



**KTO KARATAY ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**MEVCUT BETONARME BİR YAPININ PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ
İLE GÜÇLENDİRME SONRASI ANALİZ SONUÇLARININ DOĞRUSAL VE
DOĞRUSAL OLMAYAN HESAP YÖNTEMLERİYLE KARŞILAŞTIRILMASI**

Buğra ÇELTİK

Yüksek Lisans Tezi

**KONYA
Temmuz 2023**

MEVCUT BETONARME BİR YAPININ PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ İLE
GÜÇLENDİRME SONRASI ANALİZ SONUÇLARININ DOĞRUSAL VE
DOĞRUSAL OLMAYAN HESAP YÖNTEMLERİYLE KARŞILAŞTIRILMASI

Buğra ÇELTİK

KTO Karatay Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Tezli Yüksek Lisans Programı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hüsnü CAN

Konya
Temmuz 2023

BİLDİRİM

Enstitü tarafından onaylanan Yüksek Lisans/ tezimin tamamını veya herhangi bir kısmını basılı veya dijital biçimde arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullar dahilinde erişime açma iznini KTO Karatay Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle, Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak ve gelecekteki çalışmalar (makale, kitap, lisans, patent vb.) için tezimin tamamının veya bir bölümünün kullanım hakları yalnızca bana ait olacaktır.

Tezimin bütünüyle kendi çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izinle kullanılması zorunlu olan kaynakları, yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde izinlerin suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayımlanan “Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge” kapsamında, tezim, aşağıda belirtilen koşullar haricince, YÖK Ulusal Tez Merkezi ve KTO Karatay Üniversitesi Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

Enstitü / Fakülte Yönetim Kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.¹

Enstitü / Fakülte Yönetim Kurulunun gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren ... ay ertelenmiştir.²

Tezimle ilgili gizlilik kararı verilmiştir.^{3,4}

14 Temmuz 2023

Buğra ÇELTİK

¹ MADDE 6(1) Lisansüstü teze ilgili patent başvurusu yapılması veya patent alma sürecinin devam etmesi durumunda, tez danışmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü veya fakülte yönetim kurulu iki yıl süre ile tezin erişime açılmasının ertelenmesine karar verebilir.

² MADDE 6(2) Yeni teknik, materyal ve metotların kullanıldığı, henüz makaleye dönüşmemiş veya patent gibi yöntemlerle korunmamış ve internette paylaşılması durumunda 3. şahıslara veya kurumlara haksız kazanç imkanı oluşturabilecek bilgi ve bulguları içeren tezler hakkında tez danışmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü veya fakülte yönetim kurulunun gerekçeli kararı ile altı ay aşmamak üzere tezin erişime açılması engellenebilir.

³ MADDE 7(1) Ulusal çıkarları veya güvenliği ilgilendiren, emniyet, istihbarat, savunma ve güvenlik, sağlık vb. konulara ilişkin lisansüstü tezlerle ilgili gizlilik kararı, tezin yapıldığı kurum tarafından verilir. Kurum ve kuruluşlarla yapılan işbirliği protokolü çerçevesinde hazırlanan lisansüstü tezlere ilişkin gizlilik kararı ise, ilgili kurum ve kuruluşun önerisi ile enstitü veya fakültenin uygun görüşü üzerine üniversite yönetim kurulu tarafından verilir. Gizlilik kararı verilen tezler Yükseköğretim Kuruluna bildirilir.

⁴ MADDE 7(2) Gizlilik kararı verilen tezler gizlilik süresince enstitü veya fakülte tarafından gizlilik kuralları çerçevesinde muhafaza edilir, gizlilik kararının kaldırılması halinde Tez Otomasyon Sistemine yüklenir.

ETİK BEYAN

KTO Karatay Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Hazırlama ve Yazım Kurallarına uygun olarak Prof. Dr. Hüsnü CAN danışmanlığında tarafımdan üretilen bu tez çalışmasında; sunduğum tüm veri, enformasyon, bilgi ve belgeleri bilimsel etik kuralları çerçevesinde elde ettiğimi, tüm değerlendirme, analiz, bulgu ve sonuçları bilimsel usullere uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım kaynakların tümüne bilimsel normlara uygun biçimde atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, tezimin kaynak gösterilen durumlar dışında özgün olduğunu bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

14 Temmuz 2023

Buğra ÇELTİK

TEŐEKKÖR

Tez sürecinde, konu seçiminden araştırma ve planlamanın yürütülmesine kadar bilgi ve deneyimlerini hiçbir zaman esirgemeyen, her görüşmemizde yeni bilgiler edindiğim değerli hocam Prof. Dr. Hüsnü CAN hocama ve hayatımın her döneminde bana destek olan aileme teşekkür ederim.

14 Temmuz 2023

Buğra ÇELTİK

ÖZET

Buğra ÇELTİK

Mevcut Betonarme Bir Yapının Performans Değerlendirmesi İle Güçlendirme Sonrası
Analiz Sonuçlarının Doğrusal Ve Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleriyle
Karşılaştırılması
Yüksek Lisans
Konya, 2023

AFAD verilerine göre ülke nüfusunun önemli bölümü yüksek derecede deprem riski olan bölgelerde yerleşmiş durumdadır. Ülkemizdeki yapı stoğunun büyük bir kısmının yapım aşamasındaki kusurlar, donatı detay hataları, sistem seçimi ve boyutlandırma hatası ile TBDY 2018'in getirdiği güncel kriterlere göre kontrolünün sağlanmadığı düşünüldüğünde onarım ve güçlendirme uygulaması gerektiren fazla miktarda yaşlı bina olabileceği bir gerçektir. Bu sebeple ülkemizdeki yapılar için performans analizi ve güçlendirme konuları son derece önemli olup yapı tasarımlarının deprem etkisi altında en gerçekçi şekliyle hesap edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, 2007 Deprem Yönetmeliği'ne göre inşa edilmiş, İzmir'de bulunan bir yapı incelenmiştir. İnceleme kapsamında yapının TBDY 2018' de belirtilen hesap yöntemlerinden; doğrusal hesap yöntemi; mod birleştirme ve doğrusal olmayan hesap yöntemi; çok modlu itme yöntemi kullanılarak Sta4-CAD 14.1 versiyonu paket programıyla performans analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda yapının gerekli performans düzeylerini sağlamadığı tespit edilmiştir. Daha sonra binanın mimari planı göz önüne alınarak ilave betonarme perde duvarlar ile güçlendirilmiş ve analizler tekrarlanmıştır. Yapının deprem etkisi altındaki davranışı ile taşıyıcı elemanlarda oluşan hasar durumları tüm analizler için ayrı ayrı değerlendirilerek kıyaslanmıştır. Çalışmada betonun elastisite modülü Eurocode 2 ve TS 500 yönetmeliklerine göre hesaplanıp programa tanımlanmış ve iki farklı elastisite modülü üzerinden güçlendirme öncesi ve güçlendirme sonrası durumları doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleriyle kombine edilerek toplamda 8 adet analiz yapılmıştır. Yapı mühendisliğindeki gelişmeler, bilgisayar teknolojisindeki ilerleme neticesinde TBDY 2018' de yer alan farklı hesap yöntemleriyle yapılan çözümlerin, analiz sonuçlarına olan etkisine dikkat çekilmiştir.

Anahtar Kelimeler

Doğrusal Analiz, doğrusal olmayan analiz, hasar durumları, mevcut betonarme yapı

ABSTRACT

Buğra ÇELTİK

Comparison of Performance Evaluation of an Existing Reinforced Concrete Structure
and Post-Retrofitting Analysis Results with Linear and Non-Linear Calculation

Methods

Master's Thesis

Konya, 2023

According to AFAD data, a significant part of the country's population is settled in regions with high earthquake risk. Considering that a large part of the building stock in our country is not controlled according to the current criteria brought by TBDY 2018 due to defects in the construction phase, reinforcement detail errors, system selection and sizing errors, it is a fact that there may be a large number of old buildings that require repair and reinforcement. For this reason, performance analysis and reinforcement issues are extremely important for the buildings in our country, and the building designs should be calculated in the most realistic way under the influence of earthquakes. In this study, a building in İzmir, which was built according to the 2007 Earthquake Code, was examined. Within the scope of the examination, one of the calculation methods specified in TBDY 2018; linear calculation method; mode coupling and nonlinear computation method; Performance analyzes were made with the Sta4-CAD 14.1 version package program using the multi-modal pushing method. As a result of the analysis, it was determined that the building did not provide the required performance levels. Then, considering the architectural plan of the building, it was reinforced with additional reinforced concrete shear walls and the analyzes were repeated. The behavior of the building under the influence of earthquakes and the damage to the load-bearing elements were evaluated separately for all analyzes and compared. In the study, the elasticity module of concrete was calculated according to Eurocode 2 and TS 500 regulations and defined in the program, and a total of 8 analyzes were made by combining the pre- and post-reinforcement situations with linear and non-linear calculation methods over two different elasticity modules. As a result of developments in structural engineering and advances in computer technology, the effect of solutions made with different calculation methods in TBDY 2018 on the results of the analysis was highlighted.

Keywords

Linear Analysis, non-linear analysis, damage situations, existing reinforced concrete building

İÇİNDEKİLER

BİLDİRİM	i
ETİK BEYAN.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
TABLolar DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
SİMGELER DİZİNİ.....	xvi
KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	3
3. DEPREMSELLİK.....	8
3.1. Yer Kabuğu ve Levha Hareketleri.....	8
3.2. Depremlerin Oluş Türleri ve Faylanma.....	10
3.2.1. Depremin Oluş Türleri.....	10
3.2.2. Fay Türleri	11
3.3. Deprem Dalgaları	13
3.3.1. Cisim Dalgaları.....	13
3.3.2. Yüzey Dalgaları	14
3.4. Depremlerin Coğrafi Dağılımı	15
3.4.1. Dünya Deprem Kuşakları	15
3.4.2. Türkiye Deprem Kuşakları ve Dereceleri.....	16
3.5. Türkiye’ deki Depremler	17
4. YAPILARDA OLUŞAN HASARLARIN BİÇİMLERİ VE NEDENLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	19
4.1. Betonarme Yapı Elemanlarındaki Çatlak ve Hasar Durumları	19
4.1.1. Duvar Hasarları.....	19
4.1.2. Kolon Hasarları.....	22
4.1.3. Kolon-Kiriş Birleşim Bölgesi Hasarı.....	26
4.1.4. Kirişlerde Oluşan Hasarlar	28

4.1.5. Döşeme Hasarları.....	31
4.1.6. Temel Hasarları	33
4.1.7. Perde Hasarları.....	35
4.2. Hasarların Nedenleri.....	38
4.2.1. Malzeme Kalitesi	38
4.2.2. Taşıyıcı Sistemi Düzensiz Yapılar.....	38
4.2.3. Donatı Düzeni.....	42
4.2.4. Kısa Kolon.....	45
4.2.5. Deprem Derzleri	45
4.2.6. Soğuk Derz	46
5. BETONARME BİNALARDA ONARIM VE GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİ...47	
5.1. Güçlendirme İlkeleri.....	47
5.2. Taşıyıcı Sistem Elamanlarının Genel Onarımında ve Güçlendirilmesinde Kullanılan Malzemeler	47
5.2.1. Tamir Harçlarıyla Onarım	48
5.2.2. Püskürtme Beton ile Onarım ve Güçlendirme.....	48
5.2.3. Epoksi Reçinesi ile Onarım ve Güçlendirme.....	49
5.2.4. Çelik Şeritlerle Onarım ve Güçlendirme	50
5.2.5. Lif Takviyeli Plastik Levhalarla Onarım ve Güçlendirme	51
5.3. Betonarme Yapıların Güçlendirme Yöntemleri	52
5.3.1. Döşemelerin Onarım ve Güçlendirilmesi	52
5.3.2. Kirişlerin Onarım ve Güçlendirilmesi	54
5.3.3. Temellerin Güçlendirilmesi	59
5.3.4. Kolon-Kiriş Birleşim Bölgesinin Güçlendirilmesi	60
5.3.5. Betonarme Kolonların Güçlendirilmesi.....	62
5.3.6. Perdelerin Onarım ve Güçlendirilmesi	66
5.3.7. Taşıyıcı Sistemin Yeni Elemanlarla Güçlendirilmesi.....	67
6. PERFORMANS KAVRAMI VE 2018 TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİNDEKİ BAZI HÜKÜMLER.....	74
6.1. Deprem Yer Hareketi Düzeyleri.....	74
6.1.1. Deprem yer hareketi düzeyi-1 (DD-1).....	74
6.1.2. Deprem yer hareketi düzeyi-2 (DD-2).....	74
6.1.4. Deprem yer hareketi düzeyi-4 (DD-4).....	74

6.2. Binalardan Bilgi Toplanması.....	75
6.2.1. Binalardan toplanacak bilginin kapsamı.....	75
6.3. Bilgi Düzeyleri	75
6.3.1. Betonarme Binalarda Sınırlı Bilgi Düzeyi.....	75
6.3.2. Betonarme Binalarda Kapsamlı Bilgi Düzeyi	76
6.4. Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri	78
6.4.1. Kesit Hasar Durumları.....	78
6.4.2. Kesit Hasar Bölgeleri.....	78
6.4.3. Kesit ve Eleman Hasarlarının Tanımlanması	79
6.5. Bina Performans Düzeyleri	79
6.5.1. Kesintisiz kullanım (KK) Performans Düzeyi.....	79
6.5.2. Sınırlı Hasar (SH) Performans Düzeyi	79
6.5.3. Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi.....	79
6.5.4. Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Düzeyi.....	79
6.6. Mevcut Binaların Deprem Performansının Belirlenmesi.....	80
6.7. Mevcut veya Güçlendirilecek Binaların Deprem Performansının Belirlenmesi .	80
6.7.1. Mevcut Binalarda Sınırlı Hasar Performans Düzeyi	80
6.7.2. Mevcut Binalarda Kontrollü Hasar Performans Düzeyi.....	80
6.7.3. Mevcut Binalarda Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi.....	81
6.7.4. Göçme Durumu	82
6.8. Hesap Yöntemleri.....	82
6.8.1. Doğrusal Hesap Yöntemleri	82
6.8.2. Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri.....	83
7. MEVCUT BETONARME BİR YAPININ PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ İLE GÜÇLENDİRME SONRASI ANALİZ SONUÇLARININ DOĞRUSAL VE DOĞRUSAL OLMAYAN HESAP YÖNTEMLERİYLE KARŞILAŞTIRILMASI ...	86
7.1. Giriş.....	86
7.2. Binaya Ait Yapısal Bilgiler	86
7.2.1. Bina Hakkında Genel Bilgilendirme	86
7.2.2. Binaya Etkiyen Yükler	90
7.2.3. Taşıyıcı elemanların donatı düzenleri.....	90
7.2.4. Binaya Ait Parametreler	91
7.2.5. Malzeme modelleri	93

7.3. Analizlerin Yapılması ve Sonuçların İrdelenmesi.....	94
7.3.1. Kiriş hasar yüzdeleri	100
7.3.2. Kolon kesme kuvveti dağılımı.....	106
7.3.3. Kat deprem deplasman değerleri	111
7.3.4. Yapı modlarının kıyaslanması	115
7.3.5. Yapı düzensizliklerinin kontrolü	117
7.3.6. Deprem perdeleri taban moment kontrolü.....	119
8. SONUÇ	127
8.1. Sonuçların Değerlendirilmesi	127
8.2. Öneriler.....	129
KAYNAKLAR	130
ÖZGEÇMİŞ	135

