194	1.22	0.76	0.00103 ✓	0.00829 ✓	Normal kat

Tablo 4.68. Mevcut yapının (B1) düşey doğrultuda düzensizliklerinin kontrolü(STA4CAD raporları)

Kat	Aw	Agx	Agy	Akx	Aky	ΣAex	ΣAey	ncix	nciy	AÇIKLAMA
3	8.85	4.05	0.42	17.43	13.90	15.51	11.35	1.00	1.00	Üst kat ✓
2	8.85	4.05	0.42	17.68	13.90	15.55	11.35	1.00	1.00	Düzenli ✓
1	8.85	4.05	0.42	0.00	0.00	12.90	9.27	0.83	0.82	Düzenli ✓

4.4.9.3 Mevcut binanın analizleri

Tablo 4.69. Yapı burulma kütle atalet momenti (STA4CAD raporları)

Kat	A (m ²)	Ix (m ⁴)	Iy (m ⁴)	Xg (m)	Yg (m)	Jmass (m ²)
3	628.58	15904.97	68827.78	18.08	-9.93	134.80
2	626.62	15885.53	68272.47	18.06	-9.92	134.30
1	626.62	15885.53	68272.47	18.06	-9.92	134.30

Tablo 4.70. Kat Kütleleri ve rijitlik merkezi (STA4CAD raporları)

Kat (dyf)	H (m)	Wg	Wq	n	R Rx/Ry	D Dx/Dy	Xg (m)	Xr (m)	Yg (m)	Yr (m)	ΣWk
3	9.00	751.24	214.72	0.60	1	2.5	18.05	16.40	-9.88	-10.14	880.074
2	6.00	731.07	209.19	0.60	1	2.5	18.02	16.29	-9.83	-10.12	856.588
1	3.00	712.94	214.31	0.60	1	2.5	18.10	16.50	-9.81	-10.10	841.529

$\Sigma Wt = 2578.191$

Tablo 4.71. Kat deprem deplasmanları (STA4CAD raporları)

Kat (dyf)	9. yükleme		10. yükleme		11. yükleme		12. yükleme	
	δx (m)	θz (rad)	δx (m)	θz (rad)	δy (m)	θz (rad)	δy (m)	θz (rad)
3	0.0109706	0.0000648	0.0109706	0.0000648	-0.020769	-0.000242	-0.020769	-0.000242
2	0.0071177	0.0000453	0.0071177	0.0000453	-0.014609	-0.000179	-0.014609	-0.000179
1	0.0029721	0.0000191	0.0029721	0.0000191	-0.006343	-0.000076	-0.006343	-0.000076

Deprem yapı salınımı: x= 0.00122 y= 0.00231

Tablo 4.72. Kat deprem momenti kontrolü (STA4CAD raporları)

Kat	H (m)	Fx	Fx . H	H (m)	Fy	Fy . H
3	9.00	590.87	5317.80	9.00	357.19	3214.72
2	6.00	342.77	2056.61	6.00	207.86	1247.16
1	3.00	167.15	501.46	3.00	112.48	337.45
		1100.79	7875.87		677.53	4799.33

Tablo 4.73. Yapı devrilme kontrolü (STA4CAD raporları)

Kat	$Wg+0.6 \cdot Wq$	$Xg-X$	$(Xg-X) \cdot (Wg+0.6 \cdot Wq)$	$Yg-Y$	$(Yg-Y) \cdot (Wg+0.6 \cdot Wq)$
3	880.07	17.906	15758.17	8.413	7404.43
2	856.59	17.867	15304.72	8.468	7253.39
1	841.53	17.955	15109.46	8.487	7142.10
			46172.35		21799.92

X yönü devrilme kontrolü= $46172.349/7875.866-5.863 > 1.5$ ✓

Y yönü devrilme kontrolü= $21799.921/4799.331-4.542 > 1.5$ ✓

Tablo 4.74. Kolon ve kiriş kesme kuvveti dağılımı

KAT NO	(-X)				(+X)				(-Y)				(+Y)			
	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB
3	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
2	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
1	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	96.6	3.4	0.0	0.0	96.6	3.4	0.0	0.0
Max.	100.									3.4						

X yönü giriş sayısı=37,40,37

Y yönü giriş sayısı=52,52,51

KOLON KESME KUVVETİ DAĞILIMI

KAT NO	(-X)				(+X)				(-Y)				(+Y)			
	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB
3	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	95.4	4.6	0.0	0.0	95.4	4.6	0.0	0.0
2	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	96.0	4.0	0.0	0.0	96.0	4.0	0.0	0.0
1	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	74.6	25.4	0.0	0.0	74.6	25.4	0.0	0.0
Max.	100.									25.4						

4.4.9.5. Mevcut yapının hasar durumları

STA4-CAD YETERSİZ ELEMAN LİSTESİ				<input checked="" type="checkbox"/> Auto Zoom	<input type="checkbox"/> X
■ S102	■ S140	■ S226	■ S306		
■ S103	■ S141	■ S227	■ S307		
■ S104	■ S143	■ S231	■ S308		
■ S105	■ S144	■ S232	■ S309		
■ S106	■ S145	■ S233	■ S312		
■ S107	■ S146	■ S236	■ S316		
■ S108	■ S147	■ S237	■ S323		
■ S109	■ S148	■ S238	■ S326		
■ S110	■ S149	■ S239	■ S328		
■ S112	■ S202	■ S240	■ S331		
■ S116	■ S203	■ S241	■ S336		
■ S122	■ S204	■ S243	■ S337		
■ S126	■ S205	■ S244	■ S338		
■ S127	■ S206	■ S245	■ S339		
■ S128	■ S207	■ S246	■ S341		
■ S131	■ S208	■ S247	■ S343		
■ S132	■ S209	■ S248	■ S344		
■ S133	■ S212	■ S249	■ S345		
■ S136	■ S213	■ S302	■ S346		
■ S137	■ S221	■ S303	■ S347		
■ S138	■ S222	■ S304	■ S348		
■ S139	■ S223	■ S305	■ S349		
■ KESİTİ YETERSİZ	■ SUNEKLİLİK ALANI YETERSİZ				
■ KUSATILMIŞ KOLON YETERSİZ	■ KESME GÜVENLİĞİ YETERSİZ				
■ ZEMİN GERİLMESİ YETERSİZ	■ ZİMBALAMA YETERSİZ				
■ SEHİM YETERSİZ	■ GÜÇLÜ KOLON YETERSİZ				
■ PERDE DEPREM YUKU TRANSFERİ	■ PLAK YÜKSEKLİĞİ YETERSİZ				
GÜÇLENDİRME PROJESİ : MEVCUT KOLON DONATILARINA GÖRE KONTROL EDİLMİŞTİR.					

Şekil 4.59. Yetersiz eleman listesi (STA4CAD verileri)

Tablo 4.75. Güçlendirilmesi gereken gevrek eleman listesi

KOLON	Malz.	Ve (+X)	Ve (-X)	VrX	Ve (+Y)	Ve (-Y)	VrY	Ve < 0.85·Aw·√fck	SN/GV
S345	E2	4.30	4.11	< 19.30	0.27	2.73	< 19.30	4.30 < 66.19 ✓	SN ✓
S346	E2	4.02	4.43	< 19.32	1.57	2.71	< 19.32	4.43 < 66.19 ✓	SN ✓
S347	E2	4.09	4.21	< 19.31	0.40	2.70	< 19.31	4.21 < 66.19 ✓	SN ✓
S348	E2	3.89	4.43	< 19.32	1.06	2.67	< 19.32	4.43 < 66.19 ✓	SN ✓
S349	E2	4.25	4.46	< 19.31	0.40	2.67	< 19.31	4.46 < 66.19 ✓	SN ✓
S350	E2	1.35	3.16	< 19.26	1.02	2.63	< 19.26	3.16 < 66.19 ✓	SN ✓
P1096	E2	45.36	45.36	< 83.11	6.48	6.48	< 78.25	45.36 < 242.70 ✓	SN ✓
P1097	E2	145.97	145.97	> 136.00	7.24	7.24	< 129.37	145.97 < 397.15 ✓	GV ✗
P1098	E2	27.87	27.87	< 83.11	4.79	4.79	< 78.25	27.87 < 242.70 ✓	SN ✓
P1099	E2	236.06	236.06	> 166.22	14.46	14.46	< 157.82	236.06 < 485.40 ✓	GV ✗
P1100	E2	148.88	148.88	> 136.00	7.37	7.37	< 129.37	148.88 < 397.15 ✓	GV ✗
P1101	E2	242.14	242.14	> 166.22	13.96	13.96	< 156.49	242.14 < 485.40 ✓	GV ✗
P1102	E2	3.06	3.06	< 82.47	119.78	119.78	> 86.89	119.78 < 253.73 ✓	GV ✗
P2096	E2	40.95	40.95	< 83.11	5.54	5.54	< 78.25	40.95 < 242.70 ✓	SN ✓
P2097	E2	122.06	122.06	< 136.00	3.51	3.51	< 129.37	122.06 < 397.15 ✓	SN ✓
P2098	E2	27.71	27.71	< 83.11	3.89	3.89	< 78.25	27.71 < 242.70 ✓	SN ✓
P2099	E2	188.56	188.56	> 166.22	9.37	9.37	< 157.82	188.56 < 485.40 ✓	GV ✗
P2100	E2	123.32	123.32	< 136.00	3.90	3.90	< 129.37	123.32 < 397.15 ✓	SN ✓
P2101	E2	194.61	194.61	> 166.22	9.08	9.08	< 156.49	194.61 < 485.40 ✓	GV ✗
P2102	E2	2.29	2.29	< 82.47	114.55	114.55	> 86.89	114.55 < 253.73 ✓	GV ✗
P3096	E2	24.92	24.92	< 83.11	3.13	3.13	< 78.25	24.92 < 242.70 ✓	SN ✓
P3097	E2	68.19	68.19	< 136.00	2.86	2.86	< 129.37	68.19 < 397.15 ✓	SN ✓
P3098	E2	19.41	19.41	< 83.11	1.74	1.74	< 78.25	19.41 < 242.70 ✓	SN ✓
P3099	E2	98.25	98.25	< 166.22	7.89	7.89	< 157.82	98.25 < 485.40 ✓	SN ✓
P3100	E2	67.21	67.21	< 136.00	3.45	3.45	< 129.37	67.21 < 397.15 ✓	SN ✓
P3101	E2	101.23	101.23	< 166.22	7.74	7.74	< 156.49	101.23 < 485.40 ✓	SN ✓
P3102	E2	1.47	1.47	< 82.47	51.73	51.73	< 86.89	51.73 < 253.73 ✓	SN ✓

8 adet gevrek eleman bulunmuştur.

Bu analiz sonucunda yapımızda güçlü kolon ve kuşatılmış kolon yetersizliği tespit edilmiştir. 8 betonarme perdede gevrek eleman bulunmuştur. Mevcut yapının istenilen deprem performansına uygun duruma getirilmesi için güçlendirme yöntemleri incelenmiştir.

4.4.10. İkinci Okul Binası Güçlendirme Önerisi

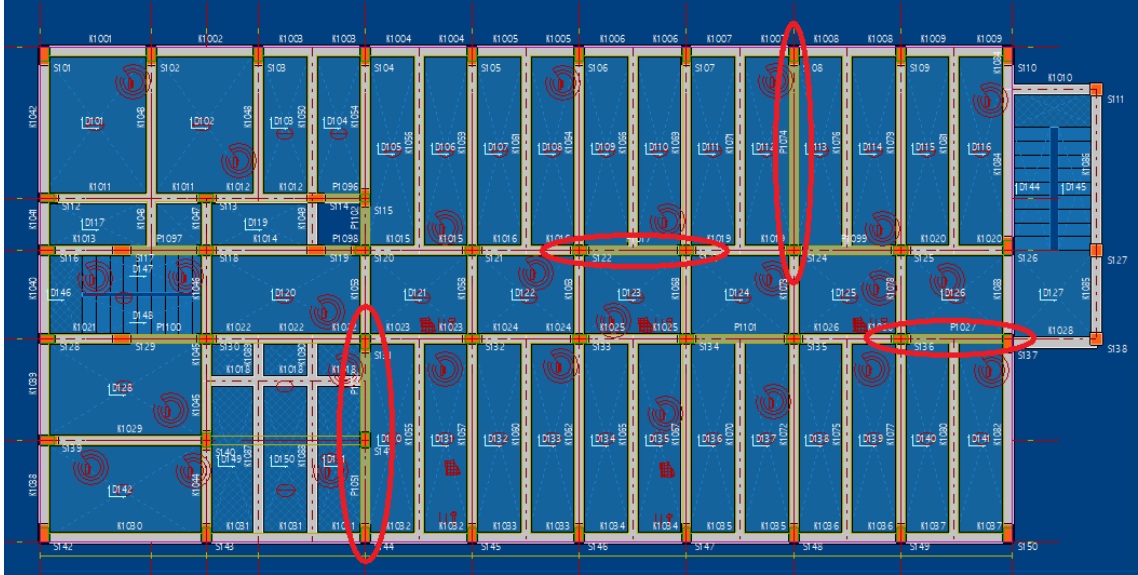
Bu bölümde mevcut okul binası 3 farklı güçlendirme yöntemiyle ele alınarak değerlendirme yapılmıştır.

4.4.10.1. Yapıya güçlendirme perdesi eklenmesi ve performans analiz sonuçları

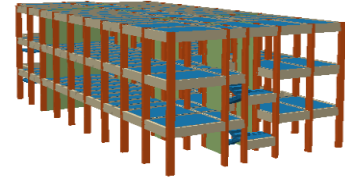
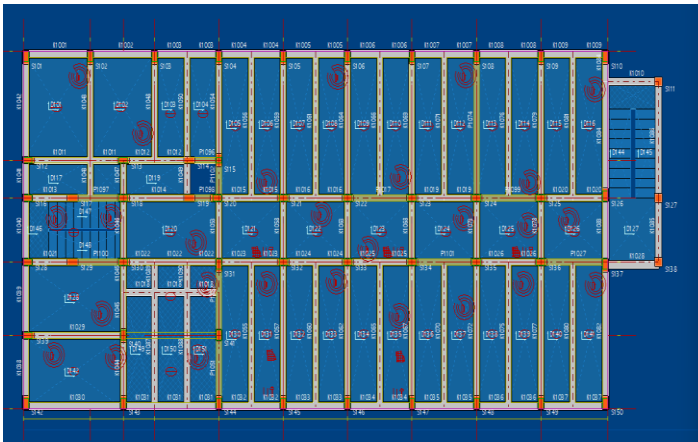
Yapıya betonarme perde ilavesi yapılarak güçlendirme yapılmış ve bu öneriye “Güçlendirme-1” adı verilerek analiz yapılmıştır.

Yapıya sonradan eklenen perde duvarlar, taşıyıcı sistemin deprem karşısındaki kapasitesini artırmakta ve yanal ötelenmeleri sınırlamaktadır. Bu perdelerin mevcut sistemle bütünleşik çalışabilmesi için, katlar arası donatı sürekliliği sağlanmış ve elastisite modülü yüksek malzemelerden kaçınılmıştır. Aksi takdirde malzemeler arası uyumsuzluk nedeniyle yük aktarımı engellenebilir ve gevrek kırılmalar oluşabilir. Perdeler tüm katlarda süreklilik gösterecek şekilde dış akslara ve iki kolon arasına yerleştirilerek hem mimari uyum hem de çerçeve davranışı gözetilmiştir.

2. okul binası için yapılan performans analizi sonucunda yapının gerekli performansa ulaşabilmesi için X yönünde 2 adet ve Y yönünde 3 adet güçlendirme perdesi eklenmiştir.



Şekil 4.60. Güçlendirme perdelerinin geleceği kısımlar (STA4CAD verileri)



Şekil 4.61. Güçlendirme-1 sonrası analiz (STA4CAD verileri)

Tablo 4.76. Güçlendirme-1 sonrası yapının X yönünde burulma düzensizliği(A1) ve yumuşak kat (B2) düzensizliklerinin kontrolü

Kat	ΔX üst(m)	ΔX alt(m)	ΔX ort	nbi	nki	$\lambda \cdot R / I \cdot \Delta x / h$	θ_1	kat tipi		
3	0.0004807»	S301	0.0005424»	S342	0.0005116	1.06	0.00	0.00020 ✓	0.00137 ✓	Üst kat
2	0.0005121»	S201	0.0005647»	S242	0.0005384	1.05	1.05	0.00021 ✓	0.00182 ✓	Normal kat
1	0.0003654»	S101	0.0003904»	S142	0.0003779	1.03	0.70	0.00014 ✓	0.00161 ✓	Normal kat

Tablo 4.77. Güçlendirme-1 sonrası yapının Y yönünde burulma düzensizliği(A1) ve yumuşak kat (B2) düzensizliklerinin kontrolü (STA4CAD raporları)

Kat	ΔY düst (m)	ΔY dalt (m)	ΔY ort	nbi	nki	$\lambda \cdot R/I \cdot \Delta y/h$	θ_i	kat tipi
3	0.0005655» S301	0.0002875» S311	0.0004265	1.33	0.00	0.00021 ✓	0.00117 ✓	Üst kat
2	0.0006867» S201	0.0002948» S211	0.0004907	1.40	1.15	0.00025 ✓	0.00167 ✓	Normal kat
1	0.0005503» S101	0.0002097» S111	0.0003800	1.45	0.77	0.00020 ✓	0.00161 ✓	Normal kat

Tablo 4.78. Güçlendirme-1 sonrası yapının (B1) düşey doğrultuda düzensizliklerinin kontrolü (STA4CAD raporları)

Kat	Aw	Aqx	Agy	Akx	Aky	Σ Aex	Σ Aey	ncix	nciy	AÇIKLAMA
3	8.85	6.02	4.05	17.68	13.90	17.52	14.99	1.00	1.00	Üst kat ✓
2	8.85	6.02	4.05	17.68	13.90	17.52	14.99	1.00	1.00	Düzenli ✓
1	8.85	6.02	4.05	0.00	0.00	14.87	12.90	0.85	0.86	Düzenli ✓

Tablo 4.79. Güçlendirme-1 sonrası yapının burulma kütle atalet momenti (STA4CAD raporları)

Kat	A (m ²)	Ix (m ⁴)	Iy (m ⁴)	Xg (m)	Yg (m)	Jmass (m ²)
3	628.58	15904.97	68827.78	18.08	-9.93	134.80
2	626.62	15885.53	68272.47	18.06	-9.92	134.30
1	626.62	15885.53	68272.47	18.06	-9.92	134.30

Tablo 4.80. Güçlendirme-1 sonrası yapının kat kütlesi ve rijitlik merkezi (STA4CAD raporları)

Kat (dyf)	H (m)	Wg	Wq	n	R Rx/Ry	D Dx/Dy	Xg (m)	Xr (m)	Yg (m)	Yr (m)	Σ Wk
3	9.00	787.18	215.76	0.60	4	2.5	18.24	19.87	-9.89	-10.40	916.643
2	6.00	766.28	211.42	0.60	4	2.5	18.25	20.08	-9.84	-10.20	893.131
1	3.00	749.13	215.42	0.60	4	2.5	18.29	20.26	-9.82	-10.03	878.383

$\Sigma Wt = 2688.158$

Tablo 4.81. Kat deprem deplasmanları (STA4CAD raporları)

Kat (dyf)	9. yükleme		10. yükleme		11. yükleme		12. yükleme	
	δx (m)	θz (rad)	δx (m)	θz (rad)	δy (m)	θz (rad)	δy (m)	θz (rad)
3	0.0014231	0.0000082	0.0014231	0.0000082	-0.001269	0.0000271	-0.001269	0.0000271
2	0.0009145	0.0000046	0.0009145	0.0000046	-0.000846	0.0000196	-0.000846	0.0000196
1	0.0003776	0.0000015	0.0003776	0.0000015	-0.000366	0.0000091	-0.000366	0.0000091

Deprem yapı salınımları: x= 0.00016 y= 0.00014

Tablo 4.82. Kat deprem momenti kontrolü (STA4CAD raporları)

Kat	H (m)	Fx	Fx . H	H (m)	Fy	Fy . H
3	9.00	114.46	1030.18	9.00	111.45	1003.07
2	6.00	65.19	391.15	6.00	66.91	401.46
1	3.00	32.17	96.51	3.00	33.47	100.40
		211.83	1517.84		211.83	1504.92

Tablo 4.83. Yapı devrilme kontrolü (STA4CAD raporları)

Kat düzeyi yük momenti (tm) X=0.149m Y=-18.297m moment noktası					
Kat	Wg+0.6·Wq	Xg-X	(Xg-X) · (Wg+0.6·Wq)	Yg-Y	(Yg-Y) · (Wg+0.6·Wq)
3	916.64	18.087	16579.64	8.408	7707.45
2	893.13	18.097	16162.90	8.454	7550.24
1	878.38	18.141	15934.81	8.479	7448.02
			48677.36		22705.70

X yönü devrilme kontrolü=48677.361/1517.845=32.07 > 1.5 ✓
Y yönü devrilme kontrolü=22705.705/1504.92=15.088 > 1.5 ✓

Tablo 4.84. Kolon ve kiriş kesme kuvveti dağılımı ve bina performansı**KOLON KESME KUVVETİ DAĞILIMI**

KAT NO	(-X)				(+X)				(-Y)				(+Y)			
	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB
3	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
2	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
1	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
Max.	100.															

KİRİŞ HASAR YÜZDELERİ

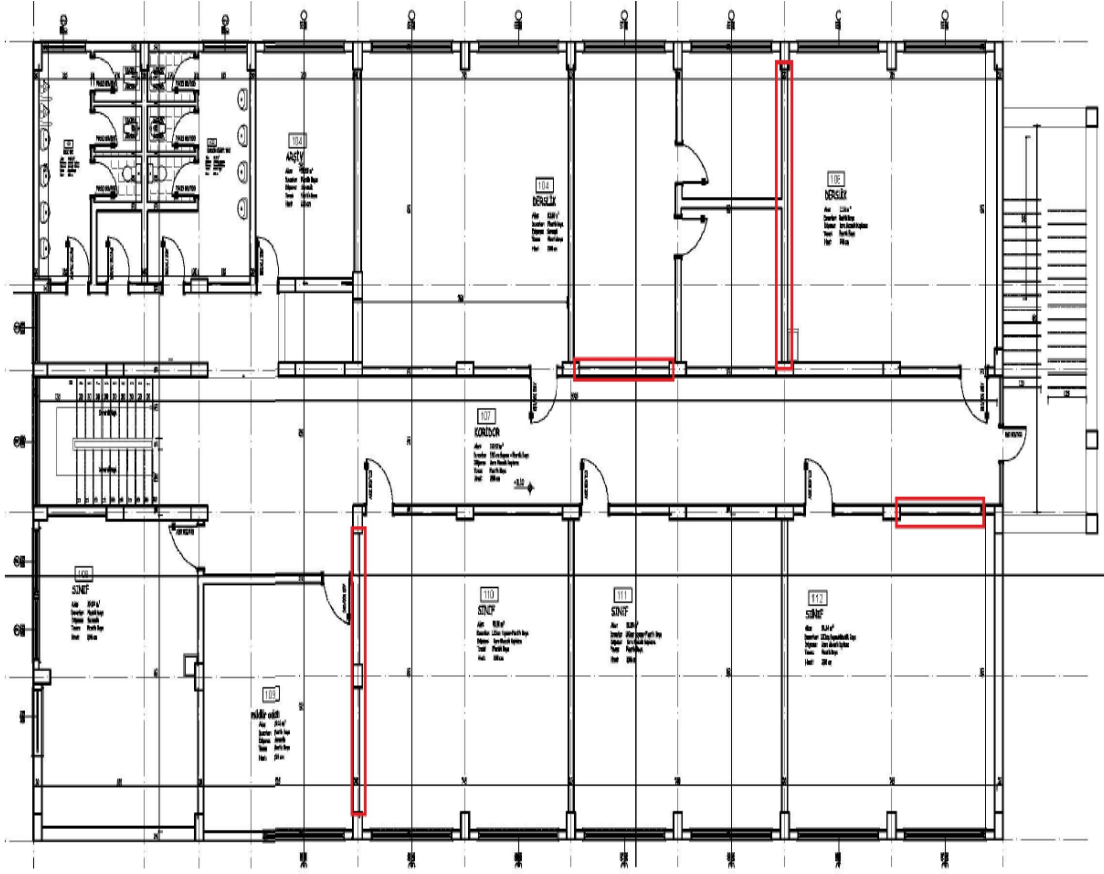
KAT NO	(-X)				(+X)				(-Y)				(+Y)			
	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB
3	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
2	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
1	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
Max.	100.															

X yönü kiriş sayısı=35,39,37
Y yönü kiriş sayısı=50,51,50

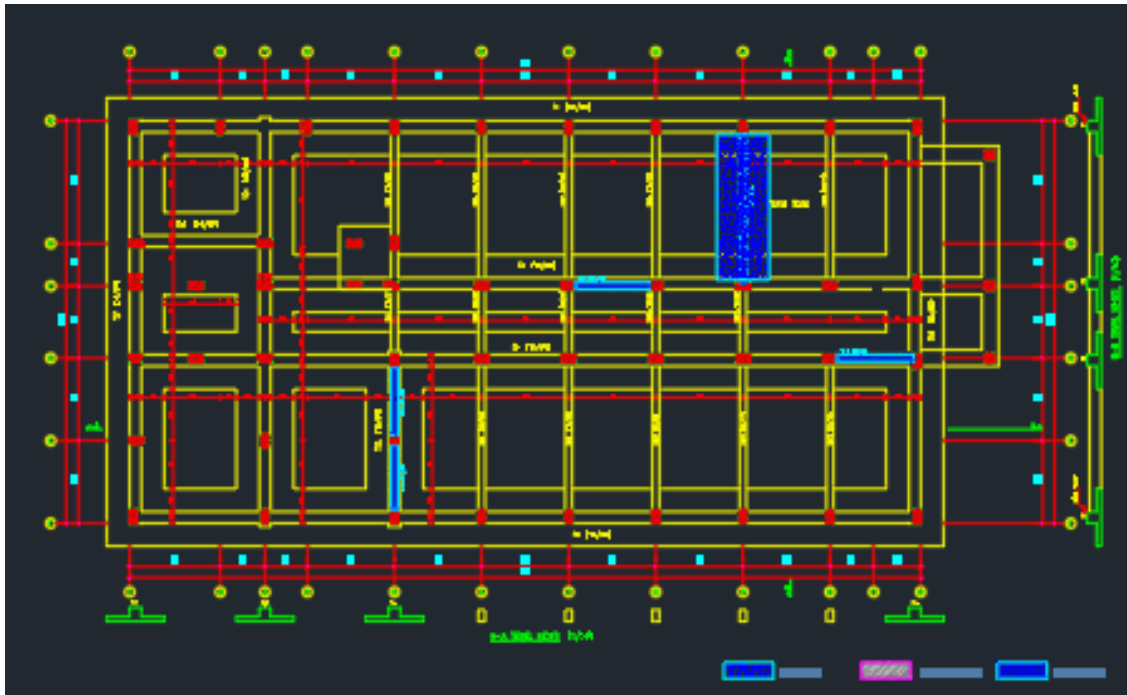
DD2 YER HAREKETİ DÜZEYİNDE, BINA PERFORMANS SONUCU:

Kiriş Belirgin Hasar oranı=0.0≤20 Sınırlı Hasar ✓

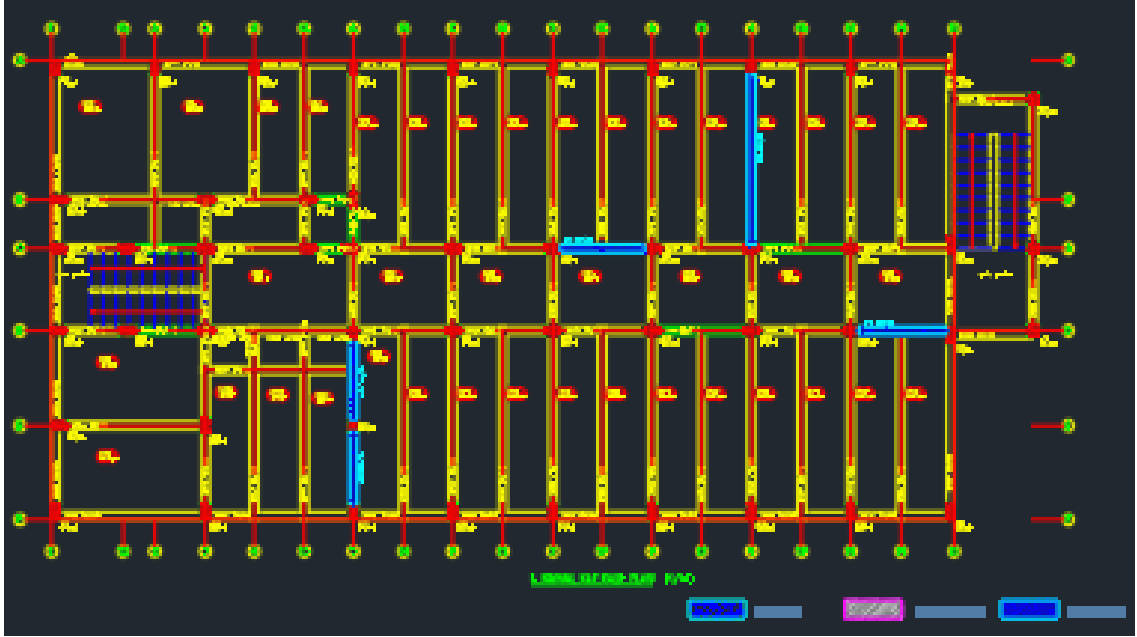
Güçlendirmede belirtilen yerlere X yönünde 2 adet ve Y yönünde 3 adet betonarme perde ilavesi yapılarak çözüm sunulmuştur. Yapılan performans analizi sonucunda gevrek eleman kalmadığı ve binadan istenen performans düzeyini sağladığı ortaya çıkmıştır. Güçlendirme yapılırken kütle ve rijitlik merkezimizin birbirine yakınlığına önem gösterilerek güçlendirme yapılmıştır. Güçlendirme perdesi detayları aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.62. Güçlendirme perdesi gelen kısımlar kat planı



Şekil 4.63. Temel kesiti



Şekil 4.64. Güçlendirilmiş durum kat planları

Yukarıdaki resimde belirtilen yerlere perde ilavesi yapılarak çözüm sunulmuş ve binadan istenen performans düzeyini güçlendirme sonunda sağlamıştır. DD-2 yer hareketi düzeyine göre son olarak bina performans sonucu alınmış olup aşağıda gösterilmiştir.

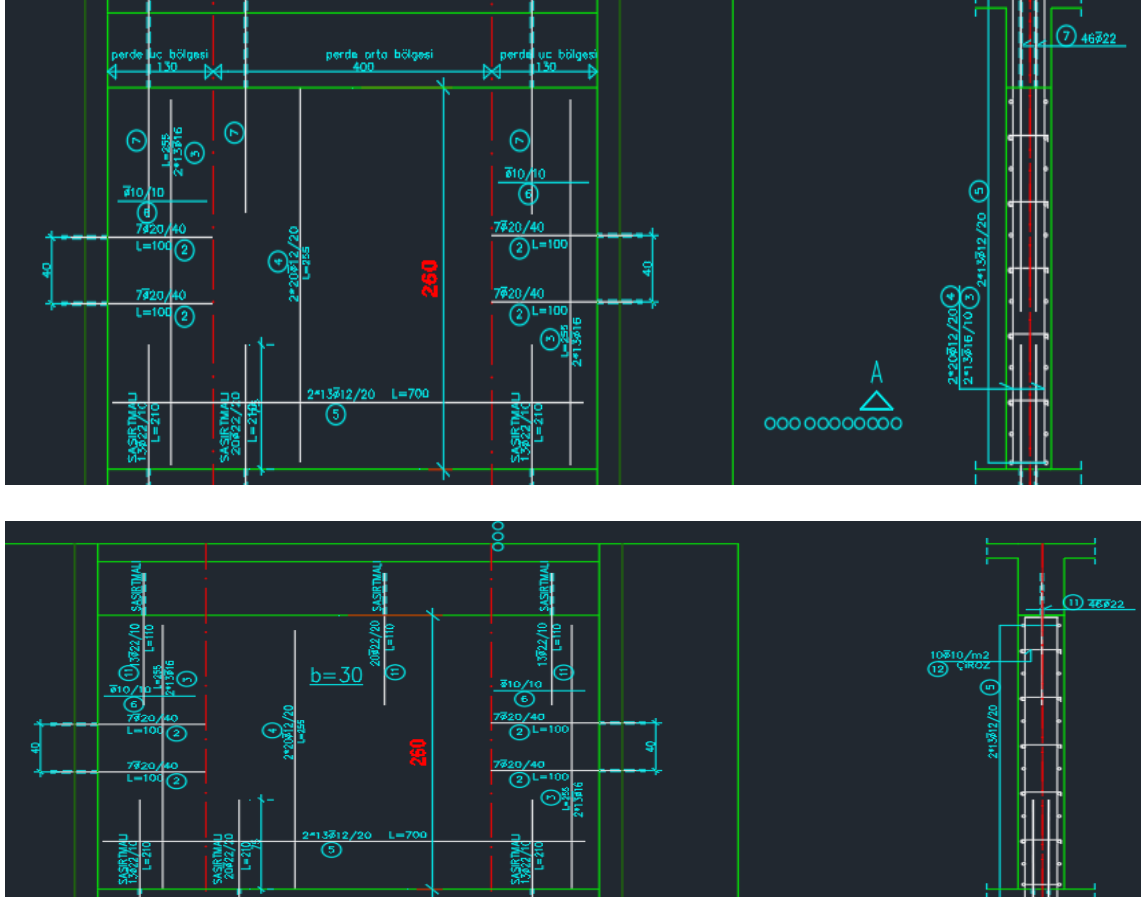
KAT NO	(-X)		(X)		(-Y)		(Y)	
	SH+BH	IH+GB	SH+BH	IH+GB	SH+BH	IH+GB	SH+BH	IH+GB
2	100.	0.0	100.	0.0	100.	0.0	100.	0.0
1	100.	0.0	100.	0.0	100.	0.0	100.	0.0
Max.	100.							

DD2 YER HAREKETİ DÜZEYİNDE, BINA PERFORMANS SONUCU:

Kesintisiz kullanım, Kontrollü Hasar performansı sağlanmıştır ✓
 Kiriş Belirgin Hasar oranı= $\%0.0 \leq \%20$ Kesintisiz kullanım ✓
 Kontrollü hasar bölgesi yeterlilik kontrolü:
 Kiriş Hasar oranı=(IH= $\%0.0 \leq \%35$ ✓), (GB= $\%0$ ✓)
 Kolon Hasar oranı=(IH= $\%0.0 \leq \%20$ ✓), (GB= $\%0$ ✓)
 Üst kat Vc oranı=(IH= $\%0.0 \leq \%40$ ✓), (GB= $\%0$ ✓)
 Plastiklenen kolon Vc oranı=(IH+GB= $\%0.0 \leq \%30$ ✓)

Şekil 4.65. Eklenen yapı elemanları sonucunda bina performans sonucu (STA4CAD verileri)

Yapının sismik etkiler karşısında zayıflıklarının giderilmesi amacı ile X ve Y yönünde yeteri kadar perde ilave edilerek sistem güçlendirilmesi yapılmıştır. Yapıda hem dayanım hem de yatay rijitlik yetersizliği tespit edildiğinden eleman güçlendirmesi hem yeterli olmayacaktır hem de ekonomik olmayacaktır. Bundan dolayı yapıda sistem güçlendirmesine gidilmiştir. Yapı sistemine ilave edilecek olan



Şekil 4.67. 1-2. katlar güçlendirme perdesi detayı YP2

4.4.10.2 Güçlendirme-1 fayda maliyet ranları

Yapılan bu çalışmalar sonucunda binası performans analiz aşamasında onarım ile ilgili kısımları dikkate alınarak güçlendirme maliyetleri hesap edilmiş ve fayda maliyet oranı oluşturulmuştur.

Tablo 4.85. Güçlendirme ve onarım maliyeti yaklaşık maliyet icmalı

Sıra No	Tanımı	Tutar
1	Güçlendirme İmalatları	720.241,72 TL
2	Onarım İmalatları	550.069,09 TL
3	Mekanik İmalatlar	25.195,84 TL
4	Elektrik İmalatları	109.562,29 TL
	Genel Toplam	1.405.068,94 TL

Bu oran Güçlendirme/Yapının Yeniden Yapım Maliyeti/ **%10.72** olarak belirlenmiştir.

Yeniden Maliyet Hesabı $1920 \text{ M}^2 * 6.825,00 \text{ TL} = 13.104.000,00 \text{ TL}$

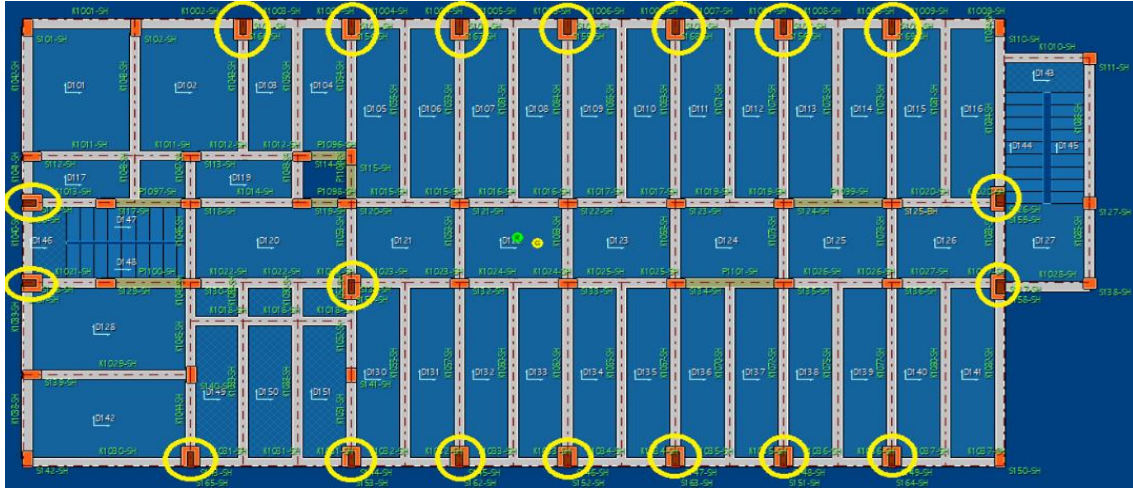
Maliyet hesap özeti aşağıdaki şekilde verilmiştir.

Tablo 4.86. Yapı fayda maliyet değerlendirmesi tablosu

Yapı m ²	1920
Yeniden Yapım Maliyeti	13.104.000,00
Güçlendirme Maliyeti	1.405.068,94
Yapının Maliyeti/Güçlendirme Maliyeti Oranı	10.72%

4.4.10.3. Yapıya kolon kuşatması yapılması ve performans analiz sonuçları

Yapımıza sistem bazında değil de eleman bazında alternatif güçlendirme yapılmıştır. Dış cephede bulunan 18 adet kolona üç tarafından ve 1 adet yapı içerisine denk gelen kolona dört taraftan betonarme manto ilavesi yapılarak güçlendirme yapılmış ve bu öneriye “Güçlendirme-2” adı verilerek analiz yapılmıştır.



Şekil 4.68. Betonarme mantolama yapılan kısımlar (STA4CAD verileri)



Şekil 4.69. Güçlendirme-2 sonrası analiz (STA4CAD verileri)

Tablo 4.87. Güçlendirme sonrası yapının X yönünde burulma düzensizliği(A1) ve yumuşak kat (B2) düzensizliklerinin kontrolü

Kat	ΔX üst (m)	ΔX dalt (m)	ΔX ort	nbi	nki	$\lambda \cdot R / I \cdot \Delta x / h$	θ_i	kat tipi
3	0.0006256» S301	0.0006817» S342	0.0006537	1.04	0.00	0.00030 ✓	0.00199 ✓	Üst kat
2	0.0006609» S201	0.0007225» S242	0.0006917	1.04	1.06	0.00032 ✓	0.00265 ✓	Normal kat
1	0.0004465» S101	0.0004813» S142	0.0004639	1.04	0.67	0.00021 ✓	0.00225 ✓	Normal kat

Tablo 4.88. Güçlendirme sonrası yapının Y yönünde burulma düzensizliği(A1) ve yumuşak kat (B2) düzensizliklerinin kontrolü (STA4CAD raporları)

Kat	ΔY düst (m)	ΔY dalt (m)	ΔY ort	nbi	nki	$\lambda \cdot R/I \cdot \Delta y/h$	θ_i	kat tipi
3	0.0008213» S301	0.0011887» S311	0.0010050	1.18	0.00	0.00062 ✓	0.00530 ✓	Üst kat
2	0.0009378» S201	0.0013150» S211	0.0011264	1.17	1.12	0.00068 ✓	0.00801 ✓	Normal kat
1	0.0006120» S101	0.0007959» S111	0.0007039	1.13	0.62	0.00041 ✓	0.00615 ✓	Normal kat

Tablo 4.89. Güçlendirme sonrası yapının (B1) düşey doğrultuda düzensizliklerinin kontrolü(STA4CAD raporları)

B1-Düşey doğrultudaki düzensizliklerinin kontrolü

Kat	Aw	Agx	Agy	Akx	Aky	ΣA_{ex}	ΣA_{ey}	ncix	nciy	AÇIKLAMA
3	13.64	4.05	0.42	17.43	13.90	20.30	16.14	1.00	1.00	Üst kat ✓
2	13.64	4.05	0.42	17.68	13.90	20.34	16.14	1.00	1.00	Düzenli ✓
1	13.64	4.05	0.42	0.00	0.00	17.69	14.06	0.87	0.87	Düzenli ✓

Ba=Bax+0.3×Bay, Ba=0.3×Bax+Bay :

Kirişlerde, Kolonlarda; (Ba=Bax+0.3×Bay, Ba=0.3×Bax+Bay) düzeltmesi yapılmıştır.

Tablo 4.90. Güçlendirme sonrası yapının burulma kütle atalet momenti (STA4CAD raporları)

Kat	A (m ²)	Ix (m ⁴)	Iy (m ⁴)	Xg (m)	Yg (m)	Jmass (m ²)
3	628.58	15904.97	68827.78	18.08	-9.93	134.80
2	626.62	15885.53	68272.47	18.06	-9.92	134.30
1	626.62	15885.53	68272.47	18.06	-9.92	134.30

Tablo 4.91. Güçlendirme sonrası yapının kat kütlesi ve rijitlik merkezi (STA4CAD raporları)

Kat (dyf)	H (m)	Wg	Wq	n	R Rx/Ry	D Dx/Dy	Xg (m)	Xr (m)	Yg (m)	Yr (m)	ΣW_k
3	9.00	792.71	218.08	0.60	4	2.5	18.06	16.70	-9.87	-10.13	923.562
2	6.00	772.35	212.50	0.60	4	2.5	18.02	16.92	-9.82	-10.10	899.845
1	3.00	754.40	217.66	0.60	4	2.5	18.10	17.39	-9.80	-10.05	884.995

$\Sigma W_k = 2708.402$

Tablo 4.92. Kat deprem deplasmanları (STA4CAD raporları)

Kat (dyf)	9. yükleme		10. yükleme		11. yükleme		12. yükleme	
	δx (m)	θz (rad)	δx (m)	θz (rad)	δy (m)	θz (rad)	δy (m)	θz (rad)
3	0.0018065	0.0000090	0.0018065	0.0000090	-0.002782	-0.000024	-0.002782	-0.000024
2	0.0011540	0.0000057	0.0011540	0.0000057	-0.001801	-0.000015	-0.001801	-0.000015
1	0.0004634	0.0000021	0.0004634	0.0000021	-0.000696	-0.000004	-0.000696	-0.000004

Deprem yapı salınımı: x= 0.00020 y= 0.00031

Tablo 4.93. Kat deprem momenti kontrolü (STA4CAD raporları)

Kat	H (m)	Fx	Fx . H	H (m)	Fy	Fy . H
3	9.00	101.54	913.90	9.00	58.56	527.04
2	6.00	57.23	343.37	6.00	27.15	162.89
1	3.00	27.89	83.67	3.00	17.90	53.69
		186.66	1340.94		103.60	743.61

Tablo 4.94. Yapı devrilme kontrolü (STA4CAD raporları)

Kat düşey yük momenti (tm)		X=-0.149m		Y=-1.343m		moment noktası		
Kat	Wg+0.6·Wq	Xg-X	(Xg-X) · (Wg+0.6·Wq)	Yg-Y	(Yg-Y) · (Wg+0.6·Wq)			
3	923.56	18.206	16814.24	8.532	7879.85			
2	899.85	18.166	16346.26	8.482	7632.23			
1	884.99	18.247	16148.38	8.461	7488.21			
			49308.88				23000.30	

X yönü devrilme kontrolü=49308.88/1340.944=36.772 > 1.5 ✓
Y yönü devrilme kontrolü=23000.3/743.61=30.931 > 1.5 ✓

Tablo 4.95. Kolon ve kiriş kesme kuvveti dağılımı ve bina performansı**KOLON KESME KUVVETİ DAĞILIMI**

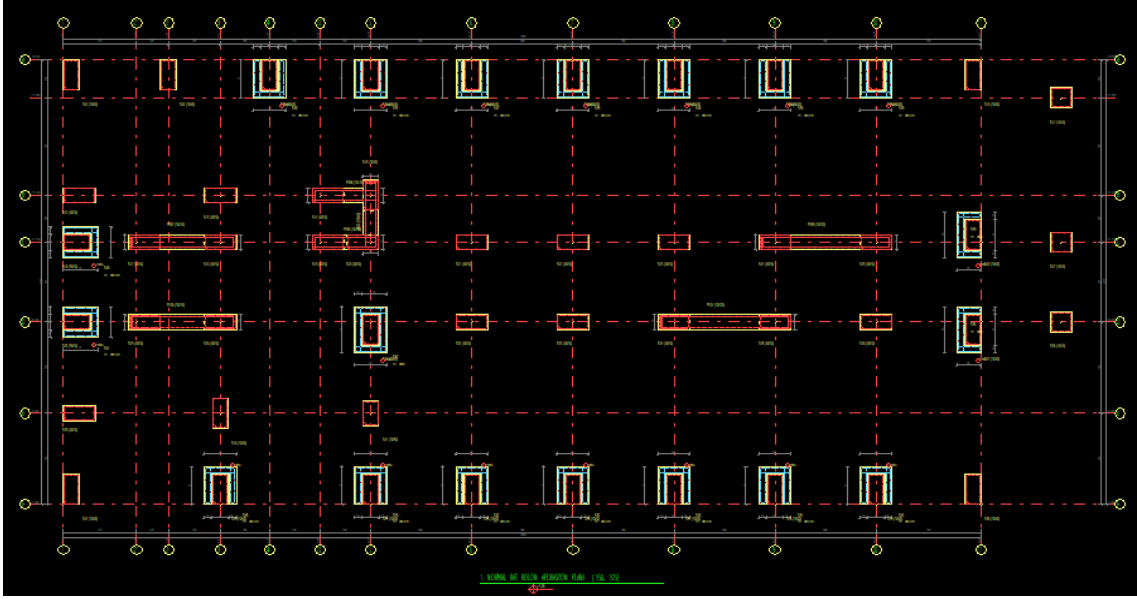
KAT NO	(-X)				(+X)				(-Y)				(+Y)			
	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB
3	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
2	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
1	99.3	0.7	0.0	0.0	99.3	0.7	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
Max.	100.	0.7														

KIRIŞ HASAR YUZDELERİ

KAT NO	(-X)				(+X)				(-Y)				(+Y)			
	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB
3	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
2	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
1	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
Max.	100.															