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1. Bilgi düzeyi ve bilgi düzeyi katsayıları	75
Tablo 2. Mevcut yerinde dökme betonarme yapılar için performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları.....	80
Tablo 3. Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanacağı yapılar	83
Tablo 4. Sabit ve hareketli yükler	90
Tablo 5. Kolon kesit boyutları ve donatıları	90
Tablo 6. Kiriş kesit boyutları ve donatıları	90
Tablo 7. TS 500 standartına göre tüm durumlar için kiriş hasarı yüzdesel dağılımları (%)	100
Tablo 8. Eurocode 2 standartına göre tüm durumlar için kiriş hasarı yüzdesel dağılımları (%)	102
Tablo 9. TS 500 standartına göre kolon kesme kuvveti yüzdesel dağılımları (%)	106
Tablo 10. Eurocode 2 standartına göre kolon kesme kuvveti yüzdesel dağılımları (%).....	107
Tablo 11. Tüm durumlar için 10. kat deprem deplasman değerleri	111
Tablo 12. TS 500 standartına göre maksimum kat deplasman değerleri	112
Tablo 13. Eurocode 2 standartına göre maksimum kat deplasman değerleri	112
Tablo 14. Modal analiz - yapı periyod ve vektörleri karşılaştırılması	115
Tablo 15. TS 500 standartına göre X ve Y yönü için A1 (burulma düzensizliği), B2 (yumuşak kat) düzensizliklerinin kontrolü.....	117
Tablo 16. Eurocode 2 standartına göre X ve Y yönü için A1 (burulma düzensizliği), B2 (yumuşak kat) düzensizliklerinin kontrolü.....	118
Tablo 17. TS 500 standartına göre mevcut yapının doğrusal hesap yöntemi ile kat deprem yük ve momenti (tm).....	119
Tablo 18. TS 500 standartına göre mevcut yapının doğrusal hesap yöntemi ile perde taban momenti (tm).....	120
Tablo 19. TS 500 standartına göre mevcut yapının doğrusal olmayan hesap yöntemi ile kat deprem yük ve momenti (tm)	120
Tablo 20. TS 500 standartına göre mevcut yapının doğrusal olmayan hesap yöntemi ile perde taban momenti (tm)	120
Tablo 21. TS 500 standartına göre güçlendirilmiş yapının doğrusal hesap yöntemi ile kat deprem yük ve momenti (tm).....	120
Tablo 22. TS 500 standartına göre güçlendirilmiş yapının doğrusal hesap yöntemi ile perde taban momenti (tm)	121

Tablo 23. TS 500 standartına göre güçlendirilmiş yapının doğrusal olmayan hesap yöntemi ile kat deprem yük ve momenti (tm).....	121
Tablo 24. TS 500 standartına göre güçlendirilmiş yapının doğrusal olmayan hesap yöntemi ile perde taban momenti (tm).....	121
Tablo 25. Eurocode 2 standartına göre mevcut yapının doğrusal hesap yöntemi ile kat deprem yük ve momenti (tm).....	122
Tablo 26. Eurocode 2 standartına göre mevcut yapının doğrusal hesap yöntemi ile perde taban momenti (tm).....	122
Tablo 27. Eurocode 2 standartına göre mevcut yapının doğrusal olmayan hesap yöntemi ile kat deprem yük ve momenti (tm).....	122
Tablo 28. Eurocode 2 standartına göre mevcut yapının doğrusal olmayan hesap yöntemi ile perde taban momenti (tm).....	122
Tablo 29. Eurocode 2 standartına göre güçlendirilmiş yapının doğrusal hesap yöntemi ile kat deprem yük ve momenti (tm).....	123
Tablo 30. Eurocode 2 standartına göre güçlendirilmiş yapının doğrusal hesap yöntemi ile perde taban momenti (tm).....	123
Tablo 31. Eurocode 2 standartına göre güçlendirilmiş yapının doğrusal olmayan hesap yöntemi ile kat deprem yük ve momenti (tm).....	123
Tablo 32. Eurocode 2 standartına göre güçlendirilmiş yapının doğrusal olmayan hesap yöntemi ile perde taban momenti (tm).....	124
Tablo 33. TS 500 standartına göre perde taban momenti oranları.....	124
Tablo 34. Eurocode 2 standartına göre perde taban momenti oranı.....	125

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Yer kabuğu katmanı.....	8
Şekil 2. Dünya üzerindeki levhalar.....	9
Şekil 3. Anadolu'yu çevreleyen levhalar ve yönleri.....	9
Şekil 4. Doğrultu-atımlı faylar.....	12
Şekil 5. Normal faylar.....	12
Şekil 6. Ters faylar.....	12
Şekil 7. Oblik atımlı faylar	13
Şekil 8. Deprem dalgaları	13
Şekil 9. S ve P dalgaları	14
Şekil 10. Rayleigh ve love dalgaları	15
Şekil 11. Alp-Himalaya deprem kuşağı.....	15
Şekil 12. Diri fay haritası.....	16
Şekil 13. Türkiye deprem tehlike haritası.....	17
Şekil 14. Duvarda x şeklinde çapraz çatlak hasarı.....	20
Şekil 15. Zemin kat duvar hasarı.....	20
Şekil 16. Sehime bağlı konsol üzerinde duvar çatlak hasarı	21
Şekil 17. Kolonlardaki hasar çeşitleri	22
Şekil 18. Kolonda mafsallaşma hasarının ilk aşamaları.....	23
Şekil 19. Kolonda mafsallaşma hasarının ileri aşamaları	23
Şekil 20. Kolonda kesme hasarı	24
Şekil 21. Kolonda basınç kırılması aşamaları	25
Şekil 22. Kolonda tipik burulma çatlağı	25
Şekil 23. a) Güçlü kolon durumunda birleşim bölgesi hasarı, b) güçlü kiriş durumunda birleşim bölgesi hasarı.....	26
Şekil 24. Kuvvetli kolon-zayıf kiriş ve kuvvetli kiriş-zayıf kolon etkisinin yapılardaki sistem mekanizmasına etkisi	27
Şekil 25. Birleşim bölgesinde etriye eksikliği nedeniyle oluşan hasar biçimi	27
Şekil 26. Birleşim bölgesinde kiriş boyuna donatılarının kenetlenme boyunun yetersiz olması nedeniyle sıyrılmaya durumu	28
Şekil 27. Kirişlerde eğilme ve kayma çatlakları	28
Şekil 28. Kiriş açıklığında eğilme çatlakları	29
Şekil 29. Saplama kirişin ana kirişte neden olduğu kesme çatlakları	29

Şekil 30. Kısa açıklıklı kirişte X şeklinde oluşan kayma çatlakları	30
Şekil 31. Konsol kirişte tersinir yükleme sonucu oluşan çatlaklar	30
Şekil 32. Kiriş uç bölgelerinde tersinir momentler sonucu oluşan çatlaklar.....	31
Şekil 33. Döşeme ortasında oluşan sehim ve mesnet kenarlarındaki çatlaklar	32
Şekil 34. Konsol döşemelerde oluşan çatlaklar.....	32
Şekil 35. Kirişsiz döşemede zımbalama hasarı	33
Şekil 36. Temelde oturma	34
Şekil 37. Farklı zemin türlerinde gerçekleşen oturma sonucu yapısal hasar	34
Şekil 38. Zemin sıvılaşması	35
Şekil 39. Eğilme göçmesi (b,e), kesme kuvveti göçmesi (c), kayma hasarı (d)	36
Şekil 40. Kesme dayanımının aşılması	36
Şekil 41. Perdelerde eğilme çatlakları hasar biçimi	37
Şekil 42. Boşluklu perdelerde hasar biçimi.....	37
Şekil 43. Burulma düzensizliği	40
Şekil 44. Döşemede süreksizlik durumu	40
Şekil 45. A3 türü düzensizlik durumu.....	41
Şekil 46. Düşey elemanlarda süreksizlik durumları.....	42
Şekil 47. Donatı kenetlenme boyu (l_b)	43
Şekil 48. Bindirme ekinde şaşırtma durumu	43
Şekil 49. Özel deprem etriyeleri ve çirozları	44
Şekil 50. Donatı aralığı	44
Şekil 51. Kısa kolon oluşumu	45
Şekil 52. Çekiçleme etkisi.....	46
Şekil 53. Epoksi reçinesi ile onarım.....	50
Şekil 54. İki yüzey arasındaki aderansı arttırmak için epoksi sürülmesi	50
Şekil 55. Döşemeye yeni katman eklenerek güçlendirilmesi.....	53
Şekil 56. Kirişlerin 3 taraflı kesit büyütülmesi ile güçlendirilmesi	55
Şekil 57. Kiriş mantolamasında donatı sürekliliğinin komşu açıklıklarda sağlanması...56	
Şekil 58. Kiriş mantolamasında mevcut kolona epoksi ve bulonla ankraj çubuğunun bağlanması	56
Şekil 59. Dört taraflı kiriş kesiti güçlendirilmesi	57
Şekil 60. Dıştan etriye eklenmesi.....	57
Şekil 61. Kirişlerin çelik levha ile güçlendirilmesi	58

Şekil 62. Sisteme yeni eklenen perde sonrasında yetersiz kalan temelin güçlendirilmesi ve ankraj detayları	59
Şekil 63. Mevcut temele radye temel ilavesi ve ankraj detayları.....	60
Şekil 64. Tekil temelin güçlendirilmesi	60
Şekil 65. Birleşim bölgesinin çelik şeritlerle sarılması	61
Şekil 66. Birleşim bölgesinde mantolama uygulaması	62
Şekil 67. Örnek kolon mantolanması	63
Şekil 68. Kolonların çelik manto ile güçlendirilmesi.....	65
Şekil 69. Kolonun lifli polimer (LP) ile sarılması.....	65
Şekil 70. Perde onarım ve güçlendirme yöntemleri	67
Şekil 71. Eksenel perde durumu ve detayı	69
Şekil 72. Dış perde ile güçlendirme uygulaması.....	70
Şekil 73. Dış perde güçlendirmesi plan görünüşü.....	70
Şekil 74. Eksenel perde plan görünüşü	71
Şekil 75. Donatıların mevcut elemanlara bağlantısı	72
Şekil 76. Çelik diyagonellerle çerçevelerin güçlendirilmesi.....	73
Şekil 77. TBDY 2018' e göre kesit hasar bölgeleri	78
Şekil 78. Mevcut yapının zemin kat kalıp planı.....	87
Şekil 79. Mevcut yapının normal kat kalıp planı	88
Şekil 80. Mevcut yapının kesit görünüşleri.....	89
Şekil 81. Mevcut yapının üç boyutlu taşıyıcı sistem görünümü	89
Şekil 82. Deprem parametrelerinin programa tanımlanması	92
Şekil 83. Deprem parametrelerinin programa tanımlanması-2	92
Şekil 84. Yapı genel bilgilerinin programa tanımlanması	93
Şekil 85. Mevcut durumdaki yapının TS 500' e göre doğrusal hesap yöntemi ile bina performans sonucu	95
Şekil 86. Mevcut durumdaki yapının TS 500' e göre doğrusal olmayan hesap yöntemi ile bina performans sonucu	95
Şekil 87. Mevcut durumdaki yapının Eurocode 2' ye göre doğrusal hesap yöntemi ile bina performans sonucu	95
Şekil 88. Mevcut durumdaki yapının Eurocode 2' ye göre doğrusal olmayan hesap yöntemi ile bina performans sonucu	95
Şekil 89. Taşıyıcı sistem (bina) performans düzeyleri.....	96
Şekil 90. Güçlendirilmiş binanın zemin katı kalıp planı.....	97

Şekil 91. Güçlendirilmiş yapının kesit görünüşleri.....	98
Şekil 92. Güçlendirilmiş binanın üç boyutlu taşıyıcı sistem görünümü	98
Şekil 93. Güçlendirilmiş yapının TS 500' e göre doğrusal hesap yöntemi ile bina performans sonucu	99
Şekil 94. Güçlendirilmiş binanın TS 500' e göre doğrusal olmayan hesap yöntemi ile bina performans sonucu	99
Şekil 95. Güçlendirilmiş binanın Eurocode 2' ye göre doğrusal hesap yöntemi ile bina performans sonucu	99
Şekil 96. Güçlendirilmiş binanın Eurocode 2' ye göre doğrusal olmayan hesap yöntemi ile bina performans sonucu	99
Şekil 97. Tüm durumlar için X yönünde kiriş hasarı yüzdesel dağılımlarının kıyaslanması (%)	103
Şekil 98. Tüm durumlar için Y yönünde kiriş hasarı yüzdesel dağılımlarının kıyaslanması (%)	104
Şekil 99. Tüm durumlar için X yönünde kolon kesme kuvveti yüzdesel dağılımları (%)..	108
Şekil 100. Tüm durumlar için Y yönünde kolon kesme kuvveti yüzdesel dağılımları (%)	109
Şekil 101. TS 500 standartına göre X yönü görelî kat ötelemeleri.....	113
Şekil 102. TS 500 standartına göre Y yönü görelî kat ötelemeleri.....	113
Şekil 103. Eurocode 2 standartına göre X yönü görelî kat ötelemeleri	114
Şekil 104. Eurocode 2 standartına göre Y yönü görelî kat ötelemeleri	114
Şekil 105. Tüm durumlar için yapı periyotlarının karşılaştırılması.....	116
Şekil 106. Perde taban momenti oranları (α_m).....	126

SİMGELER DİZİNİ

Simge	Açıklama
$\Delta i^{(X)max}$	Binanın i'inci katındaki maksimum azaltılmış görelî kat ötelemesi
$\Delta i^{(X)min}$	Binanın i'inci katındaki minimum azaltılmış görelî kat ötelemesi
$\Delta i^{(X)ort}$	Binanın i'inci katındaki ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi
η_{bi}	i'inci katta tanımlanan burulma düzensizliği katsayısı
η_{ci}	i'inci katta tanımlanan dayanım düzensizliği katsayısı
ΣA_e	Herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusunda etkili kesme alanı
ΣA_w	Herhangi bir katta, kolon enkesiti etkin gövde alanları A_w 'ların toplamı
ΣA_g	Herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda perde olarak çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının enkesit alanlarının toplamı
η_{ki}	i'inci katta tanımlanan rijitlik düzensizliği katsayısı
ℓ_b	TS 500'de donatı için verilen kenetlenme boyu
ℓ_o	TS 500'de donatı için verilen bindirme boyu
\emptyset	Donatı çapı
I	Bina önem katsayısı
Mpa	Megapascal (N/mm ²)
S220	Akma dayanımı 220 Mpa olan çelik
S420	Akma dayanımı 420 Mpa olan çelik
C30	Silindir numune beton dayanımı 30 Mpa olan beton
V_c	Betonun kesme kuvveti dayanımına katkısı
δ_x	Görelî kat ötelemesi
U_{ix}	X yönündeki deplasman
U_{iy}	Y yönündeki deplasman
θ	Dönme açısı
t	Doğal titreşim periyodu
ω	Açısal frekans

KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltma	Açıklama
A1	Burulma Düzensizliği Durumu
A2	Döşeme Süreksizlikleri Durumu
A3	Planda Çıkıntılar Bulunması Durumu
AFAD	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
B1	Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat)
B2	Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat)
BKS	Bina Kullanım Sınıfı
BYS	Bina Yükseklik Sınıfı
DD-1	Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1
DD-2	Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2
DD-3	Deprem Yer Hareketi Düzeyi-3
DD-4	Deprem Yer Hareketi Düzeyi-4
DTS	Deprem Tasarım Sınıfı
E_{cj}	TS 500- Beton Elastisite Modülü
E_{cm}	Eurocode 2- Beton Elastisite Modülü
Eurocode	Avrupa Standart Serisi (European Standards)
f_{ck}	TS 500- Betonun Tasarım Basınç Dayanımı
f_{cm}	Eurocode 2- Betonun Tasarım Basınç Dayanımı
KH	Kontrollü Hasar
PGA	En büyük yer ivmesi
PGV	En büyük yer hızı
S_1	1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı
S_{D1}	1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı
S_{DS}	Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
SH	Sınırlı Hasar
S_s	Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı
ŞGDT	Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım
TBDY	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TS 500	Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları

1. GİRİŞ

AFAD verilerine göre ülke nüfusunun büyük bir kısmı ile önemli altyapı ve sanayi merkezleri yüksek derecede deprem riskinin bulunduğu bölgelerde konumlanmıştır. Özellikle son yıllarda meydana gelen İzmir, Elazığ, Van depremleri ile Kahramanmaraş merkezli 6 Şubat depremleri çok sayıda can ve mal kayıplarına sebep olmuştur. Ülkemizde gerçekleşen depremlerdeki kayıpların bu denli yüksek olmasının teşhisi araştırıldığında göçme ve ağır hasar alan yapılardaki kusurların üç ana başlıkta toplandığı görülmektedir. Yapım aşamasında (denetim yetersizliğinden) oluşan kusurlar, donatı uygulamasında yapılan hata ve eksiklikler, sistem seçimi ve boyutlandırmada yapılan hatalar olmak üzere öne çıkmaktadır (Can, 2020). Ülkemizdeki yapı stoğunun büyük bir kısmı daha önce meydana gelen depremlerden elde edilen deneyimlerle beraber bilimsel ve teknolojik gelişmeler ışığı altında hazırlanmış TBDY 2018'in getirdiği güncel kriterlere göre uygun inşa edilmemiş yapılar olduğu düşünüldüğünde güçlendirme ve onarım ihtiyacı olan fazla miktarda riskli bina olabileceği bir gerçektir. Bu sebeple ülkemizdeki yapılar için performans analizi ve güçlendirme konuları önemli olup yapı tasarımlarının deprem etkisi altında en gerçekçi şekliyle hesap edilmesi gerekmektedir.