X yönü kiriş sayısı=37,40,37
Y yönü kiriş sayısı=52,52,51

Güçlendirmede belirtilen yerlere betonarme kolon mantolaması yapılarak güçlendirme önerilmiştir. Yapılan performans analizi sonucunda gevrek eleman kalmadığı ve binadan istenen performans düzeyini sağladığı ancak 1 adet sınırlı hasar bölgesini aşan kolonun bulunduğu ortaya çıkmıştır. Betonarme kolon mantolamasıyla güçlendirmenin eleman detayları aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.70. Güçlendirme gelen kısımlar kat planı

Yukarıdaki resimde belirtilen yerlere betonarme kolon mantolaması yapılarak çözüm sunulmuş ve binadan istenen performans düzeyini güçlendirme sonunda sağlamıştır. DD-2 yer hareketi düzeyine göre son olarak bina performans sonucu alınmış olup aşağıda gösterilmiştir.

DD2 YER HAREKETİ DÜZEYİNDE, BINA PERFORMANS SONUCU:

Kontrollü Hasar performansı sağlanmıştır ✓

Kontrollü hasar bölgesi yeterlilik kontrolü:

Kiriş Hasar oranı- $(IH=0.0 < 0.35)$ ✓, $(GB=0)$ ✓

Kolon Hasar oranı- $(IH=0.0 < 0.20)$ ✓, $(GB=0)$ ✓

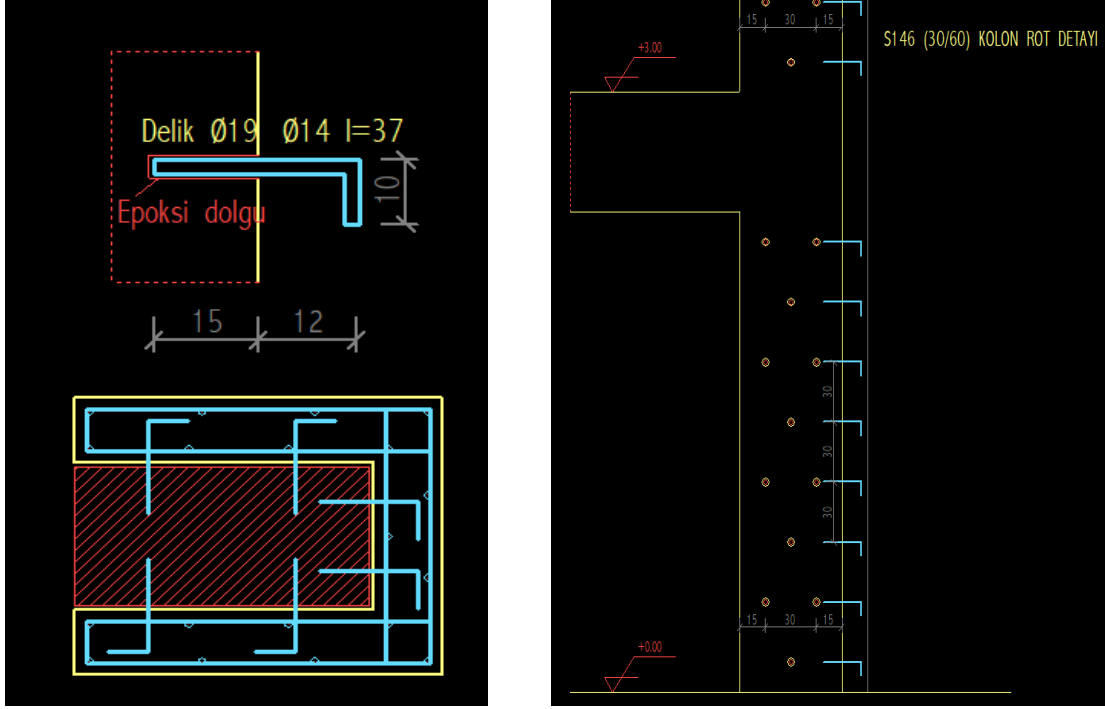
Ust kat Vc oranı- $(IH=0.0 < 0.40)$ ✓, $(GB=0)$ ✓

Plastiklenen kolon Vc oranı- $(IH+GB=0.0 < 0.30)$ ✓

Sınırlı Hasar bölgesini aşan kolonlarınız bulunmaktadır. (S125)

Şekil 4.71. Eklenen yapı elemanları sonucunda bina performans sonucu (STA4CAD verileri)

Yapıya yeni eklenen mantolama elemanları ve mevcut yapı elemanları ile deprem yüklerinin karşılanması sağlanmıştır. Yapının bu haliyle beklenen performans seviyesine ulaşması planlanmıştır. İlave edilen mantolama mevcut sistemle birlikte değerlendirilmiştir.



Şekil 4.72. Betonarme kolon mantolama kat kesiti ve detayları (STA4CAD verileri)

4.4.10.4 Güçlendirme-2 fayda maliyet oranları

Yapı türümüz IV Sınıf A grubu yapıya dahil olduğu için yapının yeniden maliyetini belirlemede m2 fiyatı 6.825,00 TL alınmıştır.

Güçlendirme-2 okul binası performans analiz aşamasında onarım ile ilgili kısımları dikkate alınarak güçlendirme maliyetleri hesap edilmiş ve fayda maliyet oranı oluşturulmuştur.

Tablo 4.96. Güçlendirme ve onarım maliyeti yaklaşık maliyet icmalı

Sıra No	Tanımı	Tutar
1	Güçlendirme İmalatları	1.727.342,50 TL
2	Onarım İmalatları	550.069,09 TL
3	Mekanik İmalatlar	25.195,84 TL
4	Elektrik İmalatları	109.562,29 TL
	Genel Toplam	2.412.169,72 TL

Maliyet hesap özeti aşağıdaki şekilde verilmiştir. Bu oran Güçlendirme/Yapının Yeniden Yapım Maliyeti/ **%18,40** olarak belirlenmiştir.

$$\text{Yeniden Maliyet Hesabı } 1920 \text{ M2} * 6.825,00 \text{ TL} = 13.104.000,00 \text{ TL}$$

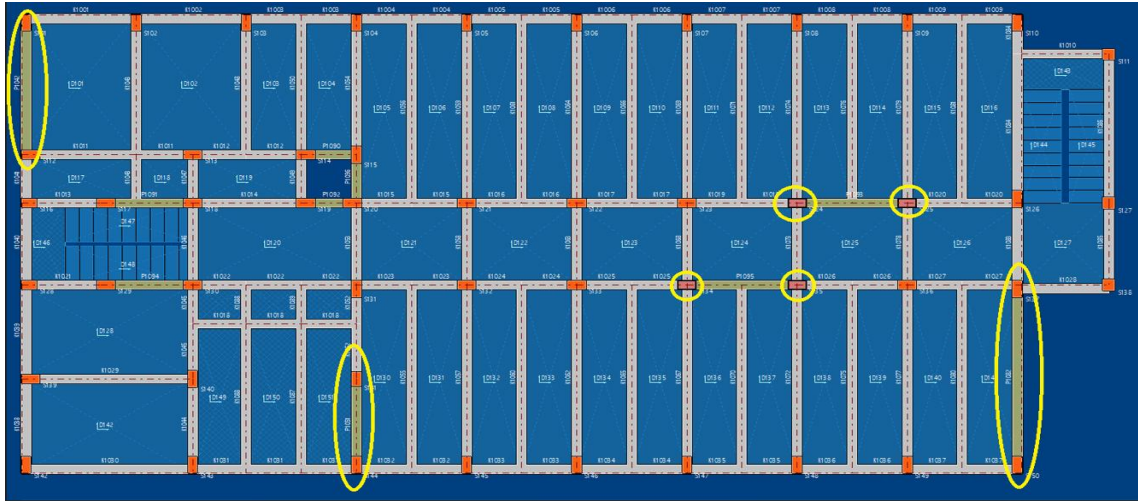
Tablo 4.97. Yapı fayda maliyet değerlendirmesi tablosu

Yapı m ²	1920
Yeniden Yapım Maliyeti	13.104.000,00
Güçlendirme Maliyeti	2.412.169,72
Yapının Maliyeti/Güçlendirme Maliyeti Oranı	18.40%

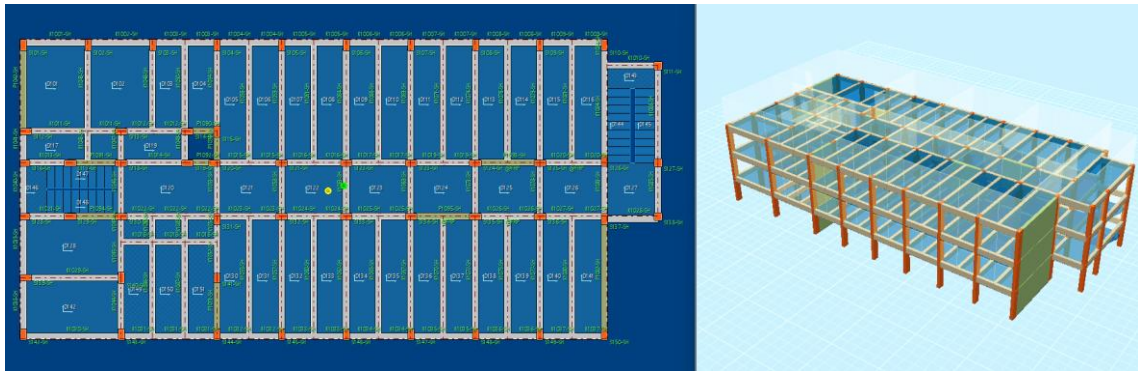
4.4.10.5. Yapıya perde ekleme ve FRP kaplama yapılması performans analiz sonuçları

Yapımıza sistem bazında değil de eleman bazında alternatif güçlendirme yapılmıştır. Dış cephede bulunan 18 adet kolona üç tarafından ve 1 adet yapı içerisine denk gelen kolona dört taraftan betonarme manto ilavesi yapılarak güçlendirme yapılmış ve bu öneriye “Güçlendirme-3” adı verilerek analiz yapılmıştır.

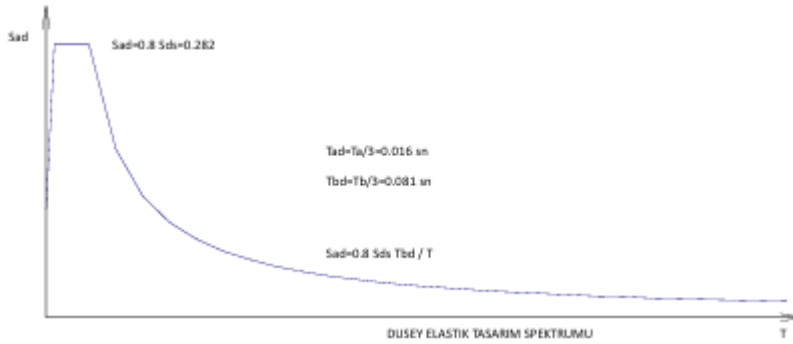
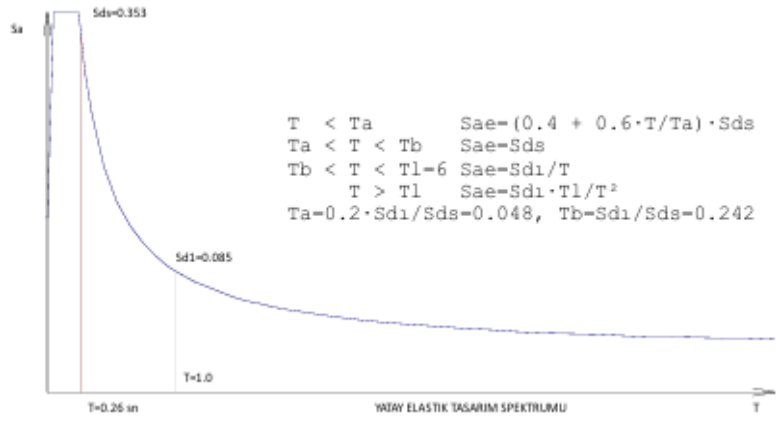
Bu güçlendirme önerisi kapsamındaki öneriye “Güçlendirme-3” adı verilerek analiz yapılmıştır. Yapıya hem betonarme perde elemanları ilave edilmiş hem de gevrek hasar gözlemlenen bazı kolonlar betonarme mantolama yöntemiyle sarılarak, hedeflenen deprem performans düzeyine ulaşılması sağlanmıştır. İlave edilen perdeler, önceki önerideki yerleşimden kısmen farklı konumlara yerleştirilmiş olup, dış akslara konumlandırılmıştır. Bu yerleşim değişikliğiyle, yapının dinamik davranışında meydana gelen farklılıkların gözlemlenmesi amaçlanmıştır. Aşağıdaki şekilde perde ve FRP kaplama gelen kısımlar belirtilmiştir.



Şekil 4.73. Betonarme mantolama yapılan kısımlar (STA4CAD verileri)



Şekil 4.74. Güçlendirme-3 sonrası analiz (STA4CAD verileri)



Şekil 4.75. Yatay ve düşey tasarım spektrumu

Tablo 4.98. Güçlendirme sonrası yapının X yönünde burulma düzensizliği(A1) ve yumuşak kat (B2) düzensizliklerinin kontrolü

X YÖNÜ (+)

Kat	ΔX üst (m)	ΔX dalt (m)	ΔX ort	nbi	nki	$\lambda \cdot R / I \cdot \Delta x / h$	θ_i	kat tipi
3	0.0006450» S301	0.0006512» S342	0.0006481	1.00	0.00	0.00029 ✓	0.00200 ✓	Üst kat
2	0.0006902» S201	0.0006979» S242	0.0006940	1.01	1.07	0.00031 ✓	0.00269 ✓	Normal kat
1	0.0004882» S101	0.0004938» S142	0.0004910	1.01	0.71	0.00022 ✓	0.00239 ✓	Normal kat

Tablo 4.99. Güçlendirme sonrası yapının Y yönünde burulma düzensizliği(A1) ve yumuşak kat (B2) düzensizliklerinin kontrolü (STA4CAD raporları)

Y YÖNÜ (+)

Kat	ΔY üst (m)	ΔY dalt (m)	ΔY ort	nbi	nki	$\lambda \cdot R / I \cdot \Delta y / h$	θ_i	kat tipi
3	0.0005243» S301	0.0003939» S311	0.0004591	1.14	0.00	0.00022 ✓	0.00135 ✓	Üst kat
2	0.0005453» S201	0.0004213» S211	0.0004833	1.13	1.05	0.00022 ✓	0.00178 ✓	Normal kat
1	0.0003734» S101	0.0003047» S111	0.0003390	1.10	0.70	0.00015 ✓	0.00158 ✓	Normal kat

Tablo 4.100. Güçlendirme sonrası yapının (B1) düşey doğrultuda düzensizliklerinin kontrolü(STA4CAD raporları)

B1-Düşey doğrultudaki düzensizliklerinin kontrolü

Kat	Aw	Agx	Agy	Akx	Aky	ΣAex	ΣAey	ncix	nciy	AÇIKLAMA
3	8.85	4.05	4.47	17.43	13.90	15.51	15.41	1.00	1.00	Üst kat ✓
2	8.85	4.05	4.47	17.68	13.90	15.55	15.41	1.00	1.00	Düzenli ✓
1	8.85	4.05	4.47	0.00	0.00	12.90	13.32	0.83	0.86	Düzenli ✓

Ba=Bax+0.3×Bay, Ba=0.3×Bax+Bay :

Kirişlerde, Kolonlarda; (Ba=Bax+0.3×Bay, Ba=0.3×Bax+Bay) düzeltilmesi yapılmıştır.

Tablo 4.101. Güçlendirme sonrası yapının burulma kütle atalet momenti (STA4CAD raporları)

Kat	A (m ²)	I _x (m ⁴)	I _y (m ⁴)	X _g (m)	Y _g (m)	J _{mass} (m ²)
3	628.58	15904.97	68827.78	18.08	-9.93	134.80
2	626.62	15885.53	68272.47	18.06	-9.92	134.30
1	626.62	15885.53	68272.47	18.06	-9.92	134.30

Tablo 4.102. Güçlendirme sonrası yapının kat kütlesi ve rijitlik merkezi (STA4CAD raporları)

Kat (dyf)	H (m)	W _g	W _q	n	R R _x /R _y	D D _x /D _y	X _g (m)	X _r (m)	Y _g (m)	Y _r (m)	Σ W _k
3	9.00	775.56	214.72	0.60	4	2.5	18.05	19.67	-9.84	-10.04	904.388
2	6.00	755.39	209.19	0.60	4	2.5	18.02	19.43	-9.78	-10.06	880.902
1	3.00	739.65	214.31	0.60	4	2.5	18.10	19.03	-9.76	-10.05	868.237

ΣW_t = 2653.528

Tablo 4.103. Kat deprem deplasmanları (STA4CAD raporları)

Kat (dyf)	9. yükleme		10. yükleme		11. yükleme		12. yükleme	
	δ _x (m)	θ _z (rad)	δ _x (m)	θ _z (rad)	δ _y (m)	θ _z (rad)	δ _y (m)	θ _z (rad)
3	0.0018330	0.0000011	0.0018330	0.0000011	-0.001274	0.0000086	-0.001274	0.0000086
2	0.0011849	0.0000008	0.0011849	0.0000008	-0.000819	0.0000052	-0.000819	0.0000052
1	0.0004910	0.0000003	0.0004910	0.0000003	-0.000338	0.0000018	-0.000338	0.0000018

Deprem yapı salınımları: x= 0.00020 y= 0.00014

Tablo 4.104. Kat deprem momenti kontrolü (STA4CAD raporları)

Kat	H (m)	F _x	F _x . H	H (m)	F _y	F _y . H
3	9.00	98.05	882.44	9.00	102.92	926.26
2	6.00	55.88	335.30	6.00	58.86	353.18
1	3.00	27.97	83.90	3.00	28.79	86.37

181.90 1301.63 190.57 1365.81

Tablo 4.105. Yapı devrilme kontrolü (STA4CAD raporları)

Kat düşey yük momenti (tm)		X=0.149m		Y=-1.343m		moment noktası	
Kat	W _g +0.6·W _q	X _g -X	(X _g -X) · (W _g +0.6·W _q)	Y _g -Y	(Y _g -Y) · (W _g +0.6·W _q)		
3	904.39	17.905	16193.45	8.494	7681.53		
2	880.90	17.868	15739.99	8.440	7434.41		
1	868.24	17.947	15582.60	8.417	7307.71		

47516.04

22423.65

X yönü devrilme kontrolü=47516.037/1301.628-36.505 > 1.5 ✓

Y yönü devrilme kontrolü=22423.653/1365.806-16.418 > 1.5 ✓

Tablo 4.106. Kolon ve kiriş kesme kuvveti dağılımı ve bina performansı

KOLON KESME KUVVETİ DAĞILIMI

KAT NO	(-X)				(+X)				(-Y)				(+Y)			
	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB
3	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
2	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
1	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
Max.	100.															

KIRIŞ HASAR YÜZDELERİ

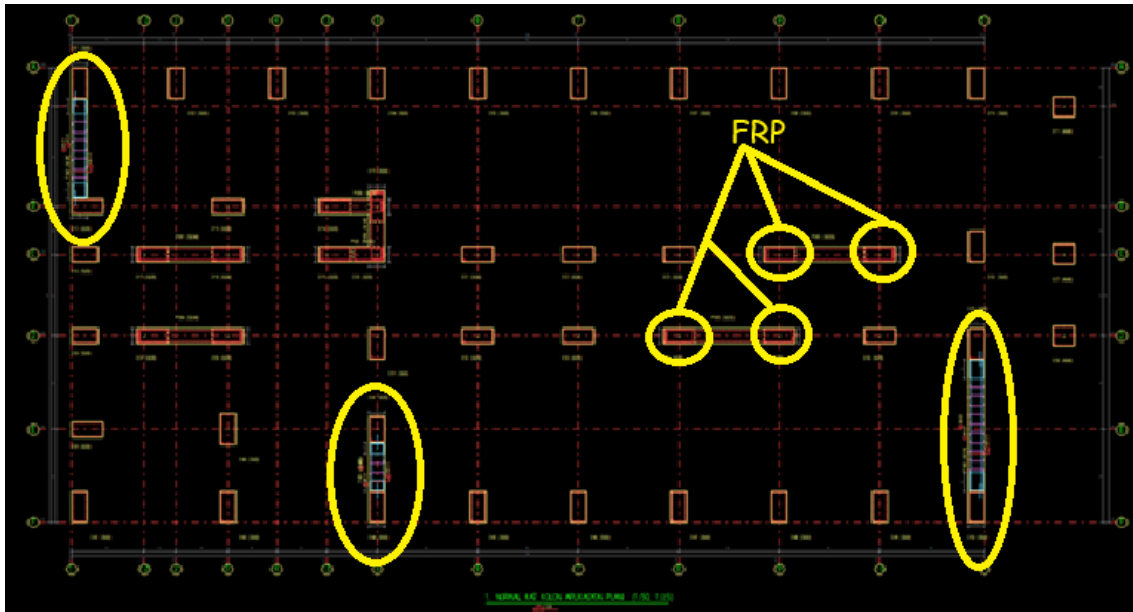
KAT NO	(-X)				(+X)				(-Y)				(+Y)			
	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB
3	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
2	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
1	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0	100.	0.0	0.0	0.0
Max.	100.															