TBDY 2018'de yapılarda deprem tasarım sınıfları ile yüksekliğine dayalı olarak, şekil değiştirmeye göre tasarım ve dayanıma göre tasarım yöntemlerinin kullanılabilmesi açıklanmıştır. Mevcut binaların deprem etkisinde yapısal performanslarını belirlemek için, doğrusal hesap yöntemi ile doğrusal olmayan hesap yöntemleri kullanılabilir. Bilgisayar teknolojisindeki ilerlemeler, deprem hareketini ve depremin yapılar üzerindeki etkilerini daha doğru, aslına uygun ve gerçekçi olarak hesaplanmasına katkı sağlamaktadır. Bu gelişmeler, yapı sistemlerinin deprem sırasındaki doğrusal olmayan davranışlarının yakından ve daha gerçekçi saptanmasına olanak sağlar (Kaya, 2020). Yapıya ait gerekli bilgilerin elde edilmesiyle, yapının üç boyutlu modeli oluşturulmakta ve şekil değiştirmeler, deplasmanlar ile hasar durumları kolaylıkla incelenmektedir.

Bu tez çalışması 8 bölümden oluşmaktadır. 1. Bölüm giriş kısmı, 2. Bölüm literatür taraması, 3. Bölümde ülkemizdeki depremsellik, 4. Bölümde yapılarda oluşan hasar biçimleri ve nedenleri, 5. Bölümde betonarme binalarda onarım ve güçlendirme yöntemleri, 6. Bölümde performans kavramı ve TBDY 2018'deki bazı hükümler, 7.

Bölümde mevcut betonarme bir yapının performans değerlendirmesi ile güçlendirme sonrası analiz sonuçlarının doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleriyle karşılaştırılması, 8. Bölümde ise sonuçlar kısmına yer verilmiştir.

7. Bölümde incelenen örnek proje; 2007 Deprem Yönetmeliği'ne göre inşa edilmiş, İzmir'de bulunan mevcut bir yapıdır. İnceleme kapsamında yapının TBDY 2018' de belirtilen hesap yöntemlerinden; doğrusal hesap yöntemi; mod birleştirme ve doğrusal olmayan hesap yöntemi; çok modlu itme yöntemi kullanılarak Sta4-CAD 14.1 versiyonu paket programıyla performans analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda yapının gerekli performans düzeylerini sağlamadığı tespit edilmiştir. Daha sonra binanın mimari planı göz önüne alınarak ilave betonarme perde duvarlar ile güçlendirilmiş ve analizler tekrarlanmıştır. Yapının deprem etkisi altındaki davranışı ile taşıyıcı elemanlarda oluşan hasar durumları tüm analizler için ayrı ayrı değerlendirilerek kıyaslanmıştır. Çalışmada betonun elastisite modülü Eurocode 2 ve TS 500 yönetmeliklerine göre hesaplanıp programa tanımlanmış ve iki farklı elastisite modülü üzerinden güçlendirme öncesi ve güçlendirme sonrası durumları doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleriyle kombine edilerek toplamda 8 adet analiz yapılmıştır. Mevcut yapı üzerinde farklı yöntemlerle çözümler yapılarak analiz sonuçlarındaki değişikliklere dikkat çekilmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Can (2020) ders notlarında, bir yapının deprem güvenliğine en büyük katkıyı sağlayan taşıyıcı elemanlar betonarme perdelerdir denilmektedir. Perde elemanlar yapının gereksinim duyduğu rijitlik ve süneklik özelliklerini sağlayarak yapının yatay ötelenmesini sınırlandırmak ve yapıya gelen yatay yükleri taşımak gibi temel görevleri vardır diye belirtmiştir.

Can (1995) betonarme yapılarda kolonların onarım ve güçlendirilmesinde en sık kullanılan yöntemin mantolama tekniği olduğunu ve en istenen durumun kolonu dört yandan sararak güçlendirme olduğunu belirtmiş fakat mevcut durumda kolonların bir, iki veya üç yüzünden uygulanması zorunluluğu ile karşılaşıldığını söylemiştir. Yaptığı çalışmada ise komşu iki yüzünden kısmi güçlendirilmiş veya onarılmış kolonların eksenel ve eksantrik yükler altında test ederek kolonların dayanım ve rijitlik değişimlerine dikkat çekmiştir.

Soydan (2019) çalışmasında Kocaeli ilinde bulunan 1987 yılında inşa edilip 2000 yılında güçlendirilen çerçeve sisteme sahip dört katlı konut binasını, 2007 Deprem yönetmeliği kriterlerini karşılayıp karşılamadığını incelenmiştir. Binayı İdeCAD Statik 8.62 programı yardımı ile modelleyip doğrusal elastik hesap yöntemi kullanarak analiz etmiş ve 2007 Deprem Yönetmeliğine göre can güvenliği performans hedefini karşılamadığını görmüştür. Daha sonra mevcut yapının ilk halini dikkate alarak 5 farklı güçlendirme önerisi hazırlamış ve performans analizlerini tekrarlamıştır. Güçlendirme sonuçları arasında yapılan karşılaştırmalarla en uygun sonucun elde edildiği güçlendirme önerisi ise binaya güçlendirme perdeleri ve kolon mantolarının aynı anda uygulandığı tasarım olarak belirlenmiştir. Soydan bu çalışmada güçlendirme perdelerinin yerlerini belirlerken düzensizliklere mahal vermemeye ve yapıya etki eden toplam kesme kuvvetinin büyük miktarını güçlendirme perdeleri ile karşılanmasına önem vermiştir. Bunu yaparken mevcut mimari durumu fazla değiştirmemiştir.

Arıtan (2023) çalışmasında 10 katlı betonarme bir yapının derzli ve derzsiz durumlarına göre deprem etkileri altındaki davranışlarını ve hasarlarını TBDY 2018 kuralları ve hesap esaslarını dikkate alarak doğrusal olmayan zaman tanım alanı yöntemiyle incelemiştir. Yapım ve güçlendirme maliyetleri her bir durum için karşılaştırılmıştır. Derzsiz ve derzli

dizaynların yapım maliyet hesapları incelendiğinde derzli yapım maliyetinin derzsiz göre %13 oranla yüksek olduğu saptanmıştır. Akabinde güçlendirmeler sonrası oluşan maliyetler kıyaslanmış ve derzli tasarımda gerçekleşen güçlendirme yapım maliyeti derzsiz tasarım güçlendirme maliyetine oranla %170 daha yüksek çıkmıştır.

Batmacı (2011) çalışmasında, mevcut yapı sistemlerinde kullanılan güçlendirme yöntemlerini incelenmiştir. Güçlendirme yöntemlerini kıyaslamak için örnek bir bina üzerinde kolonlara betonarme mantolama ile yerinde dökme betonarme perde elemanlar ilave ederek analizleri karşılaştırmıştır. Güçlendirme sonrasında çıkan yapım maliyetleri, yapıya kazandırılan dayanım ve performanslar üzerinden değerlendirme yapmıştır. Değerlendirmeler sonrasında mantolamaların güçlendirme elemanı olarak değil tamir veya lokal bir takviye elemanı olarak kabul edilmesi gerektiği sonucuna varmıştır. Çalışmada depreme karşı en önemli güçlendirme sistem elemanının betonarme perde elemanlar olduğunu görülmüştür.

Demirkan (2014) tez çalışması kapsamında ele alınan mevcut bir binanın depreme karşı olan performansını ve yapı üzerinde üç farklı güçlendirme yöntemini incelemiştir. Bunlar, yeni perde elemanlar ilave etmek, sadece kolonların mantolanması ve perde ilavesi ile kolon elemanlarının mantolanmasını birlikte uygulamaktır. Belirlenen modeller Sta4Cad analiz programı ile çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar tablolar halinde sunulmuştur. Sonuç olarak perde eklenmesi ve perde eklenmesi ile kolon mantolanmasının birlikte uygulanması durumu istenilen seviyede dayanıma ulaşmıştır. Yapım maliyeti yönünden ise en uygun tercih sadece perde ilavesi durumu olarak belirlenmiştir.

Karal (2021) çalışmasında, aynı şartlara sahip üç, beş ve sekiz katlı mevcut ve güçlendirilmiş betonarme yapıların deprem performanslarını TBDY 2018'e göre itme sabit tek modlu itme yöntemi ile incelenmiştir. Güçlendirme yöntemi olarak mevcut betonarme binalara merkezi çelik çapraz elemanlarının eklenmesi ve belirlenen kolonların mantolanması ile sağlanmıştır. Sonuç bölümünde yapılar için uygulanmış olan güçlendirme yöntemlerinin, binaların deprem performanslarını önemli miktarda artırdığı görülmüştür. Ayrıca güçlendirme yöntemlerinin uygulanması durumunda, taşıyıcı sistem elemanlarında hesaplanan hasar oranlarının da önemli seviyede azaldığı belirtilmiştir.

Karaca (2022) çalışmasında TBDY-2018 yönetmeliğini esas alarak mevcut betonarme bir okulun performans değerlendirmesini doğrusal olmayan hesap yöntemi ile yapmış ve yapının güçlendirilmesine karar verilmiştir. Akabinde yapı için üç farklı güçlendirme önerisi sunularak performans analizleri yapılmıştır. Binanın istenilen performans düzeyine ulaşması sağlanmıştır.

Ahıskalı (2021) çalışmasında TBDY 2018' e göre mevcut bir yapının performans değerlendirmesini yapmış ve yapının deprem performansı farklı çözüm yöntemleri kullanılarak yükseltilmeye çalışılmıştır. Bu bağlamda ülkemizde ve dünyada mevcut betonarme binaların güçlendirilmesi için genellikle kullanılan yapıya betonarme perde ilave etmek ve ara duvarların hasır çelik ilaveli özel sıva ve lifli polimer ile güçlendirilmesi yöntemlerini incelemiştir. Sonuç olarak yapı periyodu, maksimum kat yer değiştirmesi ve yapının hedef performans noktası x-y yönlerinde sırasıyla; perde eklenmesi, duvarlara hasır çelikli özel sıva ve lifli polimer güçlendirme yöntemleri lehine daha fazla azalmıştır.

Demir, Erkan, Dilmaç, Tekeli (2013) makale çalışmasında mevcut betonarme yapıların doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan çözüm yöntemleriyle incelenmesini yapmıştır. Doğrusal elastik olmayan hesap yöntemi ile yapılan analizlerde, doğrusal elastik hesap yöntemine göre daha güvenli değerler elde edilmiştir. Çalışmada doğrusal elastik hesap yöntemi sonucuna göre depreme karşı güvenli olmazken, doğrusal elastik olmayan hesap yöntemi analizine göre güvenli olduğu değerlendirilmiştir.

Zolmaz (2019) çalışmasında, 1975 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmeliğe göre tasarlanmış betonarme yapının ilk olarak doğrusal elastik performans değerlendirmesi sonra yapıya oturma alanının %1.60 betonarme perde ilavesiyle güçlendirilmiş binanın performans analizini yapmıştır. Yapıya betonarme perde elemanlarının ilave edilmesiyle yatay rijitliğinin yükseldiği, yer değiştirmelerin izin verilen sınırlarda kaldığı, taban kesme kuvvetinin büyük bölümünün perdeler tarafından karşılanmasıyla kolon ve kirişlerde daha küçük kuvvetler oluşarak hasar miktarının azaldığı gözlemlenmiştir.

Küçükaslan, Altan (2021) makale çalışmasında İstanbul Bahçelievler ilçesinde bulunan 9 katlı 1975 yönetmeliğine göre inşa edilen ve 1999 Marmara depreminde taşıyıcı

sistemlerinde meydana gelen hasar sonrasında elemanlarının bir kısmında güçlendirme işlemi yapılan mevcut betonarme binanın güçlendirme öncesi ve sonrasındaki deprem performanslarını TBDY 2018' e ve 2007 Türk Deprem Yönetmeliği' ne göre analiz ederek durumları kıyaslamıştır. Farklı yönetmeliklerine göre modellenen binanın deprem performansı arasında önemli farklılıklar saptamıştır. Yapılan değerlendirmeler 2007 yönetmeliğine göre “Göçmenin Önlenmesi” ya da “Can Güvenliği”ni sağladığı belirlenen binanın 2018 yönetmeliğine göre “Göçme” durumunda olduğunu göstermiştir.

Turna (2021) tez çalışması kapsamında, doğrusal olmayan çözüm yöntemine göre dört ve sekiz katlı yurt olarak kullanılması planlanan iki adet yapıya DD-1 ve DD-2 etkisi altında statik itme analizi yaparak, yapının yer değiştirmesi ile giriş hasar durumları hakkında detaylı incelemelerde bulunmuş ve sonuçları karşılaştırılmıştır.

Tutkal (2018) bu tez çalışmasında DBYBHY 2007 ve TS 500' e göre tasarlanmış, aynı kat planlarına sahip kat sayıları farklı 3 yapının Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ve Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanında Analiz yöntemleri ile deprem performansını incelemiştir. Hesap yöntemlerinden elde edilen çözümleri birbirleriyle karşılaştırmıştır. Analizlere göre maksimum tepe noktası yer değiştirme ve taban kesme kuvveti değerleri binalar için ayrı ayrı olmak üzere gösterilmiştir. Sonuç olarak 3 katlı yapıda her iki yöntemin değerleri birbirine yakın çıkmakta, kat adedi fazlalaştıkça ise söz konusu farkın arttığı görülmüştür.

Yağlıkçı (2020) tez çalışmasında, betonarme sistemlerini DBYBHY 2007' de tanımlanan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ve TBDY 2018' de tanımlanan sabit tek modlu itme yöntemine göre analizlerini gerçekleştirmiştir. Yapılan analizler sonucu kapasite eğrileri ve performans noktalarındaki yer değiştirmeleri, taban kesme kuvvetleri, kat kesme kuvvetleri ve görelî kat ötelemelerini değerlendirmiştir. TBDY 2018' e göre yapılan analizlerin DBYBHY 2007' ye göre daha doğru sonuç verdiğini düşünmektedir.

Körükcü (2021) tez çalışmasında, aktif deprem bölgesinde yer alan geçmiş döneme ait standartlara uygun yapıldığı bilinen mevcut bir yapının TBDY 2018 uyarınca deprem performansının belirlenmesini detaylı olarak açıklamaktadır. Yapılan analiz sonucunda mevcut yapının deprem performansını yetersiz olduğu sonucuna varılmış ve güçlendirme işleminin gerekliliği ortaya çıkartılmıştır. Güçlendirme yöntemi olarak, TBDY 2018

(Bölüm 15)' e uygun şekilde yeni perde elemanlarının ilave edilmesi ve kolon elemanlarına mantolama yapılmasına karar verilmiş ve analiz tekrarlanmıştır. Sonuç olarak kolon elemanlarının tamamı hasarsız, kiriş elemanların %94' ü hasarsız, görelî kat ötelemeleri oranının normal kat için %0.08, ara kat için %0.2 ve zemin kat için %0.1 mertebelerine düştüğü sonucu elde edilmiştir.

Uyan (2021) tez çalışmasında, TBDY 2018' de tanımlanan A3 ve B2 tipi düzensizlik durumlarına sahip mevcut betonarme binaların deprem performansları doğrusal olmayan analiz yöntemleri ile incelenmiştir. Performans analizleri, iki farklı yerel zemin sınıfı için yapılmıştır. Deprem performansını belirlemek için, doğrusal olmayan analiz yöntemlerinden sabit tek modlu itme yöntemi kullanılmış ve aynı binaların farklı zemin sınıfları üzerinde inşa edildiği durumlar incelenmiştir. Zemin sınıfı kötüleştikçe, binaların deprem davranışı ve deprem performansları da kötüye gitmekte, hatta göçme durumuna erişildiği sonucuna varılmıştır.

Çavdar, Çelik (2022) makale çalışmasında 29 katlı betonarme perde-çerçevesel bir yüksek binanın deprem yükleri altındaki davranışını incelenmiştir. Mevcut yapıya, bina yüksekliği H olmak üzere 0.33H ve 0.66H mesafelerinde dış destek kirişler ilave etmiştir. Oluşturulan iki farklı sayısal model için doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlerle analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda yapı rijitliği ve perdelerde kesme kuvvetlerinin arttığı görülürken; yerdeğiştirmeler, görelî kat ötelemeleri, plastik dönme değerleri ve perdeler için eğilme momenti değerlerinin ise azaldığı görülmüştür.

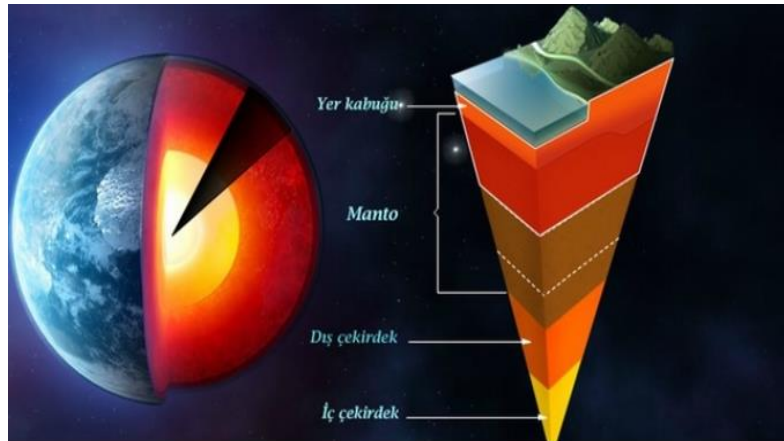
Meral (2021) yaptığı makale çalışmasında farklı yükseklikteki mevcut betonarme yapıların doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan zaman tanım alanında analizlerinden elde edilen sismik talepleri kıyaslamıştır. Analiz sonuçlarına göre doğrusal analizde taban kesme kuvveti talepleri daha fazla çıkarken doğrusal olmayan analizde ise görelî kat deplasman talepleri ve tepe noktası yüksek çıkmıştır.

3. DEPREMSELLİK

Deprem, yer kabuğunda oluşan sismik hareketler sonucunda, yüzey açığına çıkan fay kırılmaları ya da sarsıntıları olarak belirtilmektedir. Yer kabuğunda oluşan hareketlenmelerin ve sıkışmaların yüzeye çıkmasıyla gerçekleşir. Deprem, mevcut yapıların kullanılamaz duruma gelmesine, ulaşım ve alt yapı sistemlerinin olumsuz etkilenmesine ve ciddi can kayıplarının yaşanmasına neden olan tehlikeli bir doğal afettir. Depremi vereceği hasarın büyüklüğü ise, depremin büyüklüğü, deprem merkezine yakınlık, zemin özellikleri ve binaların depreme karşı dayanımına bağlıdır.

3.1. Yer Kabuğu ve Levha Hareketleri

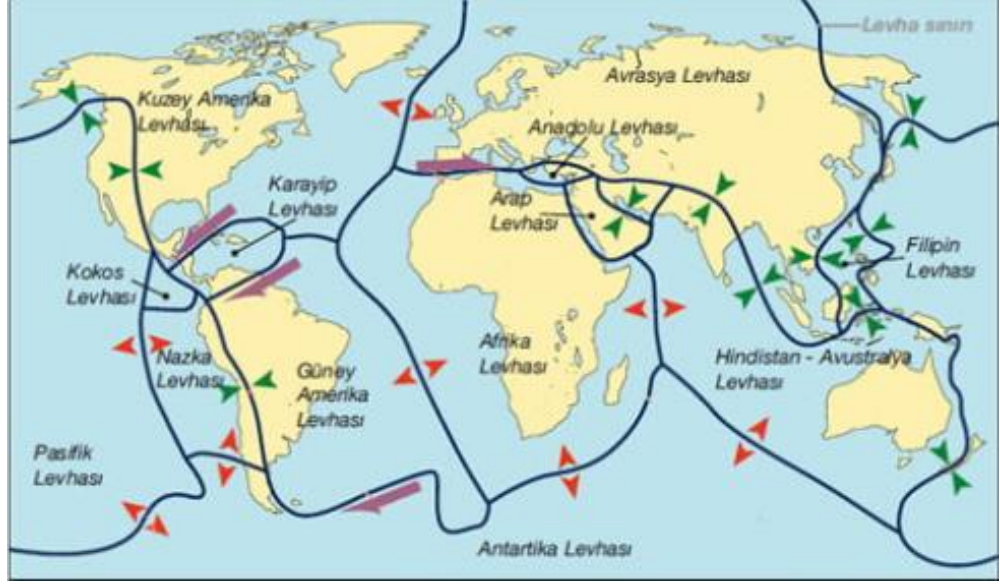
Jeolojik ve Jeofizik araştırmalarda elde edilen veriler sonucunda, dünyanın yüzeyinden merkezine doğru gidildikçe karşımıza ilk olarak katı halde 70-100 km kalınlığında yer kabuğunu oluşturan taşküre (Litosfer) katmanının olduğu görülmektedir. Kıtalar ve okyanuslar bu katmanda yer almaktadır. İkinci katman olarak çekirdek ve litosfer arasında bulunan Dünyanın ağırlığının ve yüz ölçümünün büyük bir kısmını oluşturan ve derinliği yaklaşık 2900 km olan Manto bulunmaktadır. Manto katmanı; üst manto (astenosfer), orta manto, alt manto olmak üzere üç kısma ayrılır. Manto katmanı yarı viskoz, yarı katı halde bulunmaktadır. En iç katman çekirdeğin yaklaşık kalınlığı ise 3400 km' dir.



Şekil 1. Yer kabuğu katmanı

(Kaynak: <https://erhananadol.com>, 2023)

Yaşamın devam ettiği kıtalar ve okyanusların bulunduğu Litosfer katmanı, hemen altında viskoz halde bulunan astenosferde meydana gelen kuvvetler ve konveksiyon akımlar nedeniyle parçalanmakta ve levhalara bölünmektedir. Mevcut durumda dünyada on büyük levha ve fazla sayıda küçük levha oluşmuştur.



Şekil 2. Dünya üzerindeki levhalar

(Kaynak: <http://meslek.eba.gov.tr>, 2023)

Türkiye; Avrasya, Arabistan ve Afrika gibi üç büyük tektonik plaka ile Ege ve Anadolu plakaları gibi iki küçük plaka arasında bulunmaktadır.



Şekil 3. Anadolu'yu çevreleyen levhalar ve yönleri

(Kaynak: <https://jeogenc.net>, 2023)

Bu levhalar üzerlerindeki kıtalarla birlikte üst mantonun üstünde yüzerek insanların fark edemeyeceği bir hızda hareket etmektedir. Astenosferde oluşan konveksiyon akımları, radyoaktive nedeniyle meydana gelen ısıya bağlanmaktadır. Konveksiyon akımları yüzeye yükseldikçe litosferde gerilmelere daha sonrada zayıf zonların kırılmasıyla levhaların oluşmasına neden olmaktadır.

Litosferi oluşturan levhaların birbirine dokundukları, sıkıştırdıkları, birbirlerinin üstüne çıktıkları ya da altına doğru hareket ettikleri sınırlar depremlerin oldukları bölgeler olarak görülmektedir (Afyon Kocatepe Üniversitesi Deprem Uygulama ve Araştırma Merkezi). İtilmekte olan bir levha ile bir diğer levha arasında sürtünme kuvveti aşıldığı zaman hareketlenme meydana gelir, oluşan bu hareket çok kısa bir zaman aralığında gerçekleşir ve şok niteliğindedir. Sonunda uzak mesafelere kadar yayılabilen deprem dalgaları ortaya çıkar. Bu dalgalar geçtiği ortamı sarsarak deprem bölgesinden uzaklaştıkça enerjisini azaltır. Bu sırada yeryüzünde, bazen gözle görülebilen bazen de yüzey tabakalarıyla gizlenmiş halde görülemeyen kilometrelerce uzanabilen ve fay adı verilen arazi kırıkları oluşabilir.

3.2. Depremlerin Oluş Türleri ve Faylanma

3.2.1. Depremin Oluş Türleri

Depremler oluş sebeplerine göre tektonik, çöküntü ve volkanik olmak üzere sınıflandırılmaktadır. Gerçekleşen depremlerin büyük bir kısmı levha hareketleri nedeniyle meydana gelen Tektonik depremler olarak nitelenir. Yer yüzeyin de gerçekleşen depremlerin %90' lık kısmı bu türde yer almaktadır. Ülkemizdeki depremlerin büyük bir bölümü de tektonik depremlerden oluşmaktadır. İkinci tip deprem türü ise Volkanik depremlerdir. Volkanizma faaliyetleri sırasında yeryuvarı derinliklerinde ergimiş maddenin yer yüzeyine çıkışı sırasındaki fiziksel ve kimyasal olay sonucunda oluşan gazların yapmış oldukları patlamalarla bu tür depremlerin meydana geldiği bilinmektedir. Etkin volkanların çevresinde görülen depremlerdir, şiddeti yanardağların büyüklüğüne bağlıdır. Etki alanları dardır ve büyük zararlara sebebiyet vermezler. Türkiye' de aktif yanardağ bulunmadığı için Volkanik deprem tipine rastlanmaz (Afyon Kocatepe Üniversitesi, Deprem Uygulama ve Araştırma Merkezi).

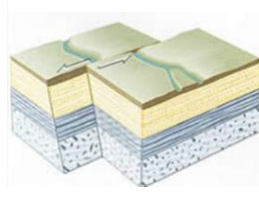
Diğer deprem türü ise Çöküntü depremleridir. Tuzlu ve jipsli arazilerde erime sonucu yeraltında bulunan oyuk ve mağaralarda toprağın çökmesiyle gerçekleşen karstik bölgelerde çok karşılaşılan deprem türüdür. Kısa süreli depremler olduğundan ve Etki alanı olarak yakın bölgesini sarsan yıkıcı olmayan depremlerdir. Çöken bölgelere yakın çevrelerde bulunan yapılar üzerinde sarsıntı ve çatlaklar görülebilir.

3.2.2. Fay Türleri

Deprem esnasındaki yer hareketi fay kırılmaları boyunca oluşur. Fay; yer kabuğundaki kayaç kütlelerinin oluşan deformasyon enerjisini karşılamayarak bir kırılma düzlemi boyunca levhaların kayması ve oluşan iki parçanın birbirlerine göre göreceli olarak yer değiştirmesi ile ortaya çıkan kırıklardır. Fayların boyu depremin büyüklüğü ile logaritmik oranlıdır. Büyük ve sığ depremlerde yeryüzünde gözlenen fayın boyu yüzlerce kilometreye ulaşabilmektedir. Örneğin 1939 Erzincan depreminde oluşan fayın uzunluğu 360 km olarak ölçülmüş ve üzerindeki en büyük yer değiştirme (atım) ise 750 cm olarak görülmüştür. Faylar, genellikle hareket yönlerine göre isimlendirilirler. Yatay hareket sonucu meydana gelen faylara doğrultu atımlı fay denir, ülkemizdeki Kuzey Anadolu Fayı doğrultu atımlı fay buna örnektir. Fayın oluşturduğu iki ayrı blokun birbirlerine göreceli olarak sağa veya sola hareket eder, bunlar sağ veya sol yönlü doğrultulu atımlı faya bir örnektir. Doğrultu atımlı faylar şiddeti (hasarı) büyük olan depremler oluşturur. Düşey hareketlerle meydana gelen faylara ise eğim atımlı fay denir, bu fayda bir blok yükselirken diğer tarafındaki düşerek uzaklaşır. İki bloğun birbirine olan durumuna göre eğim atımlı normal fay veya eğim atımlı ters fay olarak isimlendirilir. Fayların büyük kısmında hem yatay, hem de düşey hareket bulunabilir. Bu faylara oblik (verev) atımlı faylar olarak adlandırılır (İşçi 2008).

3.2.2.1. Doğrultu atımlı fay

Bloklar birbirlerine göre yanal hareket yapmaktadır. Doğrultu atımlı faylar dik bir konumda olan ve yerin içine doğru hafifçe eğimlenen yalnızca yatay atımın olduğu yanal atımlı faylardır. Hareket eden blok sabit bloğa göre sağa doğru hareket ederse sağ yönlü, sola doğru hareket ederse sol yönlü doğrultu-atımlı fay olarak isimlendirilir. Örneğin Kuzey Anadolu Fayı (KAF) sağ, Doğu Anadolu Fayı (DAF) sol yanal bir faydır.



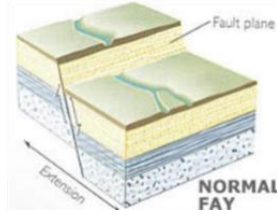
Şekil 4. Doğrultu-atımlı faylar

(Kaynak: <http://tag.eng.ankara.edu.tr>, 2023)

3.2.2.2. Eğim atımlı Faylar

a) Normal fay

Bu fay türünde hareketli blok aşağıya doğru hareket etmektedir.

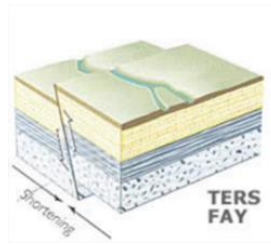


Şekil 5. Normal faylar

(Kaynak: <http://tag.eng.ankara.edu.tr>, 2023)

b) Ters fay

Bu fay türünde hareketli blok yukarıya doğru hareket etmektedir.

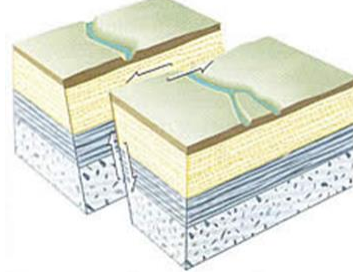


Şekil 6. Ters faylar

(Kaynak: <http://tag.eng.ankara.edu.tr>, 2023)

3.2.2.3. Oblik (Verev) Atımlı Faylar

Fay düzlemi boyunca hareketin hem düşey hem yatay yönde olduğu faylardır.

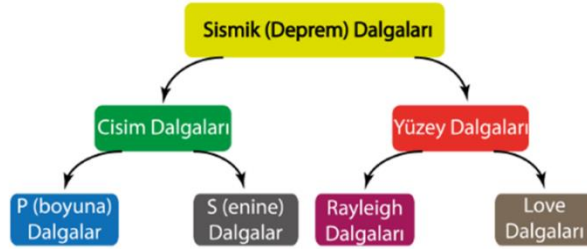


Şekil 7. Oblik atımlı faylar

(Kaynak: <http://tag.eng.ankara.edu.tr>, 2023)

3.3. Deprem Dalgaları

Deprem anında açığa çıkan enerjinin bir kısmı faylanma ile kayaçların deformasyonu için harcanırken, geriye kalan bölümü ortamın özelliklerine göre yer altında elastik dalgalar şeklinde ilerler. Sismik dalgalar olarak bilinen bu elastik dalgalar tüm yönlerde doğru farklı türlerde ilerler. Deprem esnasında başlıca iki dalga türü açığa çıkar. Bunlar, Cisim ve Yüzey dalgalarıdır.