X yönü kiriş sayısı=37,40,37

Y yönü kiriş sayısı=49,49,48

Tablo 4.107. FRP kullanılan kolonların özellikleri

KOLON	Boyut cm	f _{cm} kg/cm ²	Frp adı	nf	tf mm	ξ _f	ρ _f	K _a	f ₁ kg/cm ²	f _{cc} kg/cm ²	V _f t
S124	60/30-2.0 <3	180	TeknoWrap 600	3 × 0.3400	0.0040	0.10200	0.2319	108.78	500.00	112.61	
S125	60/30-2.0 <3	180	TeknoWrap 600	3 × 0.3400	0.0040	0.10200	0.2319	108.78	500.00	112.61	
S134	60/30-2.0 <3	180	TeknoWrap 600	3 × 0.3400	0.0040	0.10200	0.2319	108.78	500.00	112.61	
S135	60/30-2.0 <3	180	TeknoWrap 600	3 × 0.3400	0.0040	0.10200	0.2319	108.78	500.00	112.61	
S224	60/30-2.0 <3	180	TeknoWrap 600	3 × 0.3400	0.0040	0.10200	0.2319	108.78	500.00	112.61	
S225	60/30-2.0 <3	180	TeknoWrap 600	3 × 0.3400	0.0040	0.10200	0.2319	108.78	500.00	112.61	
S234	60/30-2.0 <3	180	TeknoWrap 600	3 × 0.3400	0.0040	0.10200	0.2319	108.78	500.00	112.61	
S235	60/30-2.0 <3	180	TeknoWrap 600	3 × 0.3400	0.0040	0.10200	0.2319	108.78	500.00	112.61	
S324	60/30-2.0 <3	180	TeknoWrap 600	3 × 0.3400	0.0040	0.10200	0.2319	108.78	500.00	112.61	
S325	60/30-2.0 <3	180	TeknoWrap 600	3 × 0.3400	0.0040	0.10200	0.2319	108.78	500.00	112.61	
S334	60/30-2.0 <3	180	TeknoWrap 600	3 × 0.3400	0.0040	0.10200	0.2319	108.78	500.00	112.61	
S335	60/30-2.0 <3	180	TeknoWrap 600	3 × 0.3400	0.0040	0.10200	0.2319	108.78	500.00	112.61	

**Şekil 4.76. Güçlendirme gelen kısımlar kat planı**

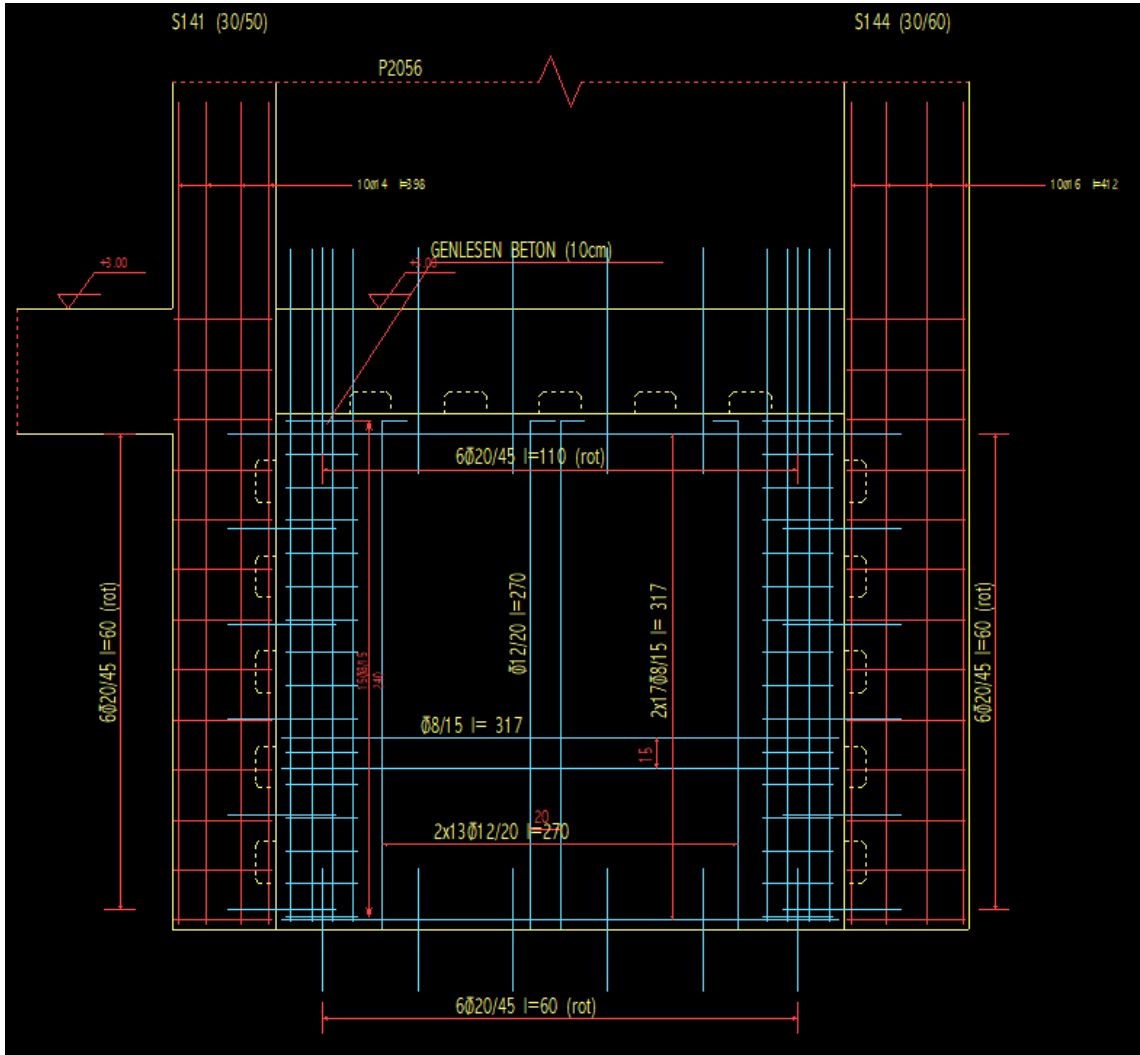
Yukarıdaki resimde belirtilen yerlere perde eklenmesi ve FRP kolon mantolaması yapılarak çözüm sunulmuş ve binadan istenen performans düzeyini güçlendirme sonunda sağlamıştır. DD-2 yer hareketi düzeyine göre son olarak bina performans sonucu alınmıştır.

olup aşağıda gösterilmiştir.

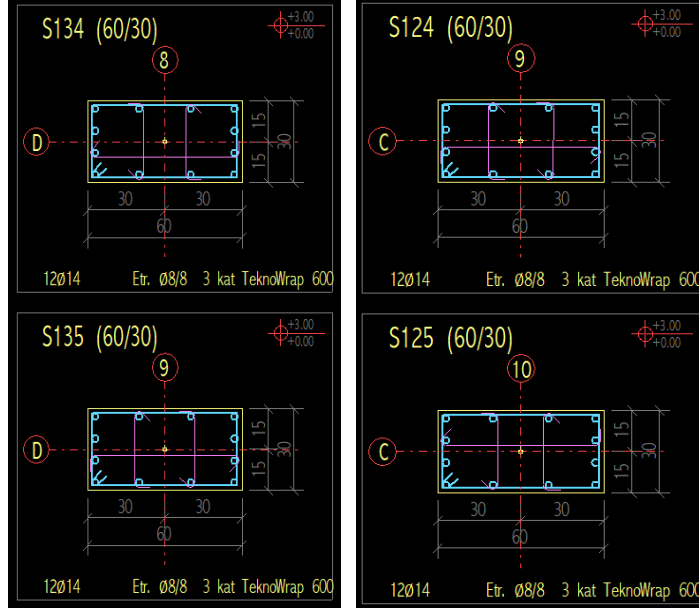
DD2 YER HAREKETİ DÜZEYİNDE, BINA PERFORMANS SONUCU:
Sınırlı hasar, Kontrollü Hasar performansı sağlanmıştır ✓
Kiriş Belirgin Hasar oranı-%0.0<-%20 Kesintisiz kullanım ✓
Kontrollü hasar bölgesi yeterlilik kontrolü:
Kiriş Hasar oranı-(IH-%0.0<-%35 ✓), (GB-%0 ✓)
Kolon Hasar oranı-(IH-%0.0<-%20 ✓), (GB-%0 ✓)
Ust kat Vc oranı-(IH-%0.0<-%40 ✓), (GB-%0 ✓)
Plastiklesen kolon Vc oranı-(IH+GB-%0.0<-%30 ✓

Şekil 4.77. Eklenen yapı elemanları sonucunda bina performans sonucu (STA4CAD verileri)

Yapıya yeni eklenen perde elemanları ve mevcut yapı elemanları ile FRP kaplama yapılması sonrası deprem yüklerinin karşılanması sağlanmıştır. Yapının bu haliyle beklenen performans seviyesine ulaşması planlanmıştır.



Şekil 4.78. Betonarme perde ilavesi kat kesiti ve detayları (STA4CAD verileri)



Şekil 4.79. FRP kaplanacak kolon kesiti

4.4.10.6.Güçlendirme-3 fayda maliyet oranları ve güçlendirme alternatiflerinin karşılaştırılması

Yapı türümüz IV Sınıf A grubu yapıya dahil olduğu için yapının yeniden maliyetini belirlemede m2 fiyatı 6.825,00 TL alınmıştır.

Güçlendirme-3 okul binası performans analiz aşamasında onarım ile ilgili kısımları dikkate alınarak güçlendirme maliyetleri hesap edilmiş ve fayda maliyet oranı oluşturulmuştur.

Tablo 4.108. Güçlendirme ve onarım maliyeti yaklaşık maliyet icmali

Sıra No	Tanımı	Tutar
1	Güçlendirme İmalatları	1.005587,67 TL
2	Onarım İmalatları	550.069,09 TL
3	Mekanik İmalatlar	25.195,84 TL
4	Elektrik İmalatları	109.562,29 TL
Genel Toplam		1.690.414,89 TL

Maliyet hesap özeti aşağıdaki şekilde verilmiştir.Bu oran Güçlendirme/Yapının Yeniden Yapım Maliyeti/ %12.90 olarak belirlenmiştir.

Yeniden Maliyet Hesabı $1920 \text{ M2} * 6.825,00 \text{ TL} = 13.104.000,00 \text{ TL}$

Maliyet hesap özeti aşağıdaki şekilde verilmiştir.

Tablo 4.109. Yapı fayda maliyet değerlendirmesi tablosu

Yapı m ²	1920
Yeniden Yapım Maliyeti	13.104.000,00
Güçlendirme Maliyeti	1.690.414,89
Yapının Maliyeti/Güçlendirme Maliyeti Oranı	12.90%

Güçlendirme alternatifleri sonuçlarının karşılaştırılması :

Tablo 4.110. deprem yapı salınımı karşılaştırması

Kat Deprem Deplasmanları Deprem Yapı Salınımı		
	X	Y
Mevcut bina	0.00122	0.00231
Güçlendirme-1	0.00016	0.0004
Güçlendirme-2	0.00020	0.00031
Güçlendirme-3	0.00020	0.00014

Yapıya uygulanan 3 ayrı güçlendirme çalışmaları neticesinde, taşıyıcı sistemin X ve Y yönlerindeki deplasman değerlerinde belirgin bir azalma gözlemlenmiştir.

Tablo 4.111. Deprem Momenti Kontrolü

Deprem Momenti Kontrolü		
	F_x	F_y
Mevcut bina	1100.79	677.53
Güçlendirme-1	211.83	211.83
Güçlendirme-2	186.66	103.6
Güçlendirme-3	181.9	190.57

Yapıya uygulanan alternatif güçlendirmeler sonucu deprem momentinin önemli ölçüde düştüğü gözlemlenmiştir.

Tablo 4.112. Yapı Güçlendirme Maliyetleri kontrolü

	Maliyeti	Fayda Maliyet Oranı
Mevcut bina	13.104.000,00	
Güçlendirme-1	1.405.068,94	%10.72
Güçlendirme-2	2.412.169,72	%18.40
Güçlendirme-3	1.690.414,89	%12.90

Alternatif güçlendirme senaryolarının maliyet analizleri neticesinde, Güçlendirme-1 uygulamasının en ekonomik çözüm olduğu belirlenmiştir. Bu güçlendirmede, mevcut taşıyıcı sisteme yalnızca betonarme perde elemanları entegre edilmiş; ilave donatı, çelik eleman, karbon fiber takviyesi veya kapsamlı işçilik gerektiren

uygulamalara başvurulmamıştır. Söz konusu yaklaşım, yalnızca perde imalatına yönelik maliyet kalemleri içerdiğinden, toplam uygulama giderlerini minimize etmiş ve maliyet etkinliği açısından diğer önerilere kıyasla üstünlük sağlamıştır.

Sonuç olarak, yapı için üç farklı güçlendirme alternatifi önerilmiş olup, uygulama kolaylığı ve maliyet etkinliği açısından en uygun seçeneğin Güçlendirme-1 uygulaması olduğu değerlendirilmiştir. Bu alternatifte yalnızca betonarme perde elemanlarının ilavesi söz konusu olduğundan, ek malzeme, işçilik ve özel uygulama gereksinimleri oluşmamıştır. Ayrıca yapının mevcut durumda sınırlı sayıda deprem perdesine sahip olması da dikkate alındığında, Güçlendirme-1 uygulaması hem rijitlik artışı hem de ekonomik çözüm üretmesi bakımından daha avantajlıdır.

Güçlendirme-3 senaryosunda ise perde başlıklarında yer alan kolonlarda kesme dayanımının yetersiz olması nedeniyle FRP kaplama uygulaması kullanılmıştır. Bu uygulama, perde elemanlarıyla çakışan bölgelerde gerçekleştirilmesi gerektiğinden hem işçilik açısından karmaşık hem de uygulama zorlukları içeren bir süreçtir. Bu bağlamda, Güçlendirme-1 uygulaması hem mühendislik açıdan rasyonel hem de saha uygulamaları bakımından en pratik ve uygun çözüm olarak öne çıkmaktadır.

4.5. Betonarme Binalarda Güçlendirme Yöntemleri

Güçlendirme: Bir yapı veya yapı elemanlarının taşıma kapasitesini, rijitliğini, sünekliğini ve stabilitesini veya bunlardan bazıları önceki veya mevcut durumundan daha dayanıklı hale getirmek için yapılan işlemlerin tümüne denir (Bayülke, 2006). Genel olarak beklenen olası bir depreme karşı yapıyı dayanıklı hale getirilebilmektir.

Binaların güçlendirilmesi; deprem hasarlarına yol açabilecek yapısal kusurların giderilmesi, deprem güvenliğini artırmak amacıyla ilave taşıyıcı elemanların eklenmesi, sistem kütlelerinin azaltılması, mevcut elemanların deprem performanslarının iyileştirilmesi ve taşıyıcı sistemde kuvvet aktarım sürekliliğinin sağlanması gibi müdahaleleri kapsar (TBDY, 2018).

Betonarme binalarda güçlendirme yapı elemanlarının güçlendirilmesi ve sistem güçlendirilmesi olarak iki farklı kapsamda incelenebilir.

Yapı Elemanlarının Güçlendirilmesi: Olası bir depremde tüm yapının güçlendirilmesinin gerekmediği durumlarda, yerel sorunlara yönelik eleman bazlı güçlendirme tercih edilmektedir. Bu yöntem, yapının genel davranış özelliklerine olumlu katkı sağlarken, temele müdahale gerektirmemesi ve uygulama sürecinde daha az mimari

uyumsuzluğa neden olması gibi önemli avantajlar sunar (Çelik, 2024).

Sistem Bazında Güçlendirme: Bir binanın taşıyıcı sisteminin dayanımını ve şekil değiştirme kapasitesini artırmak, iç kuvvetlerin düzenli bir şekilde dağılımını sağlamak, yeni yapı elemanları eklemek, birleşim noktalarını güçlendirmek ve deprem etkilerini azaltmak amacıyla binanın kütlelerini azaltma işlemleri, sistem güçlendirmesi olarak adlandırılmaktadır (Uluöz, 2010). Bu güçlendirme yönteminde istenilen kütle merkezi, rijitlik merkezi ve atalet momentinin mümkün olduğunca değişmemesidir.

4.6. Yapı Elemanlarının Güçlendirilmesi

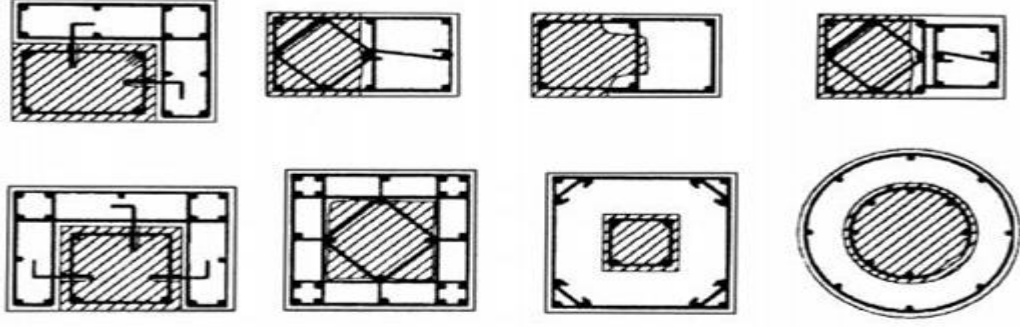
4.6.1. Kolonlarda güçlendirme

Kolonların sünekliğinin artırılması amacıyla kesme ve basınç dayanımlarının iyileştirilmesi ile bindirmeli donatı eklerinde oluşabilecek zayıflıkların giderilmesine yönelik güçlendirme teknikleri uygulanabilir. Ancak bu tür yöntemlerin, kolonların eğilme moment kapasitesine doğrudan bir katkı sağlamadığı unutulmamalıdır.

4.6.1.1 Betonarme mantolama yapılarak güçlendirme

Mevcut kolonun beton örtüsü sıyrılarak yüzey pürüzlendirildikten sonra betonarme sargı uygulaması gerçekleştirilir. Sargının kalınlığı; yatay ve düşey donatının uygun şekilde yerleştirilebilmesi, betonun dökülebilmesi ve gerekli minimum beton örtüsünün sağlanabilmesi açısından yeterli olmalıdır. Bu kapsamda, sargı kalınlığı en az 100 mm olmalıdır. Betonarme sargı, alt kat döşemesinin üst kotundan başlayıp üst kat döşemesinin alt kotuna kadar devam etmelidir (TBDY, 2018).

Betonarme mantolama kolonun bir, iki, üç ya da dört yüzünden de yapılabilir. Ancak en iyi performansı ve kenetlenmeyi dört tarafından betonarme mantolama yapılarak göstermiştir (Aykaç ve Can, 2008). Mantolama yapılırken istenen hedef eski betonla yeni betonun kenetlenmesini sağlamaktır. Bunun için mevcut kolondaki sıva yüzeyi ve donatıları çevreleyen beton çekirdek seviyesine kadar sıyrılarak tozdan da temizlenmelidir. Beton dökümü gerçekleşmeden önce mevcut beton yüzeylerinin suya doygun duruma getirilmesi işlemi eski ve yeni betonun bütünleşmesini sağlar.



Şekil 4.90. Kolonun mantolama ile güçlendirilme çeşitleri



Şekil 4.81. Kolonun mantolama ile güçlendirilmesine uygulama örnekleri

(<https://www.dengedegerleme.com/>)

4.6.1.2. Çelik profillerle sargı yapılması

Bu yöntemde, kolonun dört köşesine korniyerler (L şeklinde çelik profiller) yerleştirilir ve bu çelik profiller ile kolon arasında kalan boşluklar, genellikle epoksi bazlı reçineler kullanılarak doldurulur. Böylece, kolon ile çelik elemanlar arasında güçlü bir birleşim sağlanır. Ancak, korniyerler yeterince sıkı bir şekilde yerleştirilip sabitlenmezse, çelik manto tasarlandığı şekilde yükü taşıyamaz. Çelik manto ile kolonun mevcut beton yüzeyi arasında sağlam bir yapışma sağlanırsa, kolonun kesme kapasitesi (kolona etki eden yatay kesme kuvvetine dayanabilme gücü) de artırılabilir.



Şekil 4.82. Çelikle güçlendirilmiş kolon (www.carbonier.com)

6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri sonrasında yerinde yapılan gözlemlerimizde, kısa kolon davranışının yapı performansı üzerindeki etkisini açıkça ortaya koymuştur. Aynı sanayi sitesindeki iki farklı dükkânda gözlemlenen yapısal tepkiler, güçlendirme tekniklerinin önemini bir kez daha ortaya koymuştur. Birinci dükkânda, çelik elemanlarla gerçekleştirilen yerinde güçlendirme uygulamasının, kısa kolonun maruz kaldığı kesme kuvvetini absorbe ettiği ve bu nedenle kolonun gevrek kesme kırılmasına uğramadan bütünlüğünü koruduğu gözlemlenmiştir. Buna karşılık ikinci dükkânda ise kısa kolonun deprem esnasında ani şekilde kesme kuvveti altında patladığı, yani kırıldığı tespit edilmiştir. Bu tür uygulamalar, taşıyıcı elemanın sünekliğini ve enerji yutma kapasitesini artırarak deprem performansını iyileştirmektedir.



Şekil 4.83. Çelikle güçlendirilmiş kısa kolon

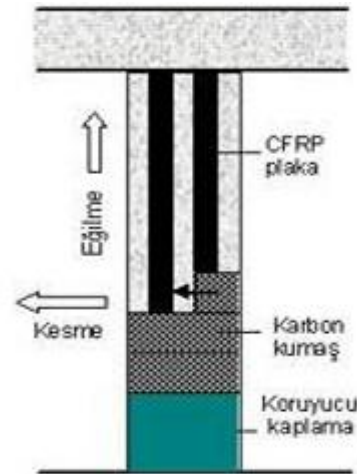


Şekil 4.84. Güçlendirme yapılmamış kısa kolon

4.6.1.3. Karbon fiber takviyeli polimer (CFRP) ile güçlendirme

CFRP kaplama olası bir deprem esnasında taşıma gücü ve sünekliğini artırdığı için ani göçmeleri önlemektedir. Kolonu çevresel şekilde etriyelere paralel şekilde sararak kolondaki çatlamları geciktirir, plastik deformasyon kapasitesini artırır ve yapıya ölü yük yüklemeyerek sehimini azaltır (Öncü ve Karasin, 2010).

CFRP tabakalarının kolon çevresine, lif yönü enine donatıya paralel olacak şekilde sarılması ve uygun yapıştırıcılarla uygulanması suretiyle sargılama işlemi gerçekleştirilir. Bu yöntem ile betonarme kolonların süneklik kapasiteleri, kesme ve basınç dayanımları artırılmakta; ayrıca boyuna donatının bindirme boyunun yetersiz olduğu durumlarda donatı kenetlenme kapasitesi iyileştirilmektedir. Güçlendirme uygulamalarında, CFRP tabakalarının tüm kesit çevresini saracak şekilde tam sargı yöntemi tercih edilmeli; sargının sonunda en az 200 mm'lik bir bindirme sağlanmalıdır. Dikdörtgen kesitli kolonlarda CFRP sargısı, köşe bölgelerinin minimum 30 mm yarıçapla yuvarlatılması koşuluyla uygulanabilir. CFRP uygulaması üretici tarafından önerilen yöntemine uygun olarak gerçekleştirilmelidir (TBDY, 2018).



Şekil 4.85. Kolonların FRP ile sarılması ve kesiti (Atay,2010)

4.6.2. Kirişlerde güçlendirme

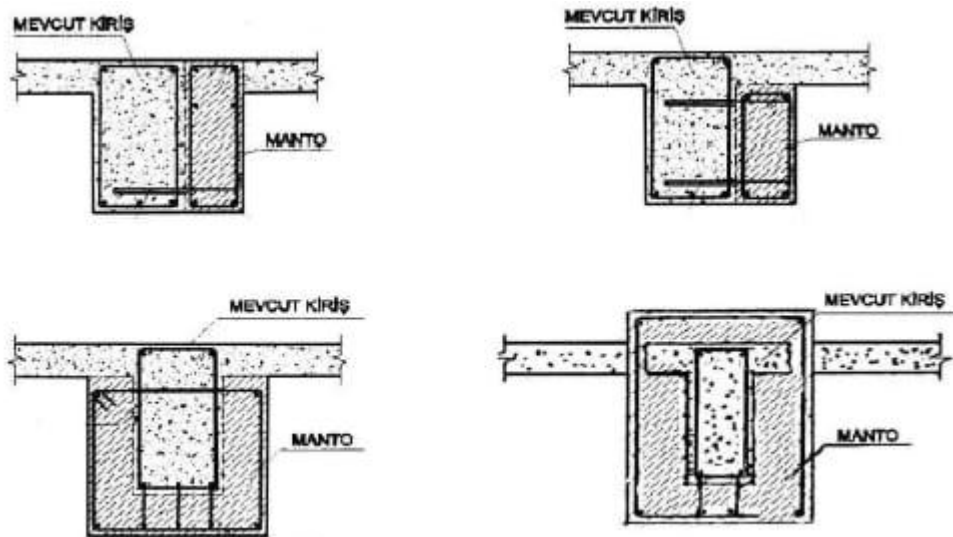
Betonarme kirişlerin sarılması, yapısal elemanların performansını ve güvenliğini artırmak amacıyla uygulanan bir güçlendirme yöntemidir. Bu işlem, kirişin kesme dayanımını, yani yatay yüklerin etkisi altında kırılmaya karşı direncini artırmayı hedefler (Cansız, 2021). Aynı zamanda, gerekli durumlarda, özellikle depreme maruz kalan yapılarda, kirişin süneklik kapasitesini geliştirmek için de kullanılır. Ancak kirişlerin hiçbir zaman dayanım ve rijitliğinin kolonlardan güçlü olması kesinlikle istenilemez ve

temel prensip güçlü kolon zayıf kiriş olmalıdır. Kirişlerde güçlendirme 3 türdür.