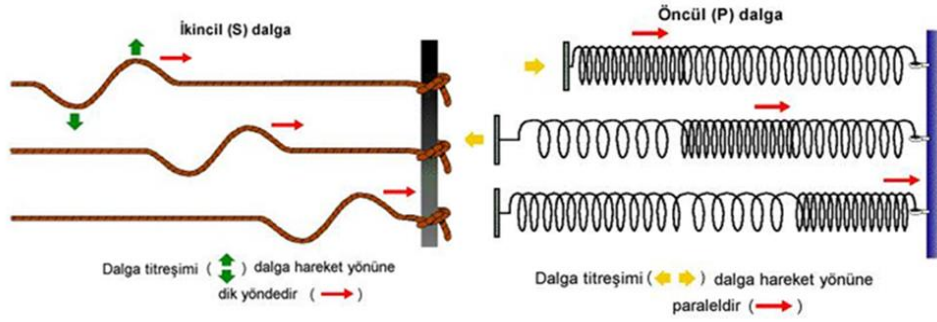
Şekil 8. Deprem dalgaları

(Kaynak: <https://www.fizik.net.tr>, 2023)

3.3.1. Cisim Dalgaları

Yer kabuğunda ani kırılma veya patlamaların oluşturduğu titreşimler merkezinden itibaren her doğrultuda yayılan P ve S sismik cisim dalgalarını oluşturur. Bu cisim dalgaları yer içerisinde değişik hızlarda yayılan ve kayıtlarda ilk görünen dalgalar

olmakla birlikte sıkışma ve kesme dalgaları olarak da ifade edilirler. Cisim dalgaları, yerin derinliklerinde yüzeyine oranla daha hızlı yayılırlar (İleri, 2006). P ve S dalgaları ilerleme katettikleri ortama göre 5-15 km/saniye arası hızda ilerler. S-dalgalarının ilerleme hızı P-dalgalarının yarısı kadardır. Bu durumda ilk olarak P-dalgası yapıya etkir ve ardından S-dalgası etki eder.

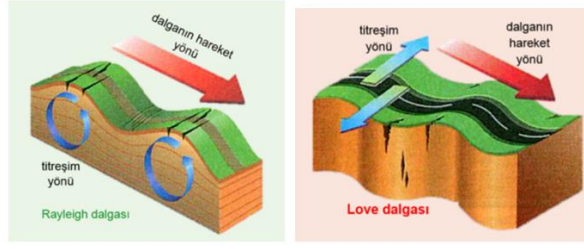


Şekil 9. S ve P dalgaları

(Kaynak: <https://acikders.ankara.edu.tr>)

3.3.2. Yüzey Dalgaları

Yüzey dalgaları, sismik bir ortamdan çıkarak serbest yüzey boyunca cisim dalgalarından daha yavaş şekilde yayılmaktadır. Cisim dalgalarının ilerleyebilmesi için yarı-sonsuz yani tersine sınırlı bir ortam gerekmektedir. Yer kürenin kabuğu cisim dalgalarının meydana gelmesi için yarı-sonsuz ortamı sağlarlar. Deprem ya da patlatma gibi yer yüzeyine yakın bulunan sismik bir kaynak tarafından meydana gelen enerjinin belirli bir bölümü yer yüzeyine yakın yarı-sonsuz bu ortam çevresinde hapsolür ve bu ortam içerisinde ilerler. Yüzey dalgaları, cisim dalgalarından daha düşük frekansa sahiptir. Düşük frekansa ve büyük genliklere ulaşmalarından dolayı yüzey dalgaları depremlerde binalara zarar veren dalga türüdür. Başlıca iki tür yüzey dalgası bulunmaktadır. Bu dalgalar Rayleigh ve Love dalgalarıdır.



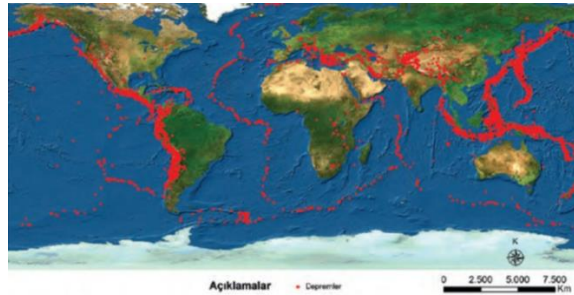
Şekil 10. Rayleigh ve love dalgaları

(Kaynak: <https://www.fizik.net.tr>, 2023)

3.4. Depremlerin Coğrafi Dağılımı

3.4.1. Dünya Deprem Kuşakları

Tektonik depremler yerküre üzerinde bulunan levha sınırlarında oluşmaktadır. Dünyada deprem riski taşıyan yerleri, yerküre üzerinde oluşan depremlerin büyüklüğü ve neden oldukları kayıplar ele alındığında Pasifik çevresi kuşağı ve Akdeniz Alp-Himalaya deprem kuşağı olmak üzere iki ana kuşağa ayırabiliriz. Gutenberg Richter'in araştırmalarına göre depremlerin açığa çıkardığı enerjinin %80' i Pasifik Kuşağında, %15' i Akdeniz Kuşağında, geri kalan %5' i ise diğer deprem bölgelerinde meydana gelmektedir. Pasifik Çevresi Kuşağı; Büyük Okyanus çevresinde yer alan Şili, Meksika ve ABD' nin Batısı, Japonya, Çin, Filipinler, Endonezya ve Yeni Zelandada bu kuşakta bulunan yüksek deprem riskine maruz kalan ülkelerdendir. Alp-Himalaya deprem kuşağında yer alan ülkeler ise; Türkiye, İran, Hindistan, Nepal, Afganistan, Yunanistan ve İtalya' dır. Geçmiş zamanda bu kuşaklarda bulunan ülkelerde büyük depremler oluşarak ciddi kayıplara sebep olmuştur.



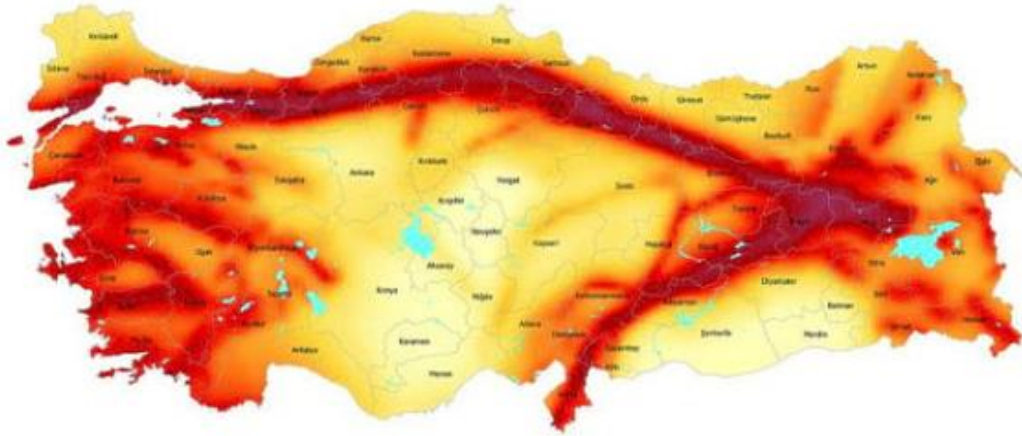
Şekil 11. Alp-Himalaya deprem kuşağı

(Kaynak: <https://acikders.ankara.edu.tr>)

kuşaklarınca ilerleyen bölgeler ile Ege Bölgesi ve Göller Yöresi'ni oluşturur. II. derece deprem bölgesi; I. derece deprem bölgelerinin etrafını kapsar. Trakya' nın kuzey bölgesi, Karadeniz kıyıları, Güneydoğu Anadolu'nun güneyi ve İç Anadolu' nun etrafı III. Ve IV. Derece deprem bölgelerini oluşturur. Akdeniz kıyısı ile Tuz Gölü arasındaki bölge deprem tehlikesinin en az olduğu V. Derece deprem bölgesini oluşturmaktadır.

3.5. Türkiye' deki Depremler

Depremlerin genellikle fay kuşakları boyunca meydana gelmesi, Ülkemizin tektonik depremlerin etkisinde olduğunu göstermektedir. Ülke topraklarının %96' sı deprem tehlikesiyle karşı karşıya olduğu, nüfusun %98' inin ise bu bölgelerde yerleştiği görülmektedir (Can H, 2010).



Şekil 13. Türkiye deprem tehlike haritası

(Kaynak: AFAD, 2018)

Bu bağlamda ülke nüfusunun ve yüz ölçümünün büyük bölümü ile ekonomisini oluşturan temel unsurların büyük çoğunluğu deprem kuşağındadır. Ülkemizin bulunduğu coğrafya, geçmiş tarihte çok sayıda yıkıcı depreme maruz kaldığı bir bölgede bulunmaktadır. Yakın tarihteki kayıtlar incelendiğinde büyük yıkıcı depremlerin olduğunu görmekteyiz.

Gelişmiş ülkeler için yok hükmünde olan deprem büyüklükleri, ülkemiz açısından ciddi tehlike oluşturmaktadır. Mevcut durumda sarsıntı olmadan kendi kendine çöken binalarımız dahi bulunmaktadır. Yeni yapılarımız hakkında ise; güvenli üretilip

üretildiği, hangi kalitede mühendislik gördüğü, denetim mekanizmalarının durumu sürekli takip edilmelidir.

Ülkemizdeki doğal afetlerin neden olduğu olumsuz etkiler yönünden yüzdelerle sıralaması; %61 deprem, %15 toprak kayması, %14 sel, %5 kaya düşmesi, %4 yangın ve %1 çığ şeklinde gerçekleşmektedir (TMMOB, 2012). Doğal afetler önemli can kaybı yanında ciddi ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Bu durumdaki istatistikler incelendiğinde, doğal afetlerin her yıl Türkiye gayri safi milli hasılasının %1' i oranında doğrudan ekonomik kayba etki ettiği görülmektedir. Doğrudan ekonomik kayıpların yanı sıra üretim kaybı, pazar kaybı, işsizliğin artması gibi dolaylı ekonomik kayıplar da düşünülürse toplam kaybın gayri safi milli hasılanın %1' inden çok daha fazla olduğu görülmektedir (Can H, 2010).

4. YAPILARDA OLUŞAN HASARLARIN BİÇİMLERİ VE NEDENLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1. Betonarme Yapı Elemanlarındaki Çatlak ve Hasar Durumları

Tasarımdaki hesap edilen yükleri karşılamayacak duruma gelen taşıyıcı elemanlar yapının güvenliği için risk oluşturabilir. Projede planlanan onarım ve güçlendirme çalışmalarında, yapıda çatlama neden olan kuvvetleri bilmek, onarım yöntemini doğru seçilmesi açısından önemli bir faktördür (Topçu, 2019).

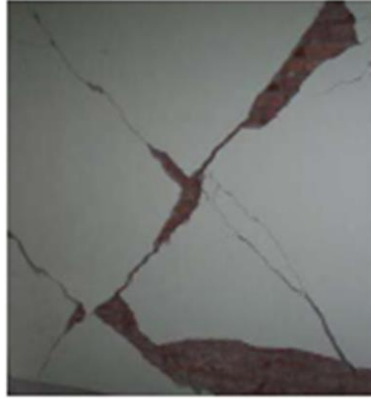
4.1.1. Duvar Hasarları

Ülkemizde betonarme taşıyıcı sisteme sahip yapılarda bölme duvar olarak tuğla dolgu duvarlar sıklıkla tercih edilmektedir. Hesaplarda etkileri genellikle dikkate alınmasalar da, bu duvarların yapının deprem davranışı üzerinde belirli bir etki ve katkıya sahip oldukları deneysel araştırmalardan anlaşılmaktadır. Dolgu duvarlar büyük düzlem içi rijitliklere sahip olmaları sebebi ile bina davranışına yatay deprem yüklemelerinin ilk anlarında önemli katkılar vermekte, ancak daha sonra yükler altında gevrek bir biçimde kırılarak tüm etkilerini yitirmektedirler. Buna ek olarak birçok bilinmeyenine sahip olması nedeniyle dolgu duvarların, taşıyıcı sistemin yatay rijitliğine ve kapasitesine sağladığı etki hesaba katılmayarak yedek kapasite olarak dikkate alınmaktadır (Sağlıyan, 2018). Dolgu duvarlarda meydana gelen hasarların araştırılması, taşıyıcı sistemin davranışının daha gerçekçi anlaşılmasına fayda sağlar (Batmacı, 2011). Duvar çatlaklarının oluşmasında aşağıdaki dört faktör etkindir;

- a. Depremler, fırtınalar ve doğal afetlerin neden olduğu titreşimler,
- b. Zemine bağlı yapı temelinde oluşan hareketlilikler,
- c. Yapı içi kullanıcı hareketleri ile yapı çevresinde ulaşım araçlarının oluşturduğu trafik, inşaat faaliyetleri vb. sebeplerle oluşan yapay titreşimler,
- d. Yapı elemanlarında oluşan aşırı sehim, duvar hasarlarına sebebiyet verebilmektedir.

Dolgu duvarlarda kullanılan malzemenin çekme dayanımı, harcın ise kayma dayanımı zayıftır. Duvarlardaki en önemli hasar nedeni, depremde meydana gelen yatay

kuvvetlerin dolgu duvarları kesme kuvvetiyle zorlamasıdır. Kayma gerilmeleri sebebiyle çekme gerilmelerinin oluşturduğu X şeklindeki çapraz çatlaklar, dolgu duvarlarda ayrılma ve dağılmalara sebebiyet verir (Çırak, 2011). Duvarın kiriş ve kolonla olan ara kesitinde yatay ve düşey ayrılma çatlakları da bazı durumlarda oluşmaktadır. Oluşan çatlakların boyutları üst katlara gidildikçe azalmaktadır. Dolgu duvar, kolon-kiriş düzleminde bulunmuyorsa veya L şeklinde ise, duvarda çatlaklar ve hasar daha belirgin şekilde görünür.



Şekil 14. Duvarda x şeklinde çapraz çatlak hasarı

(Kaynak: Çırak, 2011)

Mevcut temelde, zeminin yapısı ve zemine gelen yükler sonucu ani oturma ve konsolidasyon oturmaları oluşmaktadır. Zemindeki oturmadan kaynaklı meydana gelen boşluklara dolgu duvarlar, betonarme elemanlar gibi uyum gösteremez ve askıda kalır. Askıda kalan bu duvarlardaki gerilmeler nedeniyle çatlaklar oluşabilir. Alt katlarda duvara etkiyen düşey yükler daha fazla olacağından üst katlara oranlar çatlaklar daha belirgindir (Yılmaz, Umu, 2017).



Şekil 15. Zemin kat duvar hasarı

(Kaynak: Yılmaz, Umu, 2017)

Günümüzde makineleşme ve yapılaşma ivme kazanarak, ulaşım ağları genişlemekte dolayısıyla hareket ve dolaşım ciddi seviyelerde artmaktadır. Bu sebeple yapıların işlevi ve konumları itibariyle ciddi yapay titreşimlerin etkisinde kalacağı, tasarım aşamasında göz önüne alınmalıdır. Aksi takdirde belirli bir rijitliğin altında yapılmış taşıyıcı elemanlarda titreşimler, duvarların çatlamasına neden olabilir (Işık, Kuruşcu, 2018).

Aşırı sehim kaynaklı duvar çatlakları ise daha çok tasarım ve uygulama sırasında gerekli özen gösterilmemiş yapılarda karşılaşılan durumdur. Betonarme yapılarda, zemin kattan sonra kat alanını büyütmek amacıyla yapının bir bölümünün konsol kirişler üzerine oturtulması özellikle ülkemizde çok sık rastlanan bir uygulamadır. Ülkemizde çok sayıda binanın alanı, konsol çıkmalarla zemin kattan sonra genişletilmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda, bu türden yapıların büyük kısmında konsol kirişlerin sehim yapmasına bağlı olarak, kirişlere oturan duvarlarda zamanla boydan boya duvarlarda yatay çatlak, yan duvarlarda ise eğik çekme çatlaklar oluştuğu gözlenmiştir. Bu türden çatlaklar yapı için genellikle büyük riskler oluşturmazlar. Ancak yapıların bu kısımlarında gündelik kullanım sorunlarının (sehim, kapı veya pencere sıkışması vb.) yanı sıra oluşan çatlakların konuya uzak insanlar üzerinde yarattığı psikolojik etkiler, yapının iç ve dış görünümünde bozukluklar ile yağmur suyunun çatlaklardan içeriye nüfus etmesi ile yapı içerisinde farklı sorunlar teşkil edebilmektedir (Aykaç, Ekinci, 2011).



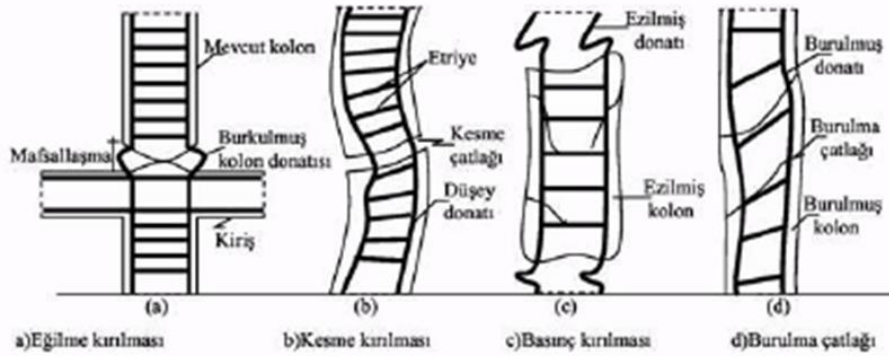
Şekil 16. Sehime bağlı konsol üzerinde duvar çatlak hasarı

(Kaynak: Aykaç, Ekinci, 2011)

4.1.2. Kolon Hasarları

Betonarme yapıda kolonlar, diğer yapı elamanlarına göre depremlerden daha çok etkilenmekte olup taşıyıcı sistemde kolonlara iki önemli görev düşmektedir. Bunlardan birincisi yapıya etki eden düşey ve yatay yüklerin tamamını, temel sistemine güvenli bir biçimde aktarmak, ikinci önemli görevi ise yatay yüklerden dolayı oluşacak rölatif kat ötelemelerinin izin verilen sınırlar içinde kalmasını sağlamaktır. Düşey ve yatay yüklerin etkisinde kalan kolonlarda, genellikle aksel (normal) kuvvet, eğilme momenti ve kesme kuvveti meydana gelmektedir. Yapılarda kütle ve rijitlik merkezlerinin çakışmadığı durumlarda, deprem etkisinde kalan bir yapının kolonlarında burulma momenti de oluşmaktadır (Doğangün, 2019). Oluşan bu kuvvetler neticesinde betonarme kolonlarda aşağıda belirtilen dört çeşit hasar meydana gelmektedir. Bunlar;

- a. Eğilme Kırılması
- b. Kesme Kırılması
- c. Basınç Kırılması
- d. Burulma Kırılması

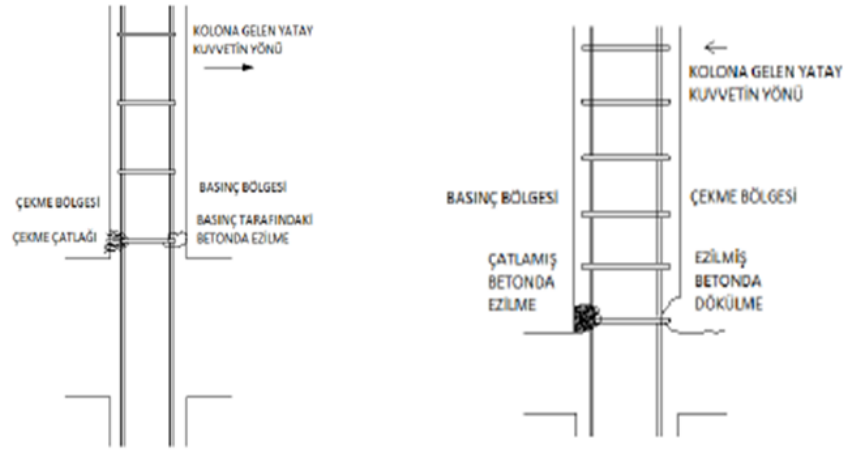


Şekil 17. Kolonlardaki hasar çeşitleri

(Kaynak: Yılmaz, Umu, 2017)

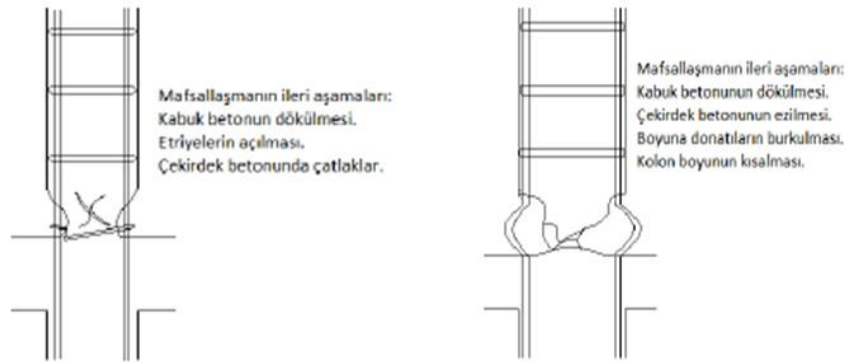
Bu hasar durumlarının biri veya aynı anda birkaç kolonda hasara neden olabilir. Yön değiştiren eğilme momentleri ya da kesme kuvvetlerinin sebep olduğu hasarlar kolon elamanlarında en çok karşılaşılan hasar biçimidir. Özellikle normal kuvvetle beraber etkiyen eğilme momentleri kolonun her iki yüzünde çatlama, ezilme ve örtü betonun dökülmesiyle hasar oluşturur (Yüksel İ, 2008).

Eğilme kırılması, deprem etkisiyle kolonda oluşan eğilme momentinin artarak kolon uçlarında mafsallaşma meydana getirmesiyle oluşur. Birleşim bölgeleriyle kolon sargı bölgesinde yeterli sargılama donatısı mevcut değilse çekirdek betonu rahatlıkla ezilerek parçalanır akabinde kolon boyuna donatıları burkulur. Aynı zamanda kolonda boy kısalması da oluşabilir. Bu sebeple kolon elemanı, beklenen performansı gösteremez. Kolon uçlarında ileri düzeyde mafsallaşma gerçekleştiyse (etriereler açılmış, beton parçalanarak kısmen dağılmış, boyuna donatılar açılıp bükülmüşse) kolonun eğilme ve kesme kuvveti taşıma gücü önemli düzeyde azalmıştır.



Şekil 18. Kolonda mafsallaşma hasarının ilk aşamaları

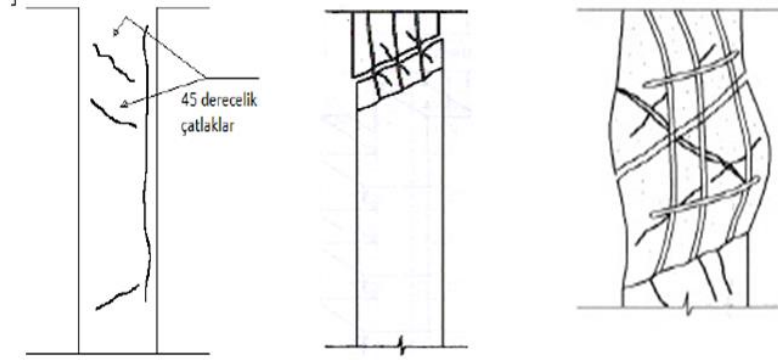
(Kaynak: Demirkan, 2014)



Şekil 19. Kolonda mafsallaşma hasarının ileri aşamaları

(Kaynak: Demirkan, 2014)

Kolon kesme kırılması, kolona gelen kesme kuvvetini karşılayamaması sonucu oluşan hasar tipidir. Kesme kırılması hasarında kolonda yaklaşık 45 derece açıyla beliren eğik çatlaklar oluşur. Yaşanan depremlerin ardından yapılardaki hasar tespitleri neticesinde kolonda kesme kuvveti hasarı daha çok, kolon alt ve üst uçlarında yeterli etriye sıklaştırılmasına ve donatı filiz boylarına özen gösterilmeyen yapılarda ve taşıyıcı elemanlarda beton ile donatı arasında yeterli aderansın sağlanamadığı binalarda görülmüştür (Çırak, 2011). Kolonlarda oluşan tehlikeli kırılma sebeplerinden birisi de kısa kolon oluşumudur. Kısa kolon davranışının oluşturduğu kolon hasarı da aslında bir kesme kırılması durumudur. Kolon yüksekliğince devam etmeyen bölme duvarlar, sahanlık kirişleri, fabrika ve depo gibi yapılarda genellikle kolon üst kısmına yakın konumlandırılan bant pencere vb. yapı elemanlarını kolon serbest boyunun projede öngörülenden daha kısa olmasına neden olarak yatay yükler karşısında kısa kolon hasarı oluşturabilir. Serbest boyu kısalan kolonlar alt ve üst uçlarında yeterli derecede yanıl yer değiştirme yapamayarak tasarlandığından daha rijit davranırlar. Bu sebeple kolonlar hesaplanandan daha fazla yatay kuvvetlere maruz kalarak, karşılayabileceğinden büyük kesme kuvvetleriyle zorlanır. Bu büyük kesme kuvvetleri de kesme kırılmasına sebep olur. Kısa kolonda görülen çatlaklar kesme çatlakları türünde olacağından biçimsel olarak yukarıda açıklanan kesme çatlaklarına benzemektedir.

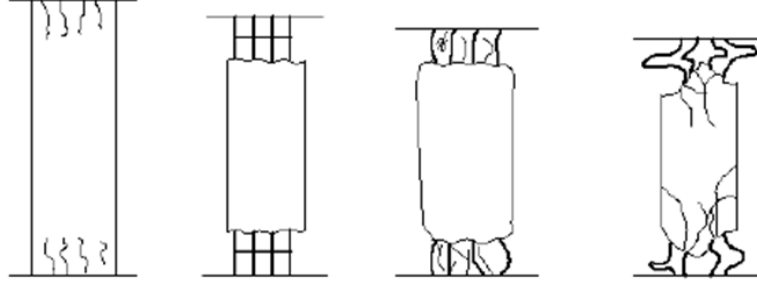


Şekil 20. Kolonda kesme hasarı

(Kaynak: <https://www.sanalsantiye.com>, 2023)

Kolon basınç kırılmasının belirtisi, kolon dış yüzeyinde oluşan düşey beton çatlakları ve donatıların burkularak dışarı çıkmasıdır. Tasarım hataları nedeniyle kolonun maruz kaldığı basınç kuvveti, gerçekte hesaplanan değerden depreminde etkisiyle %50 daha

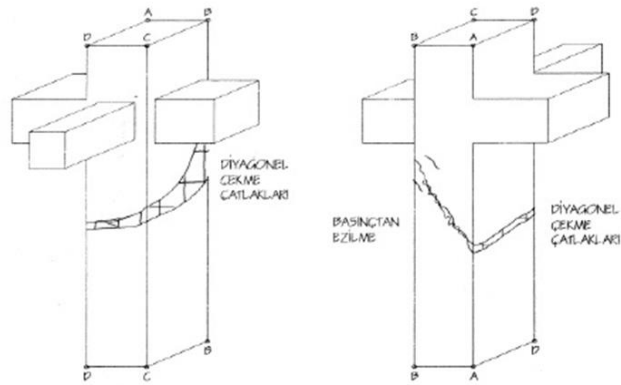
fazla olduğu durumlarda veya uygulamada betonun sıkıştırılmasında yapılan hatalı işçilik neticesinde beton dayanımının düşük olduğu kolonlarda bu hasarın görülme ihtimal daha yüksektir. Beton basınç kırılması, gevrek aynı zamanda ani bir kırılma biçimidir. Basınç kırılması, kolon kesitinin dış kabuk kısmında bulunan beton ezilmeye başladığında, donatı henüz akma birim uzamasına ulaşmamış ise kolonda basınç kırılmaları gerçekleşmektedir (Koç, 2022).



Şekil 21. Kolonda basınç kırılması aşamaları

(Kaynak: <https://www.sanalsantiye.com>, 2023)

Kolonlarda oluşan önemli diğer bir hasarda burulma çatlakları şeklinde ortaya çıkar. Bu kırılma türü gevrek kırılma şeklindedir. Burulma kırılması, deprem kuvvetinin yapı kütle merkezi ve rijitlik merkezinin yaklaşmadığı durumlarda kolonlarda ek burulma momentleri oluşması suretiyle meydana gelir. Burulma durumunda kolon elemanların birbirine komşu iki yüzünde diyagonal çekme çatlakları oluşurken diğer iki yüzünde diyagonal olarak betonda ezilmeler oluşur.



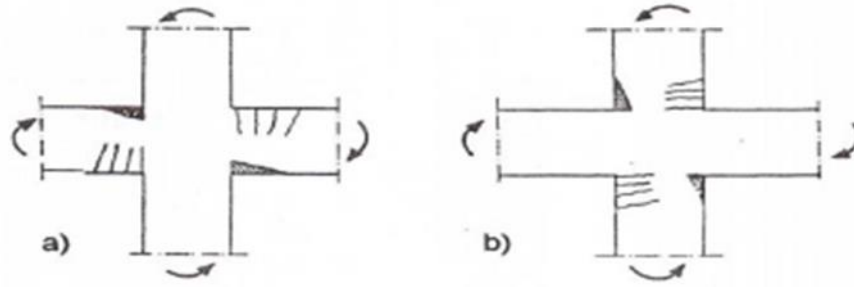
Şekil 22. Kolonda tipik burulma çatlakları

(Kaynak: Keskin, 2005)

4.1.3. Kolon-Kiriş Birleşim Bölgesi Hasarı

Kolon ve kiriş birleşim bölgeleri, sistemin rijitliği ve deprem yüklerinin karşılanması yönünden yapı için büyük önem taşır. Yatay yükler altında kolon-kiriş birleşim yerleri yapıda en çok hasar alan kısımlardan birisidir. Yapı güvenliği açısından birleşim bölgesinde gerçekleşen her türlü hasar ve çatlak, sistemin yatay yük taşıyıcılığını ve rijitliğini doğrudan etkilediğinden dikkatlice incelemek gerekir. Ayrıca birleşim bölgelerindeki hasarlar, taşıyıcı elemanlar arasındaki iç kuvvet dağılımının engellenmesine sebebiyet verir (Yılmaz, Umu, 2017).

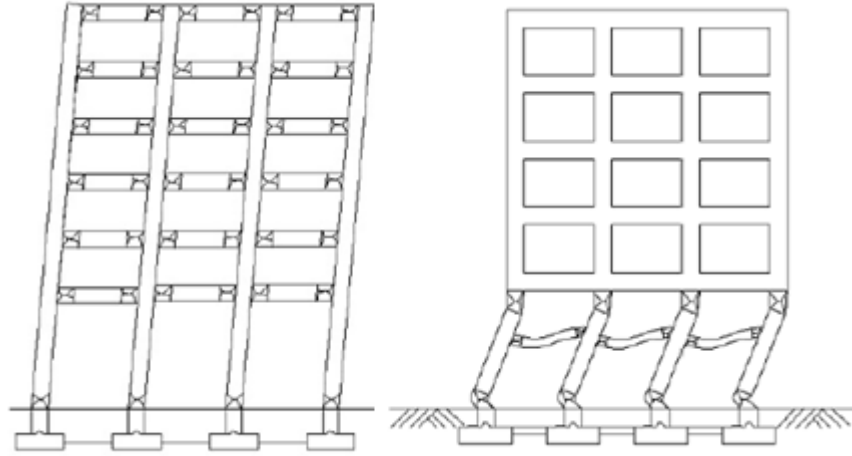
Kuvvetli kiriş-zayıf kolon sistemlerinde mafsallaşma ilk olarak zemin kat kolonlarında başlar ve sistem hemen mekanizma haline gelir. Hiç istenmeyen bir taşıyıcı sistem davranışı olup sistem sünekliği oldukça azdır. Kuvvetli kolon-zayıf kiriş durumunda ise önce zemin kat kirişlerinde mafsallaşma oluşması beklenir. Daha sonra kirişler üst katlara doğru mafsallaşmaya devam ederken ilk kat kolonları elastik durumdadır. Tüm kirişlerdeki mafsallaşmadan sonra artan enerji varsa en çok zorlanan ilk kat kolonları da mafsallaşır ve beraberinde üst katlardaki kolonların da mafsallaşmasıyla sistem mekanizma olur. Tüm kirişler enerji sönmüne katıldığı için sünek bir göçme mekanizması oluşmuş olur (Demirkan, 2014).