1. Betonarme Mantolama Yapılarak Güçlendirme
2. Karbon Fiber Takviyeli Polimer (CFRP) ile Güçlendirme
3. Çelik Levhalarla Sargı Yapılması

4.7.2.1. Betonarme mantolama yapılarak güçlendirme

Betonarme mantolama kirişlerin bir, iki, üç veya dört bölgesinden de yapılabilir. Bu süreçte, eski betonla yeni betonun uyumlu bir şekilde birleşmesi ve yerleştirilen çekme donatılarının düğüm noktalarında güvenli bir şekilde sabitlenmesi çok önemlidir. Bunun için yeterli aderans mesafesi bırakılmalıdır. Ayrıca, kesme kuvvetine karşı taşıma kapasitesini artırmak için beton miktarının ve enine donatının artırılması gerekir. Bu işlemler, aynı zamanda yapının sünekliğini de iyileştirir. (Beyli, 2002; Özdemir ve Ercan, 2017).



Şekil 4.86. Kirişlerde mantolama çeşitleri (bir, iki, üç ve dört bölgeden)

4.6.2.2. Karbon fiber takviyeli polimer (CFRP) ile güçlendirme

CFRP (Karbon Lifli Polimer) sargılarla kiriş güçlendirilmesi yöntemi, betonarme yapıların hem kesme dayanımını hem de sünekliğini artırmak için etkili bir yöntemdir. CFRP malzemenin hafifliği, yüksek dayanımı ve korozyona karşı direnci, yapıların depreme dayanıklılığını artırmada büyük avantaj sağlar. Maksimum kapasite için kirişin tüm elemanının sarılması gerekir, bu da hem kesme hem de eğilme dayanımını en üst düzeye çıkarır. Yöntem, hızlı uygulanabilirliği ve uzun ömürlü oluşuyla yapı güçlendirme projelerinde yaygın olarak tercih edilmektedir (Alemdar ve İnkaya, 2019).



Şekil 4.87. Kirişlerde CFRP uygulaması

4.6.2.3. Çelik levhalarla sargı yapılması

Bu yöntemde, çelik plakalar kiriş yüzeylerine yapıştırılarak veya mekanik bağlantı elemanları (örneğin bulonlar) aracılığıyla sabitlenmektedir. Kirişin alt yüzeyine monte edilen çelik profiller eğilme rijitliğini artırırken, yan yüzeylere uygulanan levhalar kesme dayanımını iyileştirmektedir (Öztürk, 2022). Yapının hem moment hem de kesme kapasitesinin eş zamanlı olarak artırılması amacıyla ise, U şeklinde kesitlendirilmiş çelik profiller kiriş altından geçirilerek yan yüzeylerle entegre biçimde kaynak ya da bulon kullanılarak sabitlenebilmektedir (Karaca, 2022).

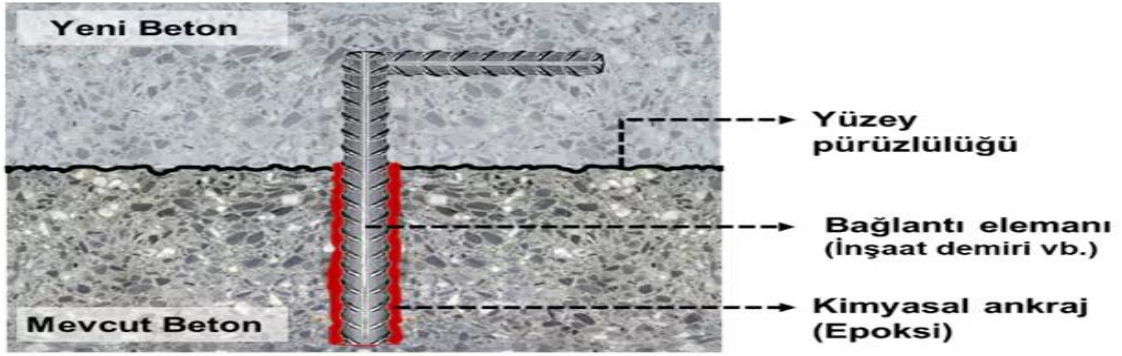


Şekil 4.88. Kirişlerde çelik levhalarla sargı yapılması

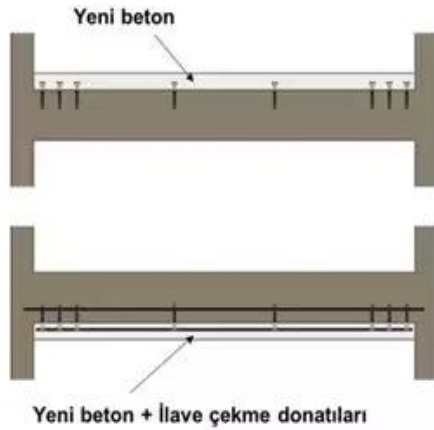
4.6.3. Döşemelerde güçlendirme

Döşemelerde güçlendirme dayanım ya da rijitliğin yeterli olmadığı durumlarda döşeme kalınlığının artırılması ile yapılmaktadır. Döşemelerde güçlendirme mevcut döşemenin altından veya üstüne atılarak yapılabilir. Üstten yapılması durumunda beton

geleneksel yöntemle, alttan atılması durumunda ise püskürtme beton ile yapılmaktadır. Yeni ve eski betonun birbirine kenetlenmesi çok önemlidir. Mevcut betona epoksi yaparak ankraj atılması, mevcut beton pürüzlendirilerek dişler oluşturulması, mekanik olarak çelik korniyer monte edilmesi ve kum tanelerini epoksi reçinesiyle yapıştırarak kenetlenme sağlanabilir (Değirmenci ve ark., 2015).



Şekil 4.89. Döşemelerde güçlendirme kesiti



Şekil 4.90. Bina türü yapılarda güçlendirme ve alttan döşeme güçlendirmesi

Köprü tabliyelerinde güçlendirme işleminde yapıyı yıkıp yeniden inşa etmenin sebep olacağı uzun süreli kullanım kısıtlamaları, özellikle nüfus ve trafik yoğunluğunun yüksek olduğu yerlerde ciddi zaman ve ekonomik zorluklara yol açabilmektedir. Bu noktada güçlendirme uygulamaları daha kısa sürede çözümler sunar. Köprü tabliyelerinde döşemelerde güçlendirme kesit ataletini artırmak ve zamanla deforme olan üst yüzeyi onarmak için kullanılmaktadır. Böylece hem dayanım artar hem de köprü kısa sürede işlevselliğini yeniden kazanmaktadır.



Şekil 4.91. Endüstriyel tesis döşemesi güçlendirme ve köprü tabliyesi döşeme güçlendirme

4.6.4. Temelerde güçlendirme

Diğer yapı elemanlarının güçlendirme aşmalarına uygulama aşaması daha zor ve maliyeti daha yüksek olan temel güçlendirme aşağıda verilen koşullarda söz konusu olur (Coşkun ve Gürsoy, 2023);

- Kötü zeminden dolayı temelde oluşan oturmalar ve çökmeler
- Tasarım aşamasında temellerin yetersiz hesaplanması
- Güçlendirmeden dolayı eklenen yapı elemanının temelinin olmaması
- Deprem yükleri sonrasında temelde hasar oluşursa
- Güçlendirme yapılmasından sonra gelen gelen yapı yükünün artması
- İlave edilen katlar nedeniyle temelin yetersiz kalması
- Deprem yönetmeliklerinde değişikliklerden kaynaklanan yatay yük artışı gibi nedenlerden güçlendirme ihtiyacı çıkmaktadır.

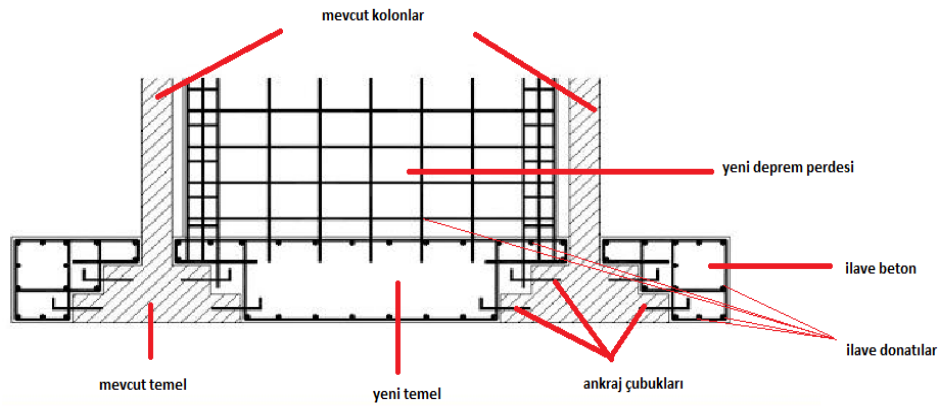
Yapıya yapılan güçlendirmeler nedeniyle yüklerin artması, deprem yönetmeliklerinde değişen yatay yük gereksinimleri, kötü zemin koşullarından kaynaklanan oturmalar, deprem hasarları ya da kat ilavesi gibi durumlarda temel güçlendirilmesi gerekebilir. Temelin güçlendirilmesi şu yöntemlerle yapılabilir (Aydın, 2014);

- Mevcut temel yapısı genişletilebilir.
- Tekil temeller birleştirilebilir.
- Sürekli temeller radyal temellere dönüştürülebilir.
- Rijitlik artırılması gerekiyorsa, temel üzerine kısa kolonlar oluşturmadan yüksek kiriş yapılabilir.

Bu güçlendirme yöntemleri, temelin dayanıklılığını artırarak yapıyı daha güvenli hale getirmeyi amaçlamaktadır (Yiğit, 2002).



Şekil 4.92. Mütemadi temelin radye temeğe dönüştürülmesi ve tekil temel güçlendirilmesi



Şekil 4.93. Yeni eklenen perde yapısından dolayı temel güçlendirilmesi kesiti

4.7. Sistem Bazında Güçlendirme Yapılması

4.7.1. Betonarme yapıların yerinde dökme perdeler ile güçlendirilmesi

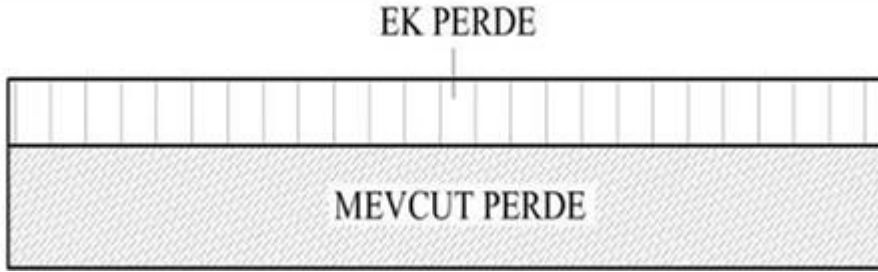
Güçlendirme çalışmalarında perdelerle güçlendirme yapılması günümüzde en yaygın ve geleneksel yöntemlerden birisidir (Uçar ve ark., 2014) .

Betonarme perde duvarlarla yapılan güçlendirme uygulamaları, mevcut taşıyıcı olmayan bölme duvarların çıkarılarak yerine yüksek dayanımlı betonarme perde duvarların inşasını içerir. Bu uygulamada, yeni perde duvarlar, yapının temel seviyesinden başlayarak inşa edilir ve zemin katlardan itibaren çatı katı döşemesine kadar devam etmelidir. Betonarme perde duvarlar, yapıların deprem etkileri altında daha dayanıklı hale gelmesini sağlamak amacıyla geliştirilmiştir (Sivri ve ark., 2013). Bu güçlendirme yöntemi hem yatay hem de düşey yüklerin taşınmasına yardımcı olur ve deprem sırasında binanın rijitliğini ve stabilitesini artırır. Ayrıca, binanın genel taşıyıcı sistemi ile daha güçlü bir bütünleşme sağlayarak, deprem yüklerini etkili bir şekilde dağıtmayı hedeflemektedir.

4.7.2. Çerçeve düzlemine bitişik betonarme perde ilave edilmesi

Betonarme yapıya ilave edilecek perde elemanı dış çerçeve ekseninin dışında olacak şekilde, çerçeveye bitişik inşa edilecektir. Yapı temelinden başlayacak şekilde mevcut perdenin en üst seviyesine kadar sürekliliği olacak şekilde yapılması gerekmektedir (TBDY, 2018).

Yapıya dahil edilecek betonarme perdeler, çerçeveye bitişik olarak inşa edilip, çerçeve sistem içerisine entegre edilmelidir. Bu, çerçevenin sürekliliğini sağlamakla birlikte çerçeve elemanları ile yeni eklenen perde arasında meydana gelebilecek kayma gerilmelerinin oluşmasını önlemektedir. Bu nedenle, ankraj çubuklarının standartlara uygun şekilde yapılması oldukça kritik bir noktadır (Karapınar, 2020).



Şekil 4.94. Çerçeve düzlemine bitişik perde eklenmesi kesiti

4.7.3. Çerçeve düzlemi içinde betonarme perde ilave edilmesi

Yapıya eklenen perdelerin temel amacı, deprem kuvvetlerinin önemli bir kısmını taşıyarak yapının güvenliğini artırmak ve yüksek rijitlikleri sayesinde yatay deplasmanları sınırlayarak daha iyi bir deprem performansı sağlamaktır. Bu amaçla, betonarme sisteme dahil edilecek perdeler, çerçeve aksı içine, iki kolon arasına yerleştirilmeli ve temel seviyesinden en üst kata kadar kesintisiz olarak inşa edilmelidir. Bu sürekliliği sağlamak için, perdenin uç ve gövde bölgelerindeki boyuna donatılar, perde boyunca devam edecek şekilde düzenlenmelidir. Ayrıca, perdelerin buldukları çerçeveye ankraj çubukları ile bağlanması, yük aktarımını güvenli bir şekilde sağlamak açısından kritik bir öneme sahiptir. Ankraj çubukları, deprem sırasında oluşabilecek gerilmelere karşı yeterli mukavemet gösterecek şekilde tasarlanmalıdır (Karaca, 2022).

En küçük ankraj çubuğu çapı 16 mm, en az ankraj derinliği çubuk çapının on katı ve en geniş çubuk aralığı 400 mm olmalıdır. Perde ucunda mevcut kolon bulunmaması durumunda Şekil 4.95 de gösterildiği şekilde göre perde uç bölgesi oluşturulacaktır. Perde ucunda mevcut kolon bulunması durumunda, mevcut kolondan uç bölgesi olarak

birtakım hususlar bulunmaktadır.

- Perde duvarlar düzenli bir bina yapısı elde etmek için yatay ve düşeyde uygun şekilde yerleştirilmelidir:
- Döşemeler yatay rijit diyafram özelliklerine tam olarak sahip olmalı ve yatay kuvvetleri perde duvarlara düzgün bir şekilde aktarmalıdır.
- Perde duvarların, çerçeve elemanlara ve temele bağlantıları doğru ve sağlam yapılmalıdır, çünkü yüklerin doğru aktarımı için bu bağlantılar önemlidir.

Sisteme eklenen betonarme perdeler, çerçevenin içini tamamen doldurmalı ve mümkün olduğunca yapının mevcut yüksekliği boyunca aynı kesitte devam etmelidir (Bawary, 2018).



Şekil 4.96. Betonarme perde eklenmesine örnek

4.7.4. Betonarme sisteme yeni çerçeveler eklenmesi

Betonarme yapının dışında planlanan çerçevelerin temelleri, mevcut bina temelleri ile uyum içinde olması gerekmektedir. Yeni oluşturulacak çerçeve sistemlerinin, mevcut taşıyıcı sistemle yapısal uyumu sağlanacak şekilde tasarlanması gerekmektedir. Bu kapsamda, söz konusu çerçeveler mevcut döşeme elemanlarına güvenli yük transferine imkân tanıyacak biçimde bağlanmalıdır. Bu düzenleme, yapı elemanlarının bütüncül bir şekilde çalışmasını sağlayarak deprem veya diğer etkiler altında dayanıklılığı artırır.

4.7.5. Betonarme yapının kütesinin azaltılması

Kütle azaltılması doğrudan bir yapı güçlendirme yöntemi olarak değerlendirilmez. Ancak, yapının toplam kütesindeki azalma, düşey yükler ile deprem etkilerinin büyüklüğünü orantılı biçimde azaltacağından, dolaylı olarak yapı güvenliğinin artırılmasına katkı sağlar (Bahadır, 2012).

Yapının sistem kütesi, açılal frekansını ve dolayısıyla doğal titreşim periyodunu doğrudan etkiler. Bu nedenle, mevcut yapıda kütle azaltımına yönelik gerçekleştirilen müdahaleler, taşıyıcı sistemin deprem etkilerine karşı direncini artırabilir. Bu amaçla uygulanabilecek yöntemler arasında; bazı katların yapıdan kaldırılması, mevcut çatı sisteminin daha hafif bir çatı ile değiştirilmesi, çatıda bulunan su deposu gibi ağır kütlelerin zemine taşınması, ayrıca ağır balkon ve bölme duvarlarının daha hafif malzemelerle değiştirilmesi sayılabilir (Karapınar, 2020).

Deprem etkilerinin azaltılmasına yönelik olarak uygulanabilecek en etkili yöntemler arasında; yapının üst katlarının kısmen ya da tamamen kaldırılması, mevcut çatı sisteminin daha hafif malzemelerle değiştirilmesi, çatıda bulunan su deposu ve benzeri tesisat elemanlarının zemine indirilmesi ile balkon, parapet, bölme duvar ve cephe kaplaması gibi ağır yapı bileşenlerinin daha hafif alternatiflerle değiştirilmesi yer almaktadır (TBDY, 2018).

4.8. Güçlendirme Uygulama Çalışmaları

Bu bölümde deprem performans analizi yapılan ve güçlendirme ihtiyacı çıkan iki adet betonarme okul binasının güçlendirme uygulama çalışmaları ele alınmıştır.

4.8.1. Güçlendirme perdesi yapılacak kısımlardaki duvarların kaldırılması

Yürütülen projeler kapsamında, taşıyıcı sistemin mevcut performansının yetersiz olduğu kesitlerde yapısal dayanımın artırılması amacıyla perde duvar ilavesiyle güçlendirme yapılmasına karar verilmiştir. Bu doğrultuda, ikinci okulda gerçekleştirilen çalışmalarda zemin kat, birinci kat ve ikinci katta yer alan taşıyıcı özelliği bulunmayan bölme duvarların tamamı kontrollü bir şekilde kaldırılmıştır. Bu işlemler üst katlardan başlanarak alt katlara doğru sistematik biçimde gerçekleştirilmiş; oluşan molozlar yapı dışına taşınarak sahadan uzaklaştırılmıştır.



Şekil 4.97. Güçlendirme perdesi gelecek duvarların yıkılması

Birinci okul binasında güçlendirme çalışmaları kapsamında, zemin kat ile birinci, ikinci ve üçüncü katlarda yer alan taşıyıcı özelliği bulunmayan bölme duvarların tamamı kontrollü bir şekilde kaldırılmıştır. Yapı bütünlüğünün sağlanması ve perde sisteminin temel seviyesinden çatı kotuna kadar süreksizliğinin sağlanması amacıyla, güçlendirme perdelerinin yer aldığı kesitlerde mevcut bodrum katta bodrum perdeleri hidrolik beton kesme makineleri kullanılarak yapıdan uzaklaştırılmıştır. Bu müdahale, TBDY-2018 yönetmeliği doğrultusunda dikey taşıyıcı sistem sürekliliğinin sağlanması ve sismik performansın artırılması hedefiyle gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.98. Hidrolik makinelerle bodrum perdesi kesilmesi

4.8.2. Temel imalatı gereken yerlere temel takviyesi yapılması

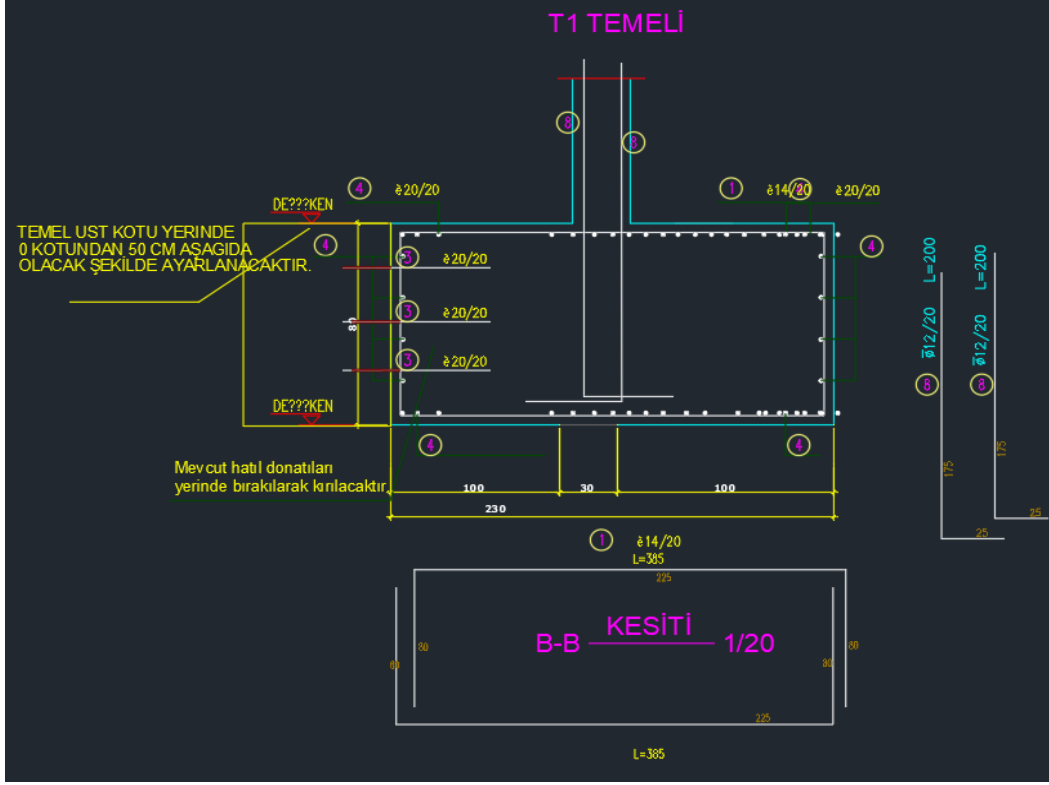
İkinci okul binasında yer alan YP2 numaralı güçlendirme perdesinin kesitinde mevcutta temel bulunmaması nedeniyle, yapı sistemine ilave temel takviyesi uygulanması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Projede belirtilen kazan dairesi mahalinde öngörülen derinlikte temel kazısı gerçekleştirilmiştir. Kazı işleminin ardından, yeni temel ve mevcut mütemadi temelin birlikte çalışmasını sağlamak amacıyla projede tarif edilen teknik esaslara uygun şekilde ankraj elemanları yerleştirilmiştir . Beton dökümünden önce, mevcut beton ile yeni betonun temas yüzeyleri aderans artırıcı malzeme ile kaplanmıştır.



Şekil 4.99. Temel kazısı yapılması



Şekil 4.100. İkinci okula temel yapısı eklenmesi



Şekil 4.101. Yeni uygulanacak temel kesiti

Yeni temel elemanının beton döküm işlemi tamamlanarak, güçlendirme perdesinin imalatına uygun hale getirilmiştir. . Ayrıca, herhangi bir oturma riskine karşı temel yanları uygun granülometrik özelliklere sahip dolgu malzemesi ile desteklenmiş ve zemin stabilitesi sağlanmıştır.

4.8.3. Güçlendirme perdesi yapılacak yerlerdeki kolon kiriş beton üstü örtünün temizlenmesi

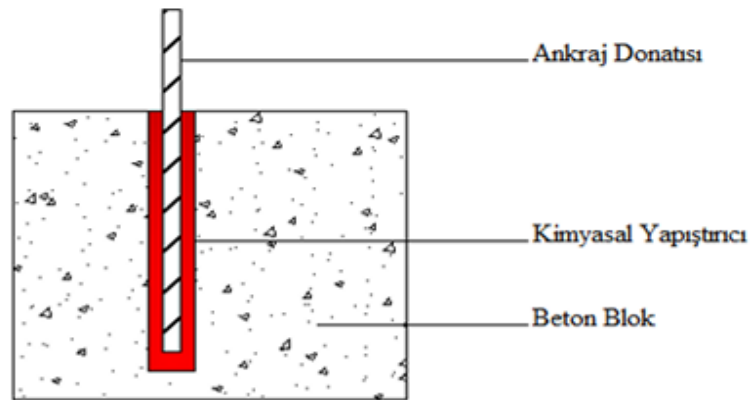
Yapıya entegre edilecek güçlendirme perde sistemlerinin, mevcut kolon ve kirişlerle birleşim bölgelerinde yer alan beton üzerindeki yüzey örtüsünün tamamen kaldırılmıştır. Yeni uygulanacak beton ile mevcut beton yüzeyleri arasında yeterli aderansın sağlanması, özellikle deprem anında taşıyıcı sistemin bütünlüğü açısından kritik öneme sahiptir. Bu kapsamda, beton örtüsünün kaldırılmasının ardından, eski ve yeni betonun etkin şekilde kaynaşabilmesi için yüzeyler toz ve gevşek partiküllerden tamamen arındırılmıştır.



Şekil 4.102. Beton örtüsünün temizlenmesi aşaması

4.8.4. Ankraj uygulaması

Betonarme yapıların güçlendirme çalışmaları sırasında, taşıyıcı eleman kesitlerinin büyütülmesi ya da mevcut sisteme yeni taşıyıcı eleman eklenmesi gerektiğinde, donatıların betona sabitlenmesi için en yaygın kullanılan yöntem kimyasal ankrajlardır. Kimyasal ankrajlar, sertleşmiş betona sonradan açılan deliklere uygulanarak bağlantı sağlayan ankraj tipleridir. Bu ankrajlar, planlama, tasarım ve uygulama süreçlerinde büyük kolaylık sağlar. Yüksek yapışma dayanımları, kolay ve hızlı uygulanabilir olmaları nedeniyle tercih edilmektedirler. Özellikle güçlendirme perdelerinin başlık kısımlarında veya kolon mantolarında olduğu gibi moment aktarımının kritik olduğu durumlarda, kimyasal ankrajların büyük çekme kuvvetlerine dayanıklı olması gereklidir (Gürbüz, 2007; Seyhan, 2006).



Şekil 4.103. Ankraj kesiti (Ağdağ, 2019)

Kimyasal Ankraj Dayanımını Etkileyen Faktörler

- Ankraj deliğinin temizliği,

- Ortam sıcaklığı, nem ve kür süresinin etkisi,
- Ankrajların bağlanma durumları,
- Ankraj çubuğunun dayanımı,
- Açılan deliğin çapı ve ankrajın gömülme derinliği,
- Mevcut betonun dayanımı ve durumu (çatlak oluşumu),
- Ankraj kenar uzaklıkları ve ankrajlar arası mesafe,
- Bağlayıcının (kimyasal yapıştırıcı) cinsi ve kalitesi (Ağdağ, 2019)

4.8.4.1. Ankraj deliklerinin açılması

Ankraj delikleri, aşağıda sunulan sarfiyat tablosunda belirtildiği üzere, projede öngörülen donatı çaplarına bağlı olarak, 4–6 mm daha büyük çapta matkap uçları kullanılarak, gerekli çap ve derinlikte açılmıştır. Açılan deliklerin derinlikleri, uygun ölçüm ekipmanları ile kontrol edilmiştir.



Şekil 4.104. Ankraj deliğinin açılması

Tablo 4.113. Sarfiyat tablosu

Filiz Çapı mm	Delik Çapı (mm)		Delik Derinliği(mm)		Gerekli Epoksi Harç Miktarı (ml)	
	Min.	Maks.	Min.	Maks.	Min.	Maks.
10	14	16	100	150	7.92	19.31
12	16	18	120	180	11.09	26.73
14	18	20	140	210	14.78	35.34
16	20	22	160	240	19.01	45.14
18	22	24	180	270	23.76	56.13
20	24	26	200	300	29.04	68.31
24	28	30	240	360	41.18	96.23

Dikkat edilmesi gereken hususlar :

Mevcut kolon kirişlerdeki etriyelerin tespitinin doğru bir şekilde yapılması gerekmektedir. Tam tespit edilemeyen kiriş ve kolonlardaki donatıların olduğu kısma çok fazla delik açarak yapıya zarar vermesi engellenmelidir. Ankraj delikleri delinirken mevcut betona zarar vermeden dikkatli bir şekilde delinmelidir.

Tablo 4.114. Birinci okul binası ankraj tablosu

Perde Adı	Bulunduğu Kat	Donatı Çapı	Kirişlerdeki Adet		Kolonlarda Adet		Ankraj Uzunluğu
			Alt	Üst	Sağ	Sol	
GP1	Bodrum Kat	20	20	20	20	20	100 cm
GP1	Zemin Kat	20	20	20	20	20	100 cm
GP1	1. Kat	20	20	20	20	20	100 cm
GP1	2. Kat	20	20	20	20	20	100 cm
GP1	3. Kat	20	20	20	20	20	100 cm
GP2	Bodrum Kat	20	20	20	20	20	100 cm
GP2	Zemin Kat	20	20	20	20	20	100 cm
GP2	1. Kat	20	20	20	20	20	100 cm
GP2	2. Kat	20	20	20	20	20	100 cm
GP2	3. Kat	20	20	20	20	20	100 cm

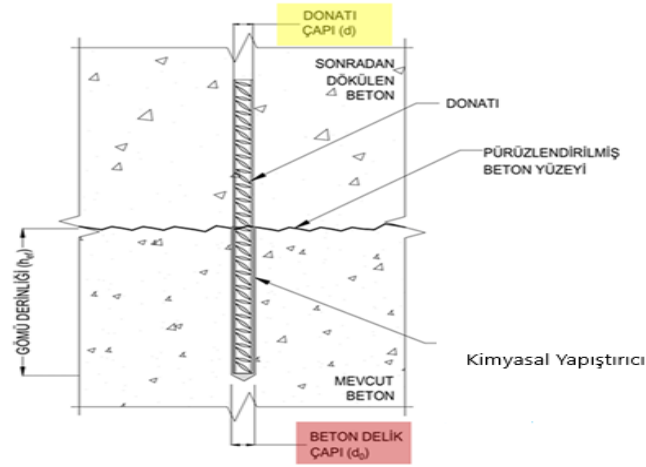
Birinci okul binasının projesinde Ø20 çapta ankraj verilmiştir. Demir donatıların mevcut beton yüzeye gömülme derinliği projemizde kolonlara 25 cm kiriş ve temele 30 cm olarak verilmiştir. Ankraj deliklerimiz projedeki adet ve derinliğine göre mevcut betonarme kolon ve kirişlerimizde açılmıştır.

Tablo 4.115. İkinci okul binası ankraj tablosu

Perde Adı	Bulunduğu Kat	Donatı Çapı	Kirişlerdeki Adet		Donatı Çapı	Kolonlarda Adet		Ankraj Uzunluğu
			Alt	Üst		Sağ	Sol	
GP2	Zemin Kat	22	46	46	20	14	14	120 cm
GP2	1. Kat	22	46	46	20	14	14	100 cm
GP2	2. Kat	22	46	46	20	14	14	100 cm
GP4	Zemin Kat	22	28	28	20	16	16	120 cm
GP4	1. Kat	22	28	28	20	14	14	100 cm
GP4	2. Kat	22	28	28	20	14	14	100 cm
GP5	Zemin Kat	22	28	28	20	16	16	120 cm
GP5	1. Kat	22	28	28	20	14	14	100 cm
GP5	2. Kat	22	28	28	20	14	14	100 cm
GP6	Zemin Kat	22	28	28	20	16	16	120 cm
GP6	1. Kat	22	28	28	20	14	14	100 cm
GP6	2. Kat	22	28	28	20	14	14	100 cm

İkinci okul binasında ise projede mevcut betonarme kolon ve kiriş elemanlarında kullanılmak üzere Ø20 mm ve Ø22 mm çaplarında ankraj donatıları öngörülmüştür. Donatıların mevcut beton yüzeyine gömülme derinliği, proje kapsamında genel olarak 30

cm olarak belirlenmiştir. Ankraj delikleri, projede belirtilen adet ve derinlik değerlerine uygun şekilde, mevcut kolon ve kirişler üzerinde açılmıştır.



Şekil 4.105. Ankraj yapımının kesiti



Şekil 4.106. Ankraj delikleri uzunluğunun projeye uygunluğunun ölçülmesi



Şekil 4.107. Ankraj uzunluklarının projeye uygunluğunun ölçülmesi

4.8.4.2. Ankraj deliklerinin temizlenmesi

Ankraj donatılarının beton ve kullanılan kimyasal bağlayıcı malzemenin aderans oluşturabilmesi için, ankraj deliklerinde bulunan gevşek parçacıklar ve tozlar basınçlı hava kullanılarak uzaklaştırılmıştır. Temizleme işleminin ardından, matkap ucuna monte edilen silindirik tel fırça yardımıyla delik çeperlerindeki zayıf yapı elemanları uzaklaştırılmış; böylece yüzey pürüzlülüğü artırılarak bağlanma performansının iyileştirilmesi hedeflenmiştir.



Şekil 4.108. Ankraj delikleri temizlenirken ve temizlenmiş hali

4.8.4.3. Ankrajların epoksi ile yerine yerleştirilmesi

Hem statik hem de deprem durumlarında beton-çelik bağlantılarının güvenliğini ve dayanıklılığını sağlamak için oldukça önemlidir.

ETA ve UTO Belgeleri: Avrupa Teknik Değerlendirmesi (ETA) ve Ulusal Teknik Onay (UTO), kullanılan malzemelerin ilgili standartlara uygunluğunu belgeleyen sertifikalardır. Bu belgeler, malzemelerin hem statik hem de deprem durumlarına uygun olduğunu garanti eder.

Deprem durumu için EOTA Teknik Raporu TR045'e göre tasarım yapılmalı ve malzeme deprem durumuna uygun ETA veya UTO belgesine sahip olmalıdır. (Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı İnşaat Genel Teknik Şartnamesi)

Öncelikle kimyasal yapıştırıcılarımızın Avrupa Teknik Değerlendirmesi (ETA) belgesi olması istenilmektedir. Uygulamalarımızda bu şartları sağlayan kimyasal yapıştırıcılar kullanılmıştır.

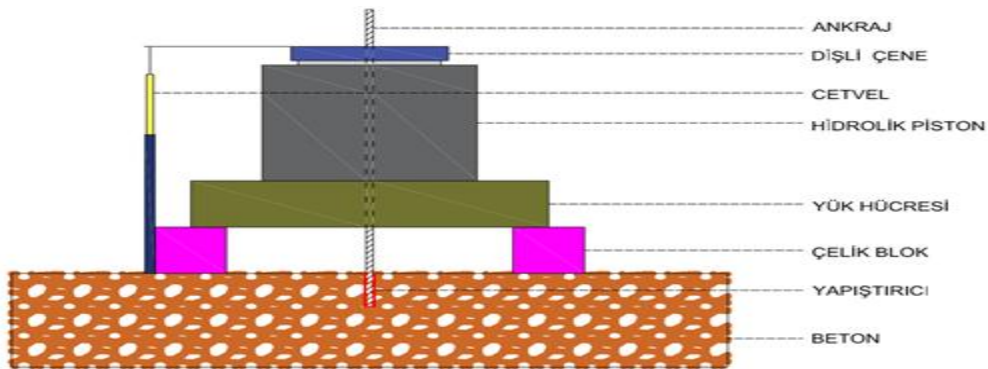
Hazırlığı tamamlanan ankraj deliklerine, kimyasal yapıştırıcılar delik tabanından yüzeye doğru enjekte edilerek doldurulmuştur. Ardından, Ø20 ve Ø22 çapındaki donatılar, dönme hareketi uygulanarak delik içerisine yerleştirilmiş ve bu sırada yapıştırıcının bir miktarının delik dışına taşıdığı gözlemlenmiştir. Son aşamada, yerleştirilen donatıların terazisinin ayarlanmıştır.



Şekil 4.109. Kimyasal yapıştırıcıların ankraj deliklerine sıkılması ve filizlerin ankraj deliklerine yerleştirilmesi

4.8.4.4. Ankraj performans testi

Ekilen ankrajlarımız iki gün süreyle kimyasal yapıştırıcımızın dayanım kazanması için bekletilmiştir. Sahada seçilen ankrajların performans kontrolü yapılması için çekme testleri uygulanması gerekmektedir.



Şekil 4.110. Ankraj test cihazı kesiti (Ağdağ, 2019)

En kolay uygulanabilir aderans testlerinden biri çekip çıkarma deneyidir. Bu yöntemde, betona yerleştirilen düz yüzeyli donatılarda kenetlenme boyunun yeterli olması durumunda donatı akma sınırına ulaşmakta; ancak kenetlenme yetersizse, donatı beton kütesinden sıyrılarak ayrılmaktadır. Ayrıca, nervürlü çubukların kullanıldığı çekip çıkarma deneylerinde çatlak genişlikleri daha düşük seviyelerde gözlemlenmekte ve sıyrılma davranışı daha sınırlı kalmaktadır. Ankrajların bu deney sırasındaki davranışları incelendiğinde ise aşağıdaki göçme mekanizmaları tespit edilmektedir (Müsevitoğlu, 2019).

Ankraj çubuğunun sıyrılması : Ankraj donatısının beton küteden ayrılarak dışarı çıkma durumudur. Kimyasal ankrajlar, ankraj derinliği boyunca yapışma dayanımlarını aştığında bu tür bir sıyrılma gerçekleşebilir. Bu göçme durumu, genellikle yapışma dayanımının düşük olması veya ankraj uygulaması sırasında dikkat edilmesi gereken bazı hususların ihmal edilmesi sonucunda ortaya çıkar.

Özellikle yüzeyin yeterince temizlenmemesi veya kür koşullarının doğru bir şekilde sağlanmaması, kimyasalın yapışma dayanımını tam anlamıyla kazanmasını engelleyerek bu soruna neden olabilir. Ankraj sisteminin doğru şekilde uygulanması, bu tür problemleri önlemek için oldukça kritik bir gerekliliktir (Müsevitoğlu, 2019).

Dikkat edilecek hususlar ;

Filiz ekimi her kata ayrı ayrı yapılacak olup, bir katın filiz ekimi yapıp çekme deneyleri tamamlandıktan sonra diğer bir katın filiz ekimine geçilebilecektir.

Çekme deneyi, filiz ekimi sırasında kullanılan yapıştırma malzemesi mukavemetine ulaştıktan sonra yapılacaktır. Çekme deneyinde kullanılacak test cihazının kalibrasyonu, çekme deneylerine, başlanmadan önce yaptırılacaktır.

Çekme deneyi; Üniversiteler, TSE, TÜBİTAK, Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, DSİ, TCK, Meslek Odaları, v.b. kuruluşlar ile TSE ve Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından belgeli firmalara yaptırılacaktır.

Çekme deneyi; her kat için, her biri ayrı ayrı olmak şartıyla perde ilavesi veya kolon mantolanması için tespit edilen ankraj filizlerinden en az üç tane olmak şartıyla deneyi uygulayacak kurum veya firma tarafından belirlenecek sayıda deney numunesine uygulanacaktır.

Çekme deneyi sırasında, ankraj çubuğunun yapıştırma malzemesi ile birlikte ankraj deliğinden delik çevresindeki eski betonda deformasyon yaratarak ayrılması durumu kusurlu imalat sayılmayacaktır. Ancak söz konusu ankraj aynı bölgede yenilenecektir.

Her katta çekme deneyi uygulanan numunelerin en az % 10'u kusurlu ise numune sayısı bir önceki testin iki katına çıkarılarak tekrarlanacaktır. Yeni deneyde yine % 10'u hatalı ise numune sayısı tekrar iki katına çıkarılarak yeni bir deney yapılır. Bu tekrarın herhangi bir katta 4 kez yapılması halinde o katta uygulanan ankraj filizleri kabul edilemez. Bu durumda o kata ait tüm ankraj filizleri sökülerek yeniden yapılacaktır. Deneyin başarılı olması durumunda yalnızca kusurlu imalatlar yenilenecektir.



Şekil 4.111. Ankraj çekme deneyleri yapılması

Tablo 4.116. Ankrajların çapına göre olması gereken değerleri

330 TONLUK-C HAZ (600 BAR) %70			
ÇAP	BAR	KN	KGF
Ø14	53	39,34	4010
Ø16	70	51,37	5237
Ø18	87	65,02	6628
Ø20	107	80,26	8183
Ø22	130	97,11	9902
Ø24	160	115,57	11784
Ø25	175	125,39	12785
Ø26	190	135,64	13830
Ø27	205	146,55	14943
Ø28	220	157,47	16056

Tablo 4.117. Testlerde minimum akma miktarı

ÇAP(mm)	ALAN(r ²)	Min. Akma Kuvveti (fyk)			Min. Akma Kuvveti (fyd=fyk/1,15)		Min. Akma Kuvveti(%70)	
		N	KN	KGF	KN	KGF	KN	KGF
Ø14	153.86	64621	64,62	6587	56,2	5728	39,34	4010
Ø16	200.96	84403	84,4	8604	73,39	7482	51,37	5237
Ø18	254.34	106823	106,82	10889	92,89	9469	65,02	6628
Ø20	314	131880	131,88	13443	114,68	11690	80,28	8183
Ø22	379.94	159575	159,58	16267	138,77	14145	97,14	9902

Tablo 4.117(devamı). Testlerde minimum akma miktarı

ÇAP(mm)	ALAN(r ²)	Min. Akma Kuvveti (fyk)			Min. Akma Kuvveti (fyd=fyk/1,15)		Min. Akma Kuvveti(%70)	Min. Akma Kuvveti(%70)
		N	KN	KGF	KN	KGF		
Ø24	452.16	189907	189,91	19359	165,14	16834	115,6	11784
Ø25	490.63	206064	206,06	21005	179,18	18265	125,42	12785
Ø26	530.66	222877	222,88	22719	193,81	19757	135,67	13830
Ø28	615.44	258485	258,5	26352	224,79	22915	157,5	16056
Ø30	706,5	296730	296,73	30249	258,03	26304	180,6	18410
Ø32	803,84	337613	337,6	34415	293,56	29926	205,5	20948

Tablo 4.118. Birinci okul binası ankraj çekme test sonuçları

ANKRAJ DERİNLİĞİ (cm) Kolonlarda 25, temel ve kirişlerde 30 cm

DONATI ÇAPI (mm) Ø20

DELİK ÇAPI (mm) 24 mm

DENEY YAPILAN KAT BODRUM + ZEMİN+ 1. +2.+ 3. KATLAR

DENEY NO	DENEY YÖNÜ	KAT	ANKRAJ YÖNÜ	UYGULANAN KUVVET			İSTENİLEN KUVVET		
				BAR	KN	KGF	BAR	KN	KGF
1	√	B. Kat	Yatay Ø 20	140	104,79	10684	107	80,26	8183
2	√	B. Kat	Yatay Ø 20	140	104,79	10684	107	80,26	8183
3	√	B. Kat	Dikey Ø 20	140	104,79	10684	107	80,26	8183
4	√	B. Kat	Yatay Ø 20	140	104,79	10684	107	80,26	8183
5	√	B. Kat	Yatay Ø 20	140	104,79	10684	107	80,26	8183
6	√	B. Kat	Dikey Ø 20	140	104,79	10684	107	80,26	8183
7	√	Z. Kat	Yatay Ø 20	140	104,79	10684	107	80,26	8183
8	√	Z. Kat	Yatay Ø 20	140	104,79	10684	107	80,26	8183
9	√	Z. Kat	Dikey Ø 20	140	104,79	10684	107	80,26	8183
10	√	Z. Kat	Yatay Ø 20	140	104,79	10684	107	80,26	8183
11	√	Z. Kat	Dikey Ø 20	140	104,79	10684	107	80,26	8183
12	√	1. Kat	Yatay Ø 20	160	114,66	11690	107	80,26	8183
13	√	1. Kat	Dikey Ø 20	150	107,50	10960	107	80,26	8183
14	X	1. Kat	Dikey Ø 20	0	0,00	0	107	80,26	8183
15	√	1. Kat	Yatay Ø 20	140	104,79	10684	107	80,26	8183
16	√	1. Kat	Dikey Ø 20	180	129,00	13153	107	80,26	8183
17	√	2. Kat	Yatay Ø 20	140	104,79	10684	107	80,26	8183
18	√	2. Kat	Yatay Ø 20	140	104,79	10684	107	80,26	8183
19	√	2. Kat	Dikey Ø 20	140	104,79	10684	107	80,26	8183
20	√	2. Kat	Yatay Ø 20	140	104,79	10684	107	80,26	8183
21	√	2. Kat	Yatay Ø 20	140	104,79	10684	107	80,26	8183
22	√	2. Kat	Yatay Ø 20	160	114,66	11690	107	80,26	8183
23	√	3. Kat	Yatay Ø 20	140	104,79	10684	107	80,26	8183
24	√	3. Kat	Yatay Ø 20	140	104,79	10684	107	80,26	8183
25	√	3. Kat	Dikey Ø 20	110	82,34	8395	107	80,26	8183
26	√	3. Kat	Yatay Ø 20	140	104,79	10684	107	80,26	8183
27	√	3. Kat	Yatay Ø 20	140	104,79	10684	107	80,26	8183
28	√	3. Kat	Dikey Ø 20	180	129,00	13153	107	80,26	8183
29	√	3. Kat	Dikey Ø 20	140	104,79	10684	107	80,26	8183
√	Testi Geçti	X	Testi Geçemedi	(-)	Beton Kırıldı				

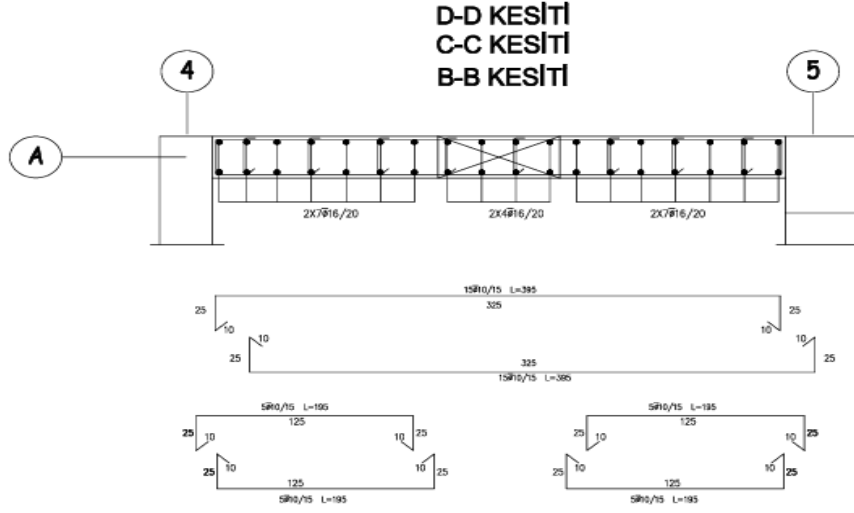
Tablo 4.119. İkinci okul inası ankraj çekme test sonuçları