Şekil 23. a) Güçlü kolon durumunda birleşim bölgesi hasarı, b) güçlü kiriş durumunda birleşim bölgesi hasarı

(Kaynak: Keskin, 2005)

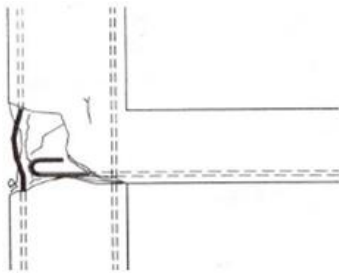
İki mekanizmaya ait örnek göçme Şekil 24' da verilmiştir. Göçme anında, her hasar bölgesinde eşit enerji tüketildiğini kabul edersek, birinci durumda oluşan hasar sayısı ve enerji tüketimi, ikinci durumda oluşan hasar sayısı ve enerji tüketimine oranla daha fazla olup aradaki fark belirgindir (Koç, 2022).



Şekil 24. Kuvvetli kolon-zayıf kiriş ve kuvvetli kiriş-zayıf kolon etkisinin yapılarındaki sistem mekanizmasına etkisi

(Kaynak: Koç, 2022)

Depremde hasar görmüş yapılar incelendiğinde, kirişlerin kolonlara göre daha rijit ve güçlü yapılmasından kaynaklı, önce kolonlarda hasarların oluştuğu bu nedenle yapıların göçtüğü veya ciddi hasarlar aldığı görülmektedir. Birleşim bölgesindeki hasarlar, genellikle birleşim yerlerindeki kolonlara kiriş yüksekliğince yeterli etriye yerleştirilmemesinden kaynaklı olup, düşey yük etkisiyle kolon boyuna donatısının dışarı doğru burkularak üzerindeki kabuk betonun kopmasıyla oluşur.



Şekil 25. Birleşim bölgesinde etriye eksikliği nedeniyle oluşan hasar biçimi

(Kaynak: Koç, 2022)

Kolon-kiriş birleşim bölgelerindeki diğer bir hasar sebebi ise kiriş boyuna donatılarının birleşim bölgesinde kenetlenme boyunun yetersiz olmasıdır. Deprem esnasında, yetersiz kenetlenme neticesinde boyuna donatılar birleşim bölgelerinden rahatça sıyrılabilir (Şekil 26). Bu durumda kiriş kesiti moment kapasitesine tam olarak ulaşmadan kiriş ucunda

mafsallaşma oluşur. Kolonlar büyük yatay deplasmana zorlanarak yıkılma tehlikesi gösterir (Yılmaz, Umu, 2017).

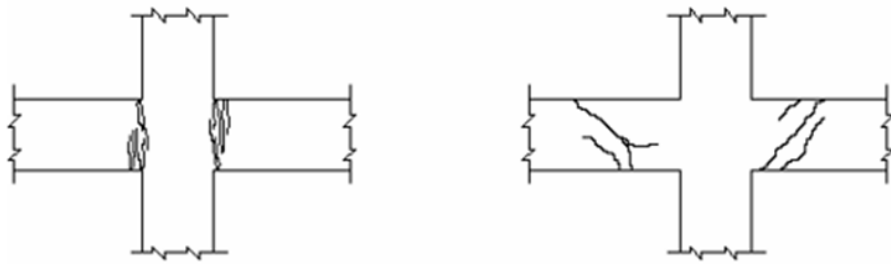


Şekil 26. Birleşim bölgesinde kiriş boyuna donatılarının kenetlenme boyunun yetersiz olması nedeniyle sıyrılmaya başlamış bir kolon-kiriş birleşim bölgesinin teknik çizimi ve fotoğrafı.

(Kaynak: Yılmaz, Umu, 2017)

4.1.4. Kirişlerde Oluşan Hasarlar

Kirişlerde hasarlar genellikle kesme ve eğilme çatlakları şeklinde ve deprem esnasında mesnet bölgeleri daha fazla zorlanır. Kiriş mesnet momentlerine depremde yatay yüklerden eklenen tersinir momentlerde eklenince büyük bileşke momentleri oluşur. Böylece mesnetlerde kiriş eksenine dik eğilme çatlakları ve 45 derecelik açıyla da kayma çatlakları meydana gelir. Mesnetlerde oluşan eğilme çatlakları boyuna donatının yetersiz olmasından kaynaklanmakta, kayma çatlakları ise etriye eksikliğinden oluşmaktadır.

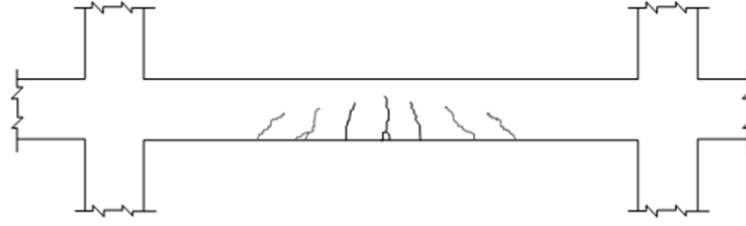


Şekil 27. Kirişlerde eğilme ve kayma çatlakları

(Kaynak: Demirkan, 2014)

Kiriş elemanlarda düşey yükler etkisi altında ise kiriş açıklığında eğilme çatlakları oluşur. Kiriş açıklığında mevcut donatıların akma limitini aşması durumunda betonda çatlaklar

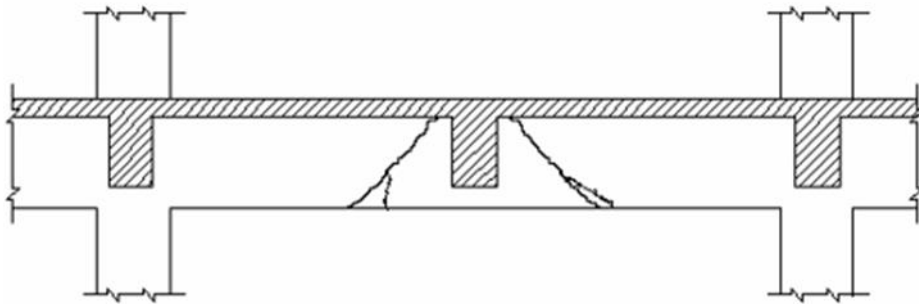
oluşur. Bu çatlakların belirli boyutlara ulaşması ise donatının akma limitini aştığını gösterir.



Şekil 28. Kiriş açıklığında eğilme çatlakları

(Kaynak: Demirkan, 2014)

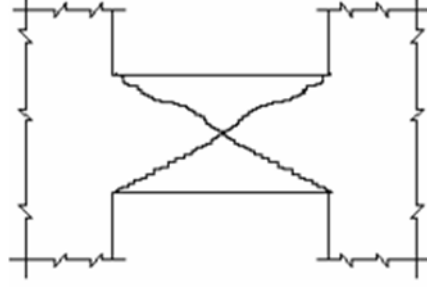
Planda kirişlerin doğrudan kolonlara mesnetlenmesi taşıyıcı sistemin sadeleşmesi için istenen bir durumdur. Ancak, uygulamada bazen mümkün olmaz ve saplama olarak adlandırılan kirişlerle tasarımlar yapılır. Bu kirişler kolon yada perde yerine başka kirişlere mesnetlenirler. Saplama kiriş olarak düzenlenen kirişin taşıdığı yükün yarısı bir ucundan mesnetlendiği ana kirişe tekil yük olarak aktarılır. Aktarılan bu yük neticesinde saplama kiriş, ana kirişe düğüm bölgesine yakın bölgede mesnetlendiyse, saplama kiriş ana kiriş üzerinde eğilme çatlama oluşturur. Çünkü mesnet bölgesinde eğilme serbestliği kısıtlı olan ana kiriş tali kiriş tarafından bu noktada eğilmeye karşı zorlanmaktadır ve hasara uğrama olasılığı yüksektir. Saplama kiriş ana kirişe açıklık ortasında mesnetlenerek ana kirişte tekil yük etkisi yapar. Yük aktarmadaki nizamdan dolayı çekme bölgesine iletilen kuvvetlerin askı donatılarıyla basınç bölgesine aktarılması istenir. Bu durum sağlanmazsa tali kirişin ana kirişe saplandığı bölgede kesme çatlakları şeklinde hasarlar oluşabilir.



Şekil 29. Saplama kirişin ana kirişte neden olduğu kesme çatlakları

(Kaynak: Batmacı, 2011)

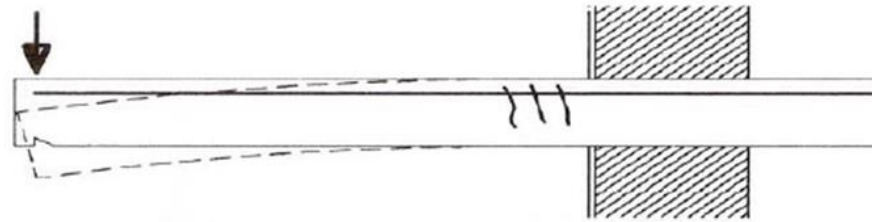
Kirişlerde görülen diğer bir hasar türüde, genellikle perdeleri birbirine bağlayan kısa açıklıklı kirişlerde görülen X-şeklinde kayma çatlaklarıdır. Kiriş boyunun kısa olması büyük kesme kuvvetinin gelmesine sebebiyet verir. Bu durum kısa kolonlarda görülen çatlaklara benzetilebilir. Ayrıca kayma çatlakları sünek olmadıklarından dolayı dikkatli incelenmelidir. Tasarım kuvvetini karşılayabilmek için çift etriye, kiriş gövde donatısı vb. yöntemler uygulanır.



Şekil 30. Kısa açıklıklı kirişte X şeklinde oluşan kayma çatlakları

(Kaynak: Şirin, 2006)

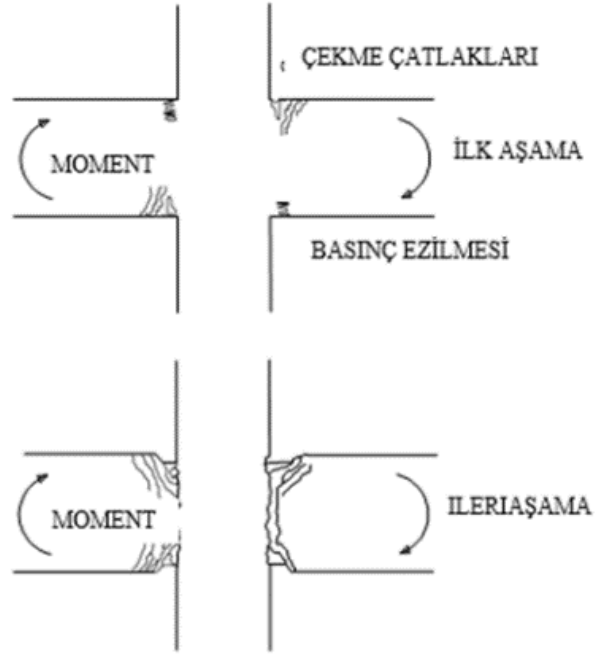
Konsol kirişlerde görülen hasarlar da sık karşılaşılan hasar tiplerindedir. Tersinir yükleme sonucunda konsol kirişin mesnet bölgesinde betonda meydana gelen çatlakların açılıp kapanması nedeniyle beton ezilmesi akabinde dökülmeler oluşur. Donatıda ise kalıcı şekil değiştirmeler görülür. Beton tamamen devreden çıkınca kesme kuvveti donatının kama etkisiyle taşınmaya çalışır. Bu durumda kirişin moment ve kesme kuvveti taşıma gücü iyice azalmıştır.



Şekil 31. Konsol kirişte tersinir yükleme sonucu oluşan çatlaklar

(Kaynak: Şirin, 2006)

Depremde etki eden kuvvetler tersinir olduğu için kiriş uç bölgelerinde pozitif ve negatif momentler oluşur. Bu sebeple pozitif momentler gözönüne alınmadan projelendirilmiş mesnet bölgelerinde eğilme çatlaklarına ve ağır hasarlı mafsalları oluşumları görülebilir.

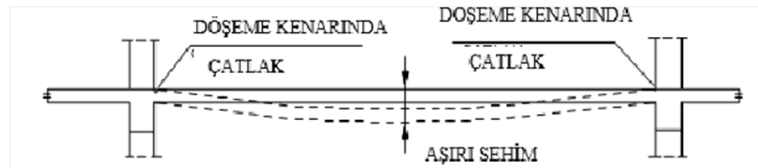


Şekil 32. Kiriş uç bölgelerinde tersinir momentler sonucu oluşan çatlaklar

(Kaynak: Şirin, 2006)

4.1.5. Döşeme Hasarları

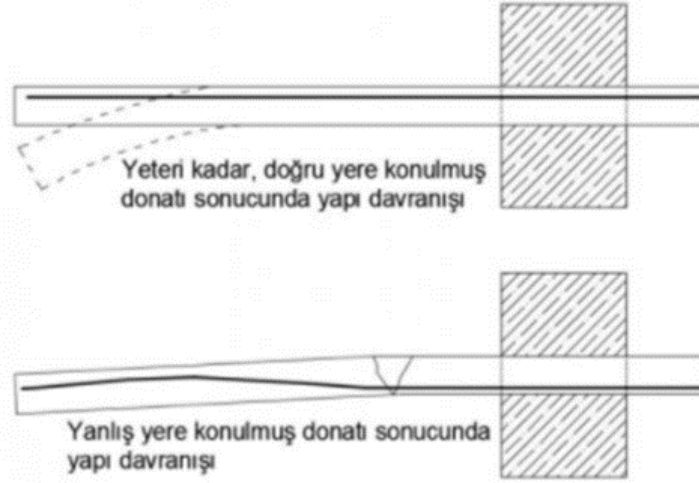
Döşemelerin temel görevi, düşey yükleri mesnetlenmiş olduğu kirişlere, perde elemanlara ya da doğrudan kolonlara aktarmaktır. Diğer bir görevi ise, döşemeye dik doğrultuda etkileyen deprem kuvvetini düşey taşıyıcı elemanlara rijitlikleri oranında paylaşmaktır. Bu görevi yerine getirebilmeleri için rijit diyafram davranış sergilemeleri gerekmektedir. Hasarlı yapılar üzerinde yapılan değerlendirmeler, döşemelerde taşıma gücü açısından genelde sorunla karşılaşmadığını, karşılaşılan durumların büyük bir bölümünün kullanılabilirlik sınır durumuyla ilgili olduğunu yani aşırı sehim (çökme), titreşim ve çatlama meydana geldiğini göstermektedir. Aşırı sehim ve titreşim doğrudan döşeme kalınlığıyla, aşırı çatlama ise donatı ile alakalıdır. Bu sebeple tasarımlarda sehim ve titreşimlerin önlenmesi dikkate alınmalıdır (Doğangün, 2019).