ANKRAJ DERİNLİĞİ (cm)		Kolonlarda 30, temel ve kirişlerde 30 cm						
DONATI ÇAPI (mm)		Ø20- Ø22						
DELİK ÇAPI (mm)		24-26 mm						
DENEY YAPILAN KAT		ZEMİN+ 1. +2. KATLAR						
DENEY NO	DENEY	KAT	ANKRAJ YÖNÜ	UYGULANAN KUVVET		İSTENİLEN KUVVET		
				BAR	KN	BAR	KN	KGF
1	√	Zemin Kat	Dikey Ø 22	220	157,47	130	97,11	9702
2	√	Zemin Kat	Yatay Ø 20	140	104,79	107	80,26	8183
3	√	Zemin Kat	Dikey Ø 22	220	157,47	130	97,11	9702
4	√	Zemin Kat	Yatay Ø 20	160	114,66	107	80,26	8183
5	√	Zemin Kat	Dikey Ø 22	220	157,47	130	97,11	9702
6	X	Zemin Kat	Dikey Ø 22	70	51,37	130	97,11	9702
7	√	Zemin Kat	Dikey Ø 22	180	129,00	130	97,11	9702
8	√	Zemin Kat	Yatay Ø 20	220	157,47	107	80,26	8183
9	√	Zemin Kat	Dikey Ø 22	160	114,66	130	97,11	9702
10	√	Zemin Kat	Yatay Ø 20	220	157,47	107	80,26	8183
11	√	Zemin Kat	Dikey Ø 22	160	114,66	130	97,11	9702
12	√	1. Kat	Dikey Ø 22	140	104,79	130	97,11	9702
13	√	1. Kat	Yatay Ø 20	220	157,47	107	80,26	8183
14	√	1. Kat	Yatay Ø 20	140	104,79	107	80,26	8183
15	√	1. Kat	Dikey Ø 22	220	157,47	130	97,11	9702
16	√	1. Kat	Yatay Ø 20	160	114,66	107	80,26	8183
17	X	1. Kat	Yatay Ø 20	0	0,00	107	80,26	8183
18	√	1. Kat	Yatay Ø 20	220	157,47	107	80,26	8183
19	√	1. Kat	Dikey Ø 22	160	114,66	130	97,11	9702
20	√	1. Kat	Dikey Ø 22	205	146,55	130	97,11	9702
21	√	1. Kat	Yatay Ø 20	220	157,47	107	80,26	8183
22	√	1. Kat	Dikey Ø 22	160	114,66	130	97,11	9702
23	√	2. Kat	Yatay Ø 20	160	114,66	107	80,26	8183
24	√	2. Kat	Dikey Ø 22	220	157,47	130	97,11	9702
25	√	2. Kat	Yatay Ø 20	180	129,00	107	80,26	8183
26	√	2. Kat	Yatay Ø 20	220	157,47	107	80,26	8183
27	√	2. Kat	Dikey Ø 22	180	129,00	130	97,11	9702
28	√	2. Kat	Yatay Ø 20	220	157,47	107	80,26	8183
29	√	2. Kat	Dikey Ø 22	180	129,00	130	97,11	9702

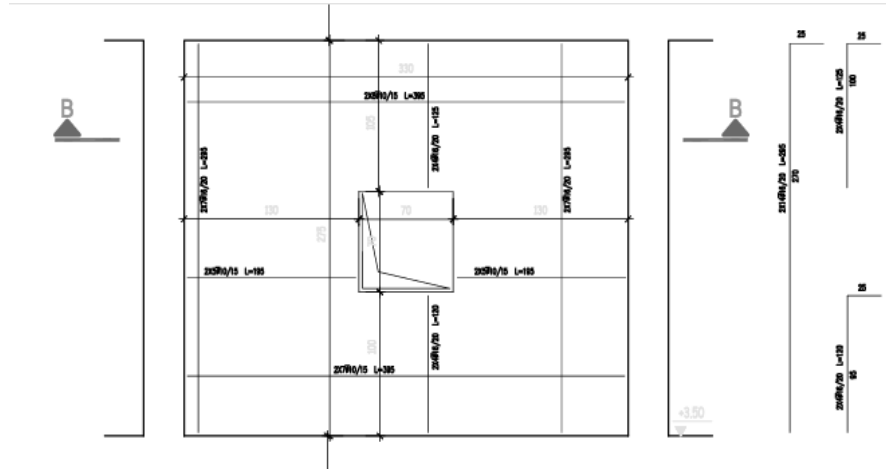
Ankrajlarda testler yapılmış çekme deneyi düşük çıkan sayı kadar tekrar ankraj ilave edilmiştir.

4.8.5. Perde donatılarının yerleştirilmesi

Ankraj uygulaması tamamlanan güçlendirme perdelerine, projede belirtilen detaylara uygun olarak yatay ve düşey doğrultularda donatı yerleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.112. Birinci okul güçlendirme perdesi donatı planı



Şekil 4.113. Birinci okul güçlendirme perdesi detayı



Şekil 4.114. Birinci okul Gp2 perdesi demir donatı yerleştirilmesi

Birinci okul binası güçlendirme projesi kapsamında, GP1 ve GP2 numaralı perdelerde yer alan pencere açıklıkları, mevcut mimari detaylar doğrultusunda korunmuş; bu açıklıklar, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY-2018) kapsamında belirtilen ilgili hükümler dikkate alınarak projelendirilmiş ve uygulanmıştır.

Yeni yapılacak demirlerden çekme deneyi yapılması: Deney yapmak üzere numune alınacak parti, tam döküm veya dökümün bir kısmı olabilir. Deney sıklığı aşağıdaki şekilde olmalıdır:

a) Kimyasal bileşimin tayini için numune alınan her partide bir analiz yapılmalıdır. Kimyasal bileşim (Döküm analizi) çelik imalatçısı tarafından her dökümde belirlenmelidir.

b) Bükme ve/veya geri bükme deneyleri ile kütle tayini ve yüzey geometrisi

deneyleeri için, numune alınan her parti ve her anma çapı için bir deney parçası alınmalıdır.

c) Çekme deneylerinde, her 30 tonluk mamul partisinden bir deney parçası olmak üzere, numune alınan her parti ve her anma çapı için en az üç deney parçası alınmalıdır (TS 708).

Türk Standartı TS 708'e uygun olarak şantiyelerimize gelen her çap demirde numune alınarak çekme deneyine gönderilmiştir. Gönderilen numunelerin sonuçları ise aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 4.120. Türk Standartı 708- Anma Çapına göre Sınır Değerler
TS 708/Mart 2016 - SINIR DEĞERLERİ

Anma Çapı	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Birim Anma Kütlesi 6.0 (kg/m)	Uzunluk %
	Akma Dayanımı	Re act / Re nom	Çekme Dayanımı	Rm /Re	Kopma % Uzama		
ø	Re(N/mm2)		Rm(N/mm2)		AS(%)	Min.	Max.
ø10	420	1.30	500	1.15	10	0.580	0.654
ø10.5	420	1.30	500	1.15	10	0.638	0.720
ø11.0	420	1.30	500	1.15	10	0.701	0.791
ø11.5	420	1.30	500	1.15	10	0.766	0.864
ø12.0	420	1.30	500	1.15	10	0.835	0.941
ø12.5	420	1.30	500	1.15	10	0.905	1.021
ø13.0	420	1.30	500	1.15	10	0.979	1.105
ø14.0	420	1.30	500	1.15	10	1.137	1.283
ø14.5	420	1.30	500	1.15	10	1.218	1.374
ø15.0	420	1.30	500	1.15	10	1.303	1.469
ø15.5	420	1.30	500	1.15	10	1.392	1.570
ø16.0	420	1.30	500	1.15	10	1.485	1.675
ø16.5	420	1.30	500	1.15	10	1.577	1.779
ø18.0	420	1.30	500	1.15	10	1.880	2.120
ø18.5	420	1.30	500	1.15	10	1.982	2.236
ø20.0	420	1.30	500	1.15	10	2.322	2.618
ø20.5	420	1.30	500	1.15	10	2.435	2.745
ø22.0	420	1.30	500	1.15	10	2.806	3.164
ø22.5	420	1.30	500	1.15	10	2.993	3.307
ø24.0	420	1.30	500	1.15	10	3.337	3.763

Tablo 4.121. Donatı çeliği deney raporu

Numune No	Anma Çapı (mm)	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Birim Uzunluk Kütlesi (kg/m)
		Akma Dayanımı Re(N/mm2)	Re act / Re nom	Çekme Dayanımı Rm(N/mm2)	Rm /Re	Kopma % Uzama AS(%)	
1	12	495.87	1.18	605.973	1.22	20.17	0.88
2	12	482.64	1.15	601.278	1.25	20.33	0.88
3	12	495.02	1.18	599.572	1.21	20.50	0.89
4	16	458.88	1.08	572.243	1.26	20.12	1.58
5	16	452.96	1.08	578.018	1.28	20.25	1.58
6	16	453.20	1.08	571.761	1.26	20.37	1.59
7	20	513.68	1.22	639.363	1.24	20.10	2.47
8	20	512.81	1.22	644.663	1.26	20.20	2.47
9	20	518.75	1.24	653.901	1.26	20.30	2.48

4.8.6. Perde kalıplarının imalatı

Güçlendirme perdesinin bir yüzeyinde, kalıp imalatı perde boyunca kiriş alt kotuna kadar uzanacak şekilde tüm yüzey kapatılmıştır. Karşı yüzeyde ise, kiriş alt kotunun yaklaşık 10–15 cm altında huni formunda bir açıklık bırakılmıştır. Bu açıklık, taze betonun kalıba kontrollü ve homojen biçimde yerleştirilmesini kolaylaştırmak amacıyla tasarlanmıştır. Gerekli durumlarda, üst döşeme seviyesinde, kiriş kenarına yakın konumda beton pompası borusunun geçişine olanak sağlayacak çapta bir delik açılarak betonun kalıba iletimi sağlanmıştır.



Şekil 4.115. Perde kalıplarının yapılması

4.8.7. Beton dökülmesi

Projelerde tanımlandığı üzere, her iki okul binasında da C30 sınıfı kendiliğinden yerleşen beton (KYB) kullanılmıştır. Beton döküm işlemleri sırasında, her katın ayrı zaman dilimlerinde dökülmesine özen gösterilmiş; böylece katlar arası aderansın sağlanması ve betonun performansının optimize edilmesi amaçlanmıştır.

Kendiliğinden yerleşen beton: Kendi ağırlığı ile akışkan bir şekilde yayılabilen ve sıkışabilen, homojenliğini kaybetmeden karmaşık kalıpları, dar kanalları ve yoğun donatı içeren beton bileşenlerini doldurabilen özel bir beton türüdür (Topçu ve ark., 2008). Bu beton türü, genellikle çökme-yayıma özelliklerine ek olarak viskozite, geçiş yeterliliği ve elek ayrışma direnci kriterlerine göre sınıflandırılır.

Kendiliğinden yerleşen beton (KYB) uygulanmasında, betonun yerleştirilme süreci süreklilik arz etmeli ve mümkün olduğunca tek seferde tamamlanmalıdır. Yerleştirme hızı ile uyumlu bir döküm hızı sağlanarak segregasyon ve ayrışma riskleri minimize edilmelidir. Ayrıca, KYB'nin serbest düşüş yüksekliği ve yatay yayılma

mesafesi, taze betonun özelliklerini ve homojenliğini bozmayacak şekilde sınırlandırılmalıdır. Kendiliğinden yerleşen betonda vibrasyon uygulaması genel olarak önerilmemekte; bunun yerine, betonun kendi kendine yerleşme kapasitesinden yararlanılarak yüzey düzeltmeleri hafif müdahalelerle gerçekleştirilmektedir (Okamura ve Ouchi, 2003; Topçu ve ark., 2008).



Şekil 4.116. Beton dökülme aşamaları

4.8.7.1. Beton numunelerinin alınması

Taze betonun kalitesi dökülen betondan numune alınarak belirlenir. Bu numunelerin, şantiyede dökülen betonun birebir örneği olduğu, onun kalitesini temsil ettiği varsayılarak değerlendirilir. Numune alınırken, beton karışımının tamamının homojen bir şekilde dağılmasına özen gösterilmelidir. Numune alındıktan sonra hemen taşınmaması gerekmektedir. Üstü nemli bir bez ve naylon ile kapatılarak 1 gün boyunca muhafaza edilmelidir.

Her bir beton numunesi, farklı üretim partilerinden veya ayrı transmikserlerden alınmalı, böylece temsil yeteneği sağlanarak kalite kontrol güvenilirliği artırılmalıdır (Akakin, 2003). 15x15 lik numune kaplarına numuneler beton dökülmesi esnasında alınmıştır.

Tablo 4.122. Beton numunesi adet çizelgesi (Tablo Çevre Şehircilik Bakanlığı Beton Dökümü konulu 13.04.2022 tarihli genelgeden alınmıştır.)

I.Kriter	2.Kriter	Numune	7 Günlük	28 Günlük	Toplam
Dökülen Beton Miktarı (111 ³)	Beton Dökülen Yerin Alanı (m2)	Alınacak Transmikser Sayısı		(Ad.)	Numune Sayısı (Ad.)
0-24		2	2	6	8
25-100	450	3	3	9	12
101-150		4	4	12	16
151-200	651-850	5	5	15	20
201-250	851-1050	6	6	18	24
251-300	1051-1250	7	7	21	28
301-400	1251-1450	8	8	24	32
401-500	1451-1650	9	9	27	36
501-600	1651-1850	10	10	30	40
»600	»1850	İlave her 200m ³ hacim veya ilave her 900 alan için yukarıdaki sayılara 1 ilave edilir.	İlave her 200111 ³ hacim veya ilave her 900m ² alan için yukarıdaki sayılara 1 ilave edilir.	İlave her 200m ³ hacim veya ilave her 900m ² alan için yukarıdaki sayılara 3 ilave edilir.	İlave her 200111 ³ hacim veya ilave her 900 m alan için yukarıdaki sayılara 4 ilave edilir.

Tablo 4.123. İkinci okul zemin kat perde duvar beton metrajı

Perde Adı	En(m)	Boy(m)	Yükseklik (m)	Toplam m3
GP2	0,3	6,6	3,3	6,534
GP4	0,3	3,3	3,3	3,267
GP4	0,3	3,3	3,3	3,267
GP5	0,3	3	3,3	2,97
GP6	0,3	2,85	3,3	2,8215
		Toplam		18,8595

Tablo 4.124. Birinci okul bodrum kat perde duvar beton metrajı

Perde Adı	En(m)	Boy(m)	Yükseklik (m)	Toplam m3
GP1	0,3	3,3	3,3	3,267
GP2	0,3	3,3	3,3	3,267
		Toplam		6,534

Her iki okul binasına ait kat beton metrajları çıkarılarak, alınması gereken numune miktarları belirlenmiştir. İlgili tabloda belirtildiği üzere, her katta dökülen beton hacminin 0–24 m³ aralığında olması nedeniyle, her kat için toplam 8 adet numune alınmıştır. Bu uygulama, betonun taze ve sertleşmiş haline ilişkin kalite kontrol süreçlerinin yönetmeliklere uygun şekilde yürütülmesini amaçlamaktadır.



Şekil 4.117. Dökülen beton numunelerinin alınması

Tablo 4.125. TS 500'e göre olması gereken beton numune sonuç değerleri

TS 500 TS 13515 Ek B1 28 günlük basınç dayanımı deney sonuçları denetim kriterleri (1. ve 2. kriterleri aynı anda sağlamalıdır.)	Belirli hacimdeki betondan elde edilen Deney Sonucu Adedi "n"	1. Kriter 'n' Adet deney sonuçları ortalaması (fcm) N/mm2	2. Kriter Herhangi tek deney sonucu (fci) N/mm2	Kıvam Sınıfları ve Sapma			Beton Sınıfları ve Dayanımları		
				SINIF	SLUMP (mm)	SAPMA (mm)	BETON SINIFI	SİLİNDİR	KÜP
				S1	10-40	± 10	C16/20	16	20
				S2	50-90	± 10	C20/25	20	25
							C25/30	25	30
							C30/37	30	37
				S3	100-150	± 10	C35/45	35	45
							C40/50	40	50
	1	Uygulanamaz	≥ fck	S4	160-210	± 10	C45/55	45	55
	2-4	≥ fck+ 1.0	≥ fck- 4.0				C50/60	50	60
	5 ve daha fazla	≥ fck+ 2.0	≥ fck+ 4.0						

Tablo 4.126. Birinci okul beton basınç deney raporu

Kullanılan Beton		C30										
Kalıp Boyut Şekli (mm)		15x15x15										
Numune Adedi		8										
T. Mikser No.	Kalıp No	Numune Alınma Saat/ dak.	Sıcaklık(°C)		Ölçülen Slump (mm)	Kırılma Yüğü	Görünür Yoğunluk (kg/m2)	Basınç Dayanım Değerleri N/mm2 (Mpa)		Deney Sonuçları (fci) N/mm2 (Mpa)	28 Günlük Deney ±%15 Sapma Arahkları	
			Ortam	Beton				7 Günlük	28 Günlük (fci)		- %15 fcm	+%15 fcm
1	1-1	09:30	18	21	18	843.75	0.00	37.50	42.67	41.78	37.71	42.91
	1-2					960.00	0.00		41.01			
	1-3					922.75	0.00		41.67			
	1-4					937.63	0.00					
2	1-1	09:30	18	21	18	838.35	0.00	37.26	46.37	44.28	31.07	42.03
	1-2					1043.42	0.00		43.43			
	1-3					977.08	0.00		43.04			
	1-4					968.37	0.00					

Basınç Dayanım Değerleri Ortalama 7 Gün Mpa (fcm) : 30.88 **Deney Sonuçları Ortalama 28 Gün Mpa (fcm) : 36.93**

Tablo 4.127. İkinci okul beton basınç deney raporu

Kullanılan Beton		C30										
Kalıp Boyut Şekli (mm)		15x15x15										
Numune Adedi		8										
T. Mikser No.	Kalıp No	Numune Alınma Saat/dak.	Sıcaklık(°C)		Ölçülen Slump (mm)	Kırılma Yüğü	Görünür Yoğunluk (kg/m ²)	Basınç Dayanım Değerleri N/mm ² (Mpa)		Deney Sonuçları (fci) N/mm ² (Mpa)	28 Günü Deney Sapma Aralıkları	Günlük Deney Sapma Aralıkları
			Ortam	Beton				7 Günü	28 Günü			
1	1-1	15:36	34	26	15	714.07	0.00	31.74	33.80	34.18	29.05	39.31
	1-2					760.39	0.00		33.60			
	1-3					756.06	0.00		35.14			
	1-4					790.69	0.00					
2	1-1	15:36	34	26	15	724.03	0.00	31.74	38.28	36.24	30.8	41.68
	1-2					861.38	0.00		33.75			
	1-3					759.42	0.00		36.69			
	1-4					825.45	0.00					

Basınç Dayanım Değerleri Ortalama 7 Gün Mpa (fcm) : 31.96

Deney Sonuçları Ortalama 28 Gün Mpa (fcm) : 35.21

Yapılan laboratuvar çalışmalarında, yukarıdaki tablolarda görüldüğü üzere, her iki okul binasına ait beton basınç dayanımı deneylerinde hem 7 günlük hem de 28 günlük beton numunelerinin standartları karşıladığı belirlenmiştir.

4.8.8. Kalıpların sökülmesi

Beton dökümünü takiben ertesi gün kalıp söküm işlemi gerçekleştirilmiştir. Kalıpların kaldırılmasının ardından, döküm sırasında oluşan üçgen biçimli beton fazlalıkları kırılarak beton yüzeyi düzeltilmiştir. Ayrıca, beton dökümü esnasında meydana gelen yüzey boşlukları, rötresiz tamir harcı kullanılarak doldurulmuş; böylece yüzey bütünlüğü ve estetik görünüm iyileştirilmiştir.



Şekil 4.118. Kalıpların sökülmesi ve beton dökülmesi esnasında oluşan üçgen fazlalık betonun kırılması

4.8.9. Yeni perdelerle sıva ve boya yapılarak onarılması

Sıva uygulamasına başlanmadan önce yüzeylerin temizliği ve düzgünlüğü sağlanmalıdır. Bu kapsamda, uygulama yapılacak betonarme yüzeyler toz, kir, yağ gibi aderansı azaltıcı unsurlardan arındırılmıştır. Yüzey hazırlığı sürecinde, alçı sıvanın yüzeye daha etkin bir şekilde tutunabilmesi amacıyla uygun özellikte astar malzemesi kullanılmıştır. Astar uygulaması, yüzeyin aderansını artırarak alçının mekanik bağlanma kapasitesini güçlendirmektedir.

Alçı, belirtilen oranlarda su ile karıştırılarak macun kıvamına getirilmiştir. Hazırlanan alçı karışımı, spatula veya benzeri el aletleri yardımıyla yüzeye uygulanmıştır. Uygulama genellikle yukarıdan aşağıya doğru olacak şekilde gerçekleştirilmiş; bu yöntem, sıvanın kontrollü yayılımını ve yüzeyde homojen bir dağılımını sağlamaktadır. Son aşamada, sıva yüzeyinin düzgünlüğünü ve estetik görünümünü temin etmek amacıyla mala veya alçı tıraşı kullanılarak yüzey düzeltme işlemi tamamlanmıştır.

Uygulama sonrası alçı sıvanın kuruması için belirli bir süre beklenmiştir. Sertleştikten sonra yüzeydeki küçük pürüzler veya hatalar, zımpara ile düzeltilmiştir. Ardından yüzey önce astar boya kullanılarak kurumaya bırakılmış ardından 2 kat su bazlı boya ile boyanmıştır.

Birinci okul binasında, bodrum katta toprakla temas eden yüzeylere öncelikle su yalıtımı uygulanmış ve ardından dolgu yapılmıştır. Güçlendirme perdeleri dış cepheye ulaştığı için, beton yüzeyler üzerine öncelikle serpmeye sıva uygulanmış, daha sonra 5 cm kalınlığında yalıtım malzemesi ile kaplanmıştır. Yalıtım malzemesi dübellere aracılığıyla duvara sabitlenmiş, üzerine file uygulanarak tekrar yalıtım sıvası çekilmiştir. Bu uygulamaların kurummasının ardından, duvar yüzeyine mineral sıva çekilmiş ve tamamen kurumaya bırakılmıştır. Kuruyan yüzey önce astar boya ile kaplanmış, ardından su bazlı dış cephe boyası ile son kat uygulaması gerçekleştirilmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Elde Edilen Sonuçlar

Bu çalışmada 2005 yılında yapımı tamamlanan iki adet betonarme okul binasının TBDY (2018) esaslarına göre deprem performans analizi yapılarak mevcut durumu değerlendirilmiştir. Binaların mevcut durumları incelendiğinde DD-2 deprem yer hareketi düzeyine göre değerlendirme yaklaşımı Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım (ŞGDT) ilkesiyle yaklaşmıştır.

Yapılan analizler sonucunda şu sonuçlara ulaşılmıştır:

Mevcut durumdaki birinci okul binası için analiz yapılmış olup, TBDY (2018)'ne göre bina okul binası olarak kullanıldığı için BKS=1(bina kullanım sınıfı), bina önem katsayısı $I=1.5$ ve $BYS=7$ (bina yükseklik sınıfı) alınmıştır. Deprem Tasarım Sınıfı 3a (DTS=3a) olup, buna istinaden tablo 3.4 (c) e göre DD-2 için kontrollü hasar (KH) performans hedefi sağlanması gerektiği konusunda uyarıda bulunmuştur. Bu raporda DD-2'e göre kontrollü hasar performans hedefi sağlanmamıştır. DD-2'e göre performans analizi yapıldığında yapımızda kesit yetersizliği, kesme güvenliği yetersizliği, plak yüksekliği yetersizliği ve zemin gerilmesi yetersizliği görülmektedir. Ayrıca yapıda analiz sonucunda 45 adet gevrek eleman tespit edilmiştir. Kolon kesme dağılımında ise +X yönünde belirgin hasar olduğu görülmektedir. Yapılan performans analizi sonucunda yapının gerekli performansa ulaşabilmesi için x yönünde 2 adet güçlendirme perdesi atılmıştır. Güçlendirme sonrasında yapılan analizlerde, yapıda gevrek eleman kalmadığı, deprem etkisiyle oluşan yapı salınımının azaldığı, moment değerlerinin düştüğü ve kesme kuvvetlerine karşı belirgin hasarın oluşmadığı tespit edilmiştir. İtme analiz grafikleri de incelendiğinde güçlendirme sonrası yapının elastik sınırlar içinde kaldığını ve daha rijit bir davranış sergilediği tespit edilmiştir ve binadan istenen performans düzeyini güçlendirme sonunda sağlamıştır. Yapıda fayda/maliyet oranına bakıldığında bu oranın %7.13 olduğu tespit edilmiş ve mimari açıdan ve zaman yönünden perdelerle güçlendirme seçilmiştir.

Mevcut durumdaki 2. Okul binası için analiz yapılmış olup, TBDY (2018)'ne göre bina okul binası olarak kullanıldığı için BKS=1((bina kullanım sınıfı), bina önem katsayısı $I=1.5$ ve $BYS=8$ (bina yükseklik sınıfı) alınmıştır. Deprem Tasarım Sınıfı 3a (DTS=3a) olup, buna istinaden tablo 3.4 (c) e göre DD-2 için kontrollü hasar (KH) performans hedefi sağlanmadığı tespit edilmiştir. Performans analizi yapıldığında yapımızda güçlü kolon yetersizliği ve kuşatılmış kolon yetersizliği görülmektedir. Ayrıca

yapıda analiz sonucunda 8 adet gevrek eleman tespit edilmiştir. Kolon ve kiriş kesme dağılımında -Y yönünde belirgin hasar olduğu görülmektedir. Yapıda dayanım ve yatay rijitlik yetersizliği tespit edildiğinden eleman güçlendirmesi hem yeterli hem de ekonomik olmayacağından dolayı ve yapıdaki perde oranının az olmasından dolayı yapıda sistem güçlendirmesine gidilmiştir. Yapıya analizler sonucu x yönünde 2 adet ve y yönünde 3 adet perde ilavesi yapılarak çözüm sunulmuş ve binadan istenen performans düzeyini güçlendirme sonunda sağlamıştır. Güçlendirme sonrasında yapılan analizlerde, yapıda gevrek eleman kalmadığı, deprem etkisiyle oluşan yapı salınımının azaldığı, moment değerlerinin düştüğü ve kesme kuvvetlerine karşı belirgin hasarın oluşmadığı tespit edilmiştir. Yapıda fayda/maliyet hesabı yapıldığında %10.72 olduğu tespit edilmiştir ve bu güçlendirme uygulanmıştır.

Yapıya betonarme perde elemanlarının eklenmesi, yatay rijitliği artırarak deformasyonları kontrol altına almakta ve taban kesme kuvvetinin büyük bölümünü taşıyarak kolon-kiriş elemanlarının gerilme seviyelerini düşürmektedir. Bu durum, hasar seviyelerinin azalmasına ve yapı performansının yükselmesine katkı sağlamaktadır. Elde edilen bulgular, perde elemanlarıyla yapılan güçlendirme uygulamalarının yapı güvenliğini artıran etkin ve uygulanabilir bir yöntem olduğunu göstermektedir.

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen güçlendirme uygulamaları sayesinde kesit yetersizliği bulunan elemanların tamamı, taşıma gücü açısından hedeflenen performans düzeyine ulaşmıştır. Ayrıca, güçlendirme işlemlerinin TBDY 2018 Deprem Yönetmeliği çerçevesinde nasıl uygulanacağı detaylı bir biçimde açıklanarak, tasarımcı ve uygulayıcı mühendisler için yol gösterici bir kaynak oluşturulmuştur.

5.2. Öneriler

Betonarme perde duvar eklenmesi ile gerçekleştirilen güçlendirme çalışmalarında en önemli konulardan biri mevcut betonla yeni betonun kaynaşması ve ankrajların uygulanması aşamasıdır. Beton yüzeyinin aderansı sağlamak amacıyla tüm toz ve kirden arındırılması gerekmektedir. Ankraj uygulamalarında, mevcut donatıların doğru tespiti büyük önem taşımaktadır. Donatıların konumu ve özellikleri detaylı şekilde belirlenmeden, rastgele ankraj deliklerinin açılması yapısal bütünlüğü zayıflatabilir. Aksi durumda yapıyı güçlendirmekten çok zarar da verilebilir. Ankraj uygulamasında kimyasal yapıştırıcının uygulanmasına önem gösterilmelidir.

Mevcut yapıların yerinde tespiti önemlidir. Güçlendirme uygulamalarının etkinliği yerinde yapılan röleve çalışmalarının doğruluğu ile doğrudan ilişkilidir.

Özellikle, bazı projelerde taşıyıcı duvarların taşıyıcı olmayan duvarlar gibi yanlış sınıflandırılması, yapı üzerinde gerçekleştirilecek analizlerin güvenilirliğini tehlikeye atabilmektedir. Bu nedenle, perde duvar eklenmesi planlanan bölgelere ait temel sisteminin yeterliliği ayrıntılı olarak incelenmeli ve projelendirme sürecinde dikkate alınmalıdır. Nitelikli işçilik ve titiz kontrol süreçleri, güçlendirme uygulamalarının hedeflenen performans seviyelerine ulaşmasında belirleyici bir rol oynamaktadır. Uygulama sırasında meydana gelebilecek hata ve ihmaller, yapının sismik dayanımını artırmak yerine zayıflatabileceğinden, saha denetimlerinin sistematik bir şekilde gerçekleştirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Yapılacak her türlü güçlendirme çalışması, yapının deprem güvenliğini artırsa da yapının ekonomik ömrü göz önünde bulundurulmalı ve maliyet analizi de yapılmalıdır. Güçlendirme maliyetlerine göre performans-fayda dengesi dikkate alınmalıdır. TBDY (2018) çerçevesinde yapılan değerlendirmeler, optimum güçlendirme stratejilerinin belirlenmesi açısından önem arz etmektedir.

Kamu binası olan okullarımızdaki betonarme perde ile yapılarının güçlendirilmesi sürecinde binanın imalat aşaması boyunca kapalı kalması kullanıcıların tahliyesi, iş gücü kayıplarına yol açabilmektedir. Uygulamalarımız genelde okul kapandığı dönemlere denk gelmektedir ancak proje eksikliğinden veya detaylandırmanın yanlış olmasından kaynaklı hatalar çıktığı durumlarda bazen süre yetmeyebilmektedir. Akpınar vd araştırmasında sürtünme esaslı sönümleyici sistemlerle yapılan güçlendirme uygulamaları, sınırlı yapısal müdahale gereksinimi, temel sistemine düşük etki ve hızlı montaj olanakları sayesinde hem uygulama kolaylığı hem de maliyet etkinliği bakımından avantaj sağlamakta olduğunu söylemektedir. Betonarme perde ekleme ile zaman konusunda sorunu olan okullarda söz konusu sistemlerin mevcut binaların güçlendirilmesinde etkili ve sürdürülebilir bir alternatif olan sürtünme esaslı sönümleyici ile uygulanabilmesi araştırılarak uygulamada denenebilir.

Perde uygulamasının mümkün olmadığı veya yetersiz kaldığı durumlarda, kolon elemanlarında gözlemlenen hasar ve taşıyıcı kapasite eksikliklerine karşı mantolama yöntemi tercih edilebilir. Ancak, mantolama tek başına bir güçlendirme yöntemi olarak değerlendirilmemeli ve daha çok tamamlayıcı bir çözüm olarak ele alınmalıdır. Öncelikli olarak perde oranının artırılması, ardından mantolama uygulamalarının planlanması, yapının genel sismik performansı ve güvenliği açısından daha rasyonel bir yaklaşım sunmaktadır.

Yapının iç mekân düzenlemeleri nedeniyle perde uygulamasının iç kısımlarda

mümkün olmadığı durumlarda, imar durumu ve mimari kısıtlamalar dikkate alınarak dış cepheye eklenecek yeni perde elemanlarının, kat hizasında özel ankraj sistemleriyle mevcut yapıya tam temas ettirilmesi önerilir. Bu sayede, yeni perdelerin yatay ötelenmelere karşı birlikte çalışması sağlanarak, deprem etkilerinin dış perdeler tarafından karşılanması mümkün hale gelir ve alternatif bir güçlendirme stratejisi olarak değerlendirilebilir.

KAYNAKLAR

- AFAD. (2025, Nisan 10). *Deprem Tehlike Haritası*. <https://www.afad.gov.tr>
- Ağdağ, Y. (2019). *Kimyasal ankraj çekme dayanımını etkileyen faktörler* [Yüksek lisans tezi]. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi.
- Akakın, T. (2003). Beton numunesi alma. *Türkiye Mühendislik Haberleri (TMH)*, 427, 45–47.
- Akdağ, B., & Mutlu, M. (2013). Yerinde beton basınç dayanımlarının ölçülmesinde karot numunesi kullanımı. *Türkiye Hazır Beton Birliği Hazır Beton Dergisi*, 116, 80–84.
- Akpınar, E., Özenir, A., & Akanjı, S. T. (2021). Tipik betonarme bir hastane yapısının güçlendirilmesinde betonarme perde ve sürtünmeli sönümleyici güçlendirme alternatiflerinin karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (32), 928–939.
- Alemdar, Z. F., & İnkaya, N. (2019). CFRP ile güçlendirilmiş betonarme kirişlerin sonlu elemanlar parametrik analizleri. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 10(3), 1073–1085.
- Altun, F., Kara, H. B., Haktanır, T., Özcan, D. M., Karahan, O., & Kaya, Z. (2002). Düşey yükler altında hasar görmüş betonarme bir yapıda güçlendirme projesi örneği. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 18(1), 63–76.
- Arıcı, Y. (2010). *Betonarme çerçeveli bir yapının deprem performansının doğrusal ve doğrusal olmayan analiz metodları ile belirlenmesi* [Yüksek lisans tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Atay, H. (2010). *Depremde hasar görmüş yapıların güçlendirme yöntemleri ve güçlendirmede kullanılan malzemeler* [Doktora tezi]. Sakarya Üniversitesi.
- Aydın, H. (2014). *Kirişli ve kirişsiz radye temel tiplerinin karşılaştırılması ve dolgu malzemeli radye temel tipinin geliştirilmesi* [Yüksek lisans tezi]. Fırat Üniversitesi.
- Aykaç, B., & Can, H. (2008). Mantolama yönteminin dikdörtgen kesitli betonarme kolonlarda uygulanabilirliği. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(1).
- Bahadır, F. (2012). *Düzlem dışı perde duvarla güçlendirilmiş deprem davranışı yetersiz betonarme çerçevelerin davranışına pencere boşluklarının etkisi* [Doktora tezi]. Selçuk Üniversitesi.

- Başarır, B. (2019). *Tepki veren cephelerin standart ürünlerle tasarımı: Yeniden tasarım modeli* [Doktora tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Bawary, M. S. (2018). *Betonarme binaların farklı güçlendirme yöntemleri ile yapısal analizi* [Yüksek lisans tezi]. Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Bayülke, N. (2006). Betonarme yapılarda güçlendirme sorunları. *Türkiye Mühendislik Haberleri (TMH)*, 444, 37–54.
- Beyli, E. (2002). *Betonarme binalara uygulanan güçlendirme yöntemleri ve perde yüksekliğinin incelenmesi* [Yüksek lisans tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Birdal, F. (2015). Betonarme yapıların sismik davranışlarının sarsma tablasında deneysel olarak incelenmesi ve analitik olarak modellenmesi [Doktora Tezi]. Erciyes Üniversitesi.
- Canbay, E., Ersoy, U., & Özcebe, G. (2003). Contribution of reinforced concrete infills to seismic behavior of structural systems. *ACI Structural Journal*, 100(5), 637–643.
- Cansız, S. (2021). Betonarme kirişlerin sarılma bölgesi uzunluğunun araştırılması üzerine bir çalışma. *International Journal of Engineering Research and Development*, 13(2), 339–349.
- Carbonier (2025). *Kolon güçlendirme*. <https://www.carbonier.com/guclendirme-sistemleri/kolon-guclendirme> (Erişim Tarihi: 2025, Eylül 5)
- Coşkun, M. E., & Gürsoy, Ş. (2023). Mevcut ve güçlendirilmiş bina temel sistemlerinin karşılaştırılması. *Türk Mühendislik Araştırma ve Eğitimi Dergisi*, 2(1), 17–28.
- Çelik, O. C. (2024). *Etkin güçlendirme yöntemlerine örnekler*. <https://www.ituvakif.org.tr/etkin-guclendirme-yontemlerine-ornekler> (Erişim Tarihi: 2025, Haziran 11)
- DBYBHY. (2007). *Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik*. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2007/03/20070306-3.htm> (Erişim Tarihi: 2025, Nisan 17)
- Değirmenci, Ö. Ç., Aydoğan, İ., Aras, M., & Çerçevik, A. E. (2015). Ankrajlarda epoksi kullanımı. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(1), 69–74.
- Demirkan, D. (2014). *Betonarme yapılarda onarım ve güçlendirme yöntemleri* [Yüksek lisans tezi]. Aksaray Üniversitesi.

- Dengedeğerleme (2025). *Kolon güçlendirme (mantolama) yöntemleri nelerdir?*
<https://www.dengedegerleme.com/kolon-guclendirme-mantolama-yontemleri/>
(Erişim Tarihi: 2025, Eylül 5)
- Erdem, I., Akyuz, U., Ersoy, U., & Özcebe, G. (2006). An experimental study on two different strengthening techniques for RC frames. *Engineering Structures*, 28(13), 1843–1851.
- Erdoğan, A. (2025). *Mevcut betonarme binaların 1975, 2007 ve 2018 Türk deprem yönetmeliklerine göre incelenmesi ve performans analizi* [Yüksek lisans tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Ergün, A., Kürklü, G., & Başaran, V. (2012). Mevcut betonarme binaların deprem güvenliğinin incelenmesi ve güçlendirilmesi çalışmaları için Afyonkarahisar'dan bir hastane örneği. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(2), 1–11.
- Ersoy, U., & Özcebe, G. (2007). *Betonarme*. Evrim Yayınevi.
- Esen, B., Gündoğay, A., Yaman, S., Kabaş, H. T., & Demir, F. (2022). Betonarme kirişlerin davranışını etkileyen parametrelerin deneysel incelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 27(3), 1043–1060.
- Gürbüz, T. (2007). *Yapıların güçlendirilmesinde kullanılan kimyasal akrayların aksenal çekme etkisi altındaki davranışlarının incelenmesi* [Yüksek lisans tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Karaca, N. (2022). *Mevcut betonarme bir okul binasının deprem güvenliğinin incelenmesi ve TBDY-2018'e göre alternatif güçlendirme yöntemlerinin araştırılması ve çözüm önerileri* [Yüksek lisans tezi]. Konya Teknik Üniversitesi.
- Karapınar, M. F. (2020). *Mevcut betonarme bir yapının TBDY 2018'e göre deprem performansının ve güçlendirme yönteminin belirlenmesi* [Yüksek lisans tezi]. İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa.
- Kartal, M. E., Duyar, S., Altunış, A. C., Çapar, Ö. F., & Karabulut, M. (2017). Zonguldak Ereğli İzmirlioğlu Huzurevi performans analizi ve güçlendirme çalışmaları. 4. *Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, 11–13 Ekim. Anadolu Üniversitesi.
- Kasap, H., & Baştürk, T. (2004). Boşluklu perdeli-çerçevesel yapılarda perde yerlerinin değişmesinin yapı davranışına etkisi. *Sakarya University Journal of Science*, 8(1), 31–37.

- Kayabaşı, A. (2014). Taşıma gücü ve oturma incelemelerinde menard pressiometre deneyinin uygulanması: Kuloğlu HES regülatörü yerinde bir örnek çalışma (Kars, Türkiye). *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 38(2), 73–102.
- Koç, V. (2021). Mevcut binalarda taşıyıcı sistem düzensizliklerinin belirlenmesine yönelik bir çalışma. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (33), 32–39.
- Koçak, A., & Önal, M. (2005). Betonarme yapı elemanlarında kullanılan onarım ve güçlendirme yöntemlerinin karşılaştırılması. *Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi*, pp.108-121, Antalya, Turkey.
- Müsevitoğlu, A. (2019). *Kimyasal ankrajların eksenel çekme etkisi altında davranışlarının deneysel ve analitik olarak incelenmesi* [Yüksek lisans tezi]. Konya Teknik Üniversitesi.
- Okamura, H., & Ouchi, M. (2003). Self-compacting concrete. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 1(1), 5–15.
- Öncü, M. E., & Karasin, A. (2010). CFRP ile güçlendirilmiş kesitlerin eksenel yük altındaki davranışı. *Engineering Sciences*, 5(3), 515–525.
- Özdemir, A., & Ercan, E. (2017). Mantolama yöntemiyle güçlendirilmiş betonarme kolonların akustik emisyon yöntemiyle analizi. *Politeknik Dergisi*, 20(1), 17–23.
- Özden, G. (2023). *Benzer mimariye sahip mevcut betonarme iki binanın TBDY 2018'e göre deprem performansının belirlenmesi* [Yüksek lisans tezi]. Karabük Üniversitesi.
- Öziçer, S., & Uyanık, O. (2017). Beton dayanımının yerinde P dalga hızından belirlenmesi ve İzmir örneği. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 9(1), 1–16.
- Özkaynak, H. (2002). *Deprem bölgelerindeki betonarme yapılarda donatı düzenleme ilkeleri* [Doktora tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Öztürk, Y. (2022). Depremde hasar görmüş yapılar için farklı güçlendirme önerileri. *TAS Journal*, 2(2), 35–44.
- Pekgökgöz, R., Gürel, A., & Avcil, F. (2021). GAP YENEV Binasının kısmi göçmesinin incelenmesi ve güçlendirme çalışmaları. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 12(2), 389–399.
- Resmi Gazete. (2022). *Mimarlık ve Mühendislik Hizmet Bedellerinin Hesabında Kullanılacak 2022 Yılı Yapı Yaklaşık Birim Maliyetleri Hakkında Tebliğ*. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2022/02/20220218-11.htm> (Erişim Tarihi: 2025, Mayıs 14)

- Sargın, H. (2020). *Mevcut betonarme bir binanın sistem iyileştirilmesi ve taşıyıcı eleman güçlendirme yöntemlerine göre karşılaştırılması* [Yüksek lisans tezi]. Kütahya Dumlupınar Üniversitesi.
- Seyhan, E. C. (2006). *Kimyasal ankrajların davranışlarının incelenmesi* [Yüksek lisans tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Sivri, M., Kuyucular, A., & Çelik, İ. (2013). Perde duvar ile güçlendirilen betonarme çerçevenin Ansys ve STA4-CAD analiz sonuçlarının karşılaştırılması. *Teknik Bilimler Dergisi*, 3(2), 26–34.
- STA4CAD. (Structural Analysis for Computer-Aided Design) V14
<https://www.sta4.net/staproperty.aspx> (Erişim Tarihi: 2025, Nisan 10)
- Subaşı, A. C. (2012). *Perde çerçeveli çok katlı betonarme bir yapının Türk ve Amerikan yönetmeliklerine göre tasarımı ve karşılaştırılması* [Yüksek lisans tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- TBDY. (2018). *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*.
<https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/03/20180318M1-2.htm> (Erişim Tarihi: 2025, Şubat 14)
- Tonyalı, Z. (2025). *Yapılara etkiyen yükler*. Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi.
<http://acikerisim.erdogan.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/11436/10633/3H-YAPILARA%20ETK%C4%B0YEN%20Y%C3%9CKLER.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Erişim Tarihi: 2025, Mayıs 15)
- Topçu, İ. B., Bilir, T., & Baylavlı, H. (2008). Kendiliğinden yerleşen betonun özellikleri. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(1), 1–22.
- Uçar, T., Toumatarı, S. G., & Ertutar, Y. (2014). Çerçeve düzlemi içinde eklenen perdelerin betonarme binaların yapısal özelliklerine etkilerinin incelenmesi. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 3(1), 56–68.
- Uluöz, D. (2010). *Mevcut binaların güçlendirme maliyetlerine etki eden parametreler* [Yüksek lisans tezi]. Dokuz Eylül Üniversitesi.
- Yıldızlar. (2004). *Binalarda güçlendirme teknikleri ve detaylandırmanın önemi* [Yüksek lisans tezi]. İstanbul Üniversitesi.
- Yılmaz, S. (2007). *Betonarme binaların yapı dışarısından perde duvarlarla güçlendirilmesi* [Doktora tezi]. Pamukkale Üniversitesi.
- Yılmaz, T. (2006). *Betonarme yapılarda taşıyıcı sistem ve donatı düzenleme ilkeleri* [Doktora tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.

Yiğit, Y. (2002). *Betonarme yapılarda onarım ve güçlendirme yöntemleri ve bir güçlendirme uygulaması* [Doktora tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.

EKLER

EK-1

Kurum İzni



T.C.
KIRŞEHİR İL ÖZEL İDARESİ
Plan Proje Yatırım ve İnşaat Müdürlüğü



Sayı : E-30934976-000-33435
Konu : Yüksek Lisans Tez Çalışması Hk.

04.04.2024

PLAN PROJE YATIRIM VE İNŞAAT MÜDÜRLÜĞÜ MAKAMINA

Kırşehir İl Özel İdaresi Plan Proje Yatırım ve İnşaat Müdürlüğü'nde inşaat mühendisi olarak çalışmaktayım. Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans öğrencisiyim. Milli Eğitim Müdürlüğüne bağlı okullarda güçlendirme projeleri hazırlama işleri ve güçlendirme uygulama, bakım onarım çalışması yapılan okullarda yüksek lisans tezinde kullanmak amacıyla verilerin kullanılması hususunda;

Gereğini olurlarınıza arz ederim.

OLUR
Kamuran KÖŞEK
Plan Proje Yatırım İnşaat Müdür V.

EK-2

Kongre Katılım Belgesi



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER	
Adı Soyadı:	Vahit SEYFİ
Uyruğu:	T.C.
Orcid Numarası:	0009-0004-3411-7474

EĞİTİM BİLGİLERİ	
Lisans	
Üniversite:	Bayburt Üniversitesi
Fakülte:	Mühendislik Fakültesi
Bölümü:	İnşaat Mühendisliği Bölümü
Mezuniyet Yılı:	2014
Yüksek Lisans	
Üniversite:	Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi
Enstitü:	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı:	İnşaat Mühendisliği
Mezuniyet Yılı:	2025

Tezden Üretilen Makaleler ve Bildiriler	
Uluslararası Konferans ve Sempozyumlarda Sunulan Bildiriler	
Seyfi, V. ve Önal, M. M. (2025, 24-25 Mayıs). Kırşehir İl Milli Eğitim Müdürlüğüne Bağlı Mevcut Betonarme Binaların Deprem Performans Analizinin Yapılması ve Güçlendirme Uygulamaları (Bildiri Sunumu). 5. Uluslararası Mühendislik ve Doğa Bilimleri Çalışmaları Kongresi. Ankara.	