Şekil 33. Döşeme ortasında oluşan sehim ve mesnet kenarlarındaki çatlaklar

(Kaynak: Yılmaz, Umu, 2017)

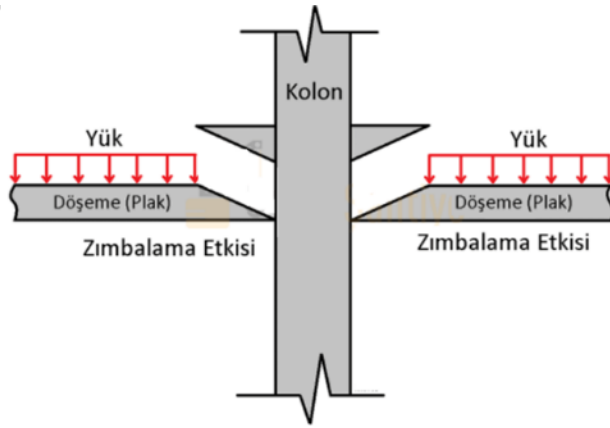
Döşeme hasarları, çoğunlukla döşeme ortasında aşırı sehim çatlakları olarak, kirişlere mesnetlendiği kenarlarda ise kirişlere paralel çatlaklar şeklinde oluşabilmektedir. Döşemenin açıklığına göre ince olması, beton döküldükten sonra kalıbın erken sökülmesi, beton kalitesindeki düşüklük ve donatı yetersizliği gibi hatalar, döşemelerde aşırı sehim ve titreşim meydana getirebilmektedir. Sehpa donatısının yetersiz kullanıldığı projelerde, beton dökümü esnasında özellikle döşemelerin üzerinde hareket ederken üst hasırın üzerine basılması suretiyle donatıların çöküp moment kolunun kısalarak pas payının artması, döşeme hasarlarına sebebiyet vermektedir. Aynı problem konsol döşemelerde donatı yerleştirme hatalarından veya döşemelerin mesnetteki üst donatılarına beton dökümü sırasında basılarak bunların çekme bölgesinden basınç bölgesine itilip, moment kollarının küçülmesiyle de oluşabilir (Şekil 34). Önceden çeşitli nedenlerle oluşmuş küçük çatlakların deprem etkisiyle büyüyerek daha fazla görülür hale gelmesi de döşemelerde sık karşılaşılan bir durumdur. Genel itibariyle döşemede oluşan hasarlar taşıyıcı sistemin güvenliğini önemli ölçüde etkilemez, fakat hasarlarda oluşan çatlakların büyüklüğü kullanılabilirlik açısından tehlikeler doğurabilir.



Şekil 34. Konsol döşemelerde oluşan çatlaklar

(Kaynak: Şirin, 2006)

Kirişsiz döşemelerde ise yükler direkt olarak kolonlara aktarılır. Bu tasarımlarda yeterli tahkiklerin yapılmamış olması ve döşemeden kolona kesme kuvveti aktaran alanın yetersiz geldiği durumlarda, birleşim bölgesinde hasarlar oluşabilir. Döşeme-kolon birleşim bölgesindeki hasarlar kesme çatlakları ve zımbalama etkisiyle döşemenin kolondan yırtılması şeklinde meydana gelir. Döşeme yırtılması son derece gevrek bir kırılmadır, tüm yapının kısa sürede göçmesine neden olabilir. Kırılmaya kesme ve momentten oluşan kayma gerilmeleri neden olup, plak kalınlığı yetersiz, kolon kesiti küçük tasarımlarda risk daha fazla görülmektedir (Topçu, 2019).

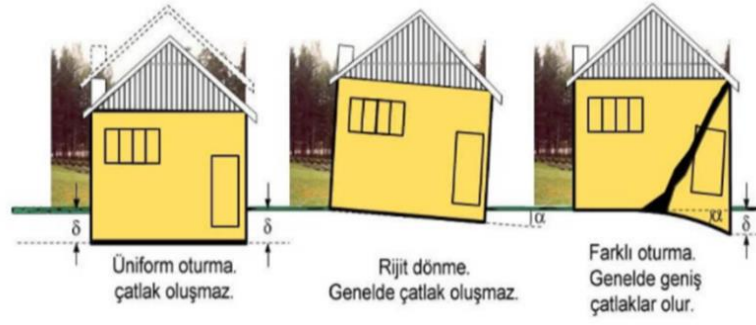


Şekil 35. Kirişsiz döşemede zımbalama hasarı

(Kaynak: <https://www.sanalsantiye.com>, 2023)

4.1.6. Temel Hasarları

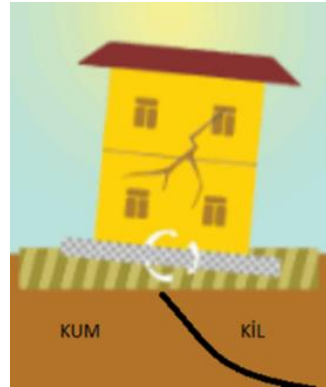
Yapıya etkiyen tüm yüklerin, yapı güvenliği açısından zemine güvenli bir biçimde iletilmesi gerekmektedir. Yükleri zemine aktarma görevi yapısal elemanlar olan temellere düşmektedir. Tasarladığımız ve inşa ettiğimiz üst yapı her ne kadar kusursuz olursa olsun, temel sistemi yetersizse yapının ayakta kalması çok zordur. Ülkemizde yaşamış olduğumuz depremlerde çok sayıda bina temel yetersizliğinden ağır hasar alarak yıkılmıştır (Doğangün, 2019).



Şekil 36. Temelde oturma

(Kaynak: <https://www.insaport.com>, 2023)

Yapı temelindeki yapı-zemin ilişkisinde göz önüne alınması gereken önemli bir olay zeminin oturma karakteridir. Zeminler düşey yük etkisinde kaldığı sürece, zemin cinsine bağlı olarak oturmalar oluşmaktadır. Bu oturmalar sonucunda yapıda hiçbir hasar meydana gelmeyebilir yada yapı ağır hasar görebilir. Oturmalar elastik ve konsolidasyon oturması olarak iki bileşenden meydana gelir. Elastik oturma, ani oturma olarak da tanımlanır ve yapım süresince yapı yükü zemine intikal ederken oluşur. Konsolidasyon oturması ise, tamamlanması uzun zaman almaktadır. Konsolidasyon oturması genellikle inşa edilen yapının farklı zemin türlerine oturması durumunda ortaya çıkar. Temelde yapısal hasar oluşturan oturma, bu iki bileşenin toplamından meydana gelmektedir.



Şekil 37. Farklı zemin türlerinde gerçekleşen oturma sonucu yapısal hasar

(Kaynak: <https://www.sanalsantiye.com>, 2023)

Deprem esnasında sık rastlanan durumlardan bir tanesi zemin sıvılaşmasıdır. Zemin sıvılaşması doğrudan temel hasarına neden olan bir olay değildir. Fakat bu olayın büyük

yer değiştirmelere sebep olması, ileri hasarları doğuran büyük çatınlara veya temel göçmelerine neden olur. Sıvılaşma genellikle deprem gibi dinamik yükler altında, daneli zeminlerde (kumlu-siltli zeminler) görülen bir olay olup daha çok akarsu havzalarında ve kıyı kesimlerde karşılaşılır. Bir yapıyı taşıyan zemin sıvılaşıp taşıma gücünü yitirirse yapıda hasara neden olacak, önemli ölçüde oturma ve dönmeler görülebilir (Celep ve Kumbasar, 2000). Deprem hareketlerinin meydana getirdiği zemin sıvılaşması, büyük kütleler halinde şev akmalarına neden olabilir. Zeminin sıvılaşması sonucu, yapı zemine batma veya hafif yapılarda yukarı doğru çıkararak yüzme eğilimi oluşabilir. Sıvılaşarak kayma dayanımını yitiren zeminlerde, yön değiştiren küçük kayma gerilmeleri büyük şekil değişimlerine neden olur.



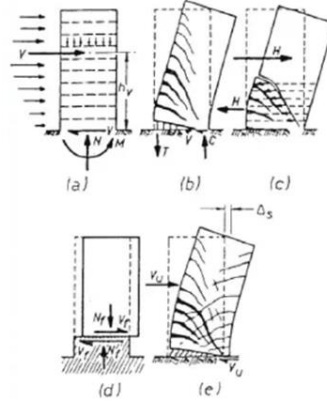
Şekil 38. Zemin sıvılaşması

(Kaynak: Yılmaz, Umu, 2017)

4.1.7. Perde Hasarları

Binanın ötelenmesini azaltıp rijitliğini artırmak amacıyla taşıyıcı sistemde perde duvarların kullanılması tercih sebebidir. Perdelerin eğilme rijitlikleri çok büyük olduğundan yapıya etkiyen yatay yüklerin önemli kısmı perdeler tarafından karşılanmaktadır. Şiddetli depremlerde yapıda ilk önce perde elemanlarında hasar beklenir. Perde duvarının hasarından sonra yapının ötelenmesi artacağı için çerçeve elemanlarında da hasarlar başlar. Betonarme perde duvarlarda kesme kuvveti göçmesi, eğilme göçmesi ve toptan göçme (kayma hasarı) olmak üzere üç adet tipik göçme şekli oluşmaktadır (Şekil 39). Bu hasarlardan eğilme göçmesi sünek olup diğer hasar tipleri gevrektiler. Depremde perdelerde oluşan hasarlar yapının yüksekliğine göre değişmekte ve başlıca sebebi yükseklik-uzunluk oran ilişkisidir. Perde yüksekliğinin uzunluğundan

küçük olduğu tasarımlarda kısa perde, tam tersi durumda yani perde yüksekliğinin uzunluğundan büyük olduğu durumlarda ise uzun perde olarak isimlendirilmektedir.



Şekil 39. Eğilme göçmesi (b,e), kesme kuvveti göçmesi (c), kayma hasarı (d)

(Kaynak: Yüksel, 2008)

4.1.7.1. Kesme Çatlakları

Perde duvarlarda hasarlar yapının yüksekliğine göre değişmektedir. Az katlı binalarda perde duvarlarında kesme çatlakları oluşur. Kesme çatlakları kesme kuvvetinin neden olduğu eğik çekme gerilmelerinden dolayı oluşur. Kesme hasarı sünek olmayan bir güç tükenmesi şeklindedir. Bu sebeple binanın ani göçmesine neden olabilir Kesme çatlakları daha çok düşük katlı yapılar ile kısa perdelerde görülmekte ve genellikle 45 derece açılı X köşegen şeklinde oluşmaktadır. Düşey yük tesirleri artması ile daha dik açılarda hasar çatlakları görülebilir. Düşük katlı yapılarda deprem esnasında etkiyen eğilme momenti, perdenin moment taşıma kapasitesinden daha az olacağından kısa perdelerde eğilme hasarı oluşmaz (Şirin, 2006).

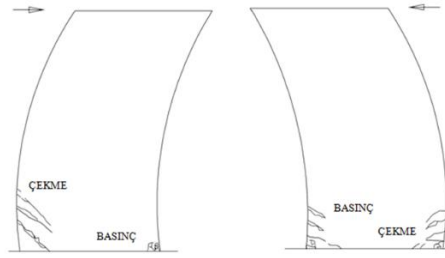


Şekil 40. Kesme dayanımının aşılması

(Kaynak: Yılmaz, Umu, 2017)

4.1.7.2. Eğilme çatlakları

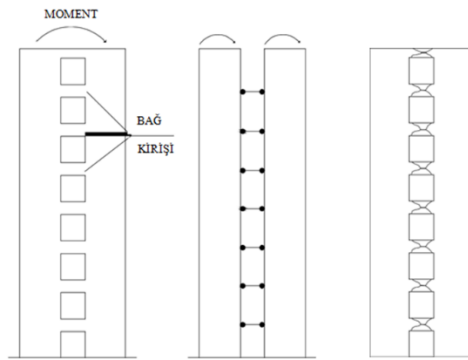
Eğilme çatlakları perde duvarlarda sık rastlanan bir durum değildir. Genellikle yüksek katlı yapılarda zemin ve zemine yakın katlarda bulunan perde elemanlarında rastlanır. Eğilme çatlakları oluşmadan önce temelde dönme oluşması, perde duvarındaki kesit kapasitesi değerlerini aşmasını önler. Fakat kesme kuvveti arttığı için kayma güç tükenmesi meydana gelir (Celep ve Kumbasar, 2000). Eğilme çatlak hasarları daha çok boşluksuz perde duvarlarında oluşur.



Şekil 41. Perdelerde eğilme çatlakları hasar biçimi

(Kaynak: Demirkan, 2014)

Boşluklu perde duvarlarındaki hasarlar, boşluksuz perde duvarlarında oluşan hasarlardan farklıdır. Boşluklu perde duvarlarında göçme mekanizması öncelikle iki perde duvarını birbirine bağlayan bağ kirişlerinin uçlarında oluşan kesme veya eğilme kırılmasıyla gerçekleşir. Bu hasarın neticesinde boşluklu perde iki bağımsız perdeye dönüşür. Perde hasarının ilerleyebildiği son düzeyde ise perde tabanında eğilme çatlakları oluşur ve yükler taşıyıcı sistemin diğer elemanı olan kolonlara aktarılır.



Şekil 42. Boşluklu perdelerde hasar biçimi

(Kaynak: Demirkan, 2014)

4.1.7.3. Kayma Hasarı

Proje uygulama noktasında yaşanan teknik gerekçeler veya malzeme ekipman yönünden yetersiz kalındığı durumlarda perdeyi boyutlarına oranla bölerek anolar şeklinde farklı zaman dilimlerinde dökülmesi soğuk derz oluşumuna neden olur. Önlem alınmazsa soğuk derz, farklı periyotlarda dökülen iki beton kesiti arasında yeterli sürtünme kuvveti ve aderansın oluşmasını engelleyebilir. Bu olay perde duvarının soğuk derz bölgesinde yatay kayma hasarlarına sebebiyet verir. Fakat çatlağın tamamen yatay olması düşey yüklerin taşıyıcılığı yönünden olumsuz etki getirmeyip sistemi tümüyle tehlikeye düşürmeyebilir (Celep ve Kumbasar, 2000).

4.2. Hasarların Nedenleri

Depremlerde meydana gelen yapısal hasarlara etki eden en önemli faktörlerden birisi yapı kalitesidir. Yapı kalitesini ise depreme dayanıklı mimari ve taşıyıcı sistem tasarımı, kaliteli işçilik ve malzeme gibi unsurlar oluşturmaktadır (Koçak, 2021).

4.2.1. Malzeme Kalitesi

Yapıların taşıyıcı sisteminde kullanılan beton kalitesinin projede öngörülen değerden düşük olması inşaat sektörünün en önemli sorunlarından birisidir. Düşük dayanımlı beton yüzünden yapının sünekliği ve rijitliği önemli derecede azalmakta bu sebeple binalarda ani ve gevrek kırılmalar oluşabilmektedir. Ancak ülkemizde son yıllarda hazır beton sektöründe gelinen kalite, sektörde çalışan kişilerin daha bilinçli hale gelmesi, denetim ile kontrollerin sıklaştırılması ve depremler sonrası şahit olduğumuz acı tecrübeler, betonun üretildiği santralden itibaren nakliyesinde, pompalanmasında, kalıba dökülüp korunmasına kadar etki etmiş ve geçmişe nazaran belirli bir kaliteye ulaşmıştır.

4.2.2. Taşıyıcı Sistemi Düzensiz Yapılar

Yapılar hangi yöntem ve malzeme ile inşa edilirse edilsin, taşıyıcı sistemi düzenli olmayan binaların depremdeki yapı davranışı oldukça elverişsiz olmuştur. Planda ve düşey kesitte yeterince simetrik olmayan taşıyıcı sistem, döşemelerde süreksizliğe neden olan aşırı boşluklar, düşey taşıyıcı elemanların süreksizlik veya boyutlarında farklılık

göstermesi dolayısıyla kat rijitliklerinin yapının yüksekliği boyunca ani değişim gösteren yapıların depremde göçmüş veya ağır hasar aldığı gözlemlenmiştir (Batmacı, 2011).

Taşıyıcı bir sistemin olabildiğince sade ve basit olması, yapı deprem davranışının öngörülebilirliğini sağlamak için tasarımda temel bir kuraldır. Döşemelerde oluşacak eylemsizlik kuvvetleri, taşıyıcı sistemin planda homojen ve simetrik olmasıyla en uygun biçimde düşey taşıyıcı elemanlara aktarılır. Simetrik taşıyıcı sistem düzenlemesi ile kütle, rijitlik ve dayanım bakımından oluşacak dış merkezliklerin önüne geçilebilir. Kat rijitliğinde ani değişimler nedeniyle meydana gelecek yumuşak kat ve zayıf kat düzenlemelerinden kaçınılmalı, taşıyıcı sistem düşey istikamette de düzenli olmalıdır.

TBDY 2018' de düzensiz yapıların tanımlanması ile ilgili olarak;

- a. Planda düzensizlik durumları (A Türü düzensizlik durumları)
- b. Düşeyde düzensizlik durumları (B türü düzensizlik durumları)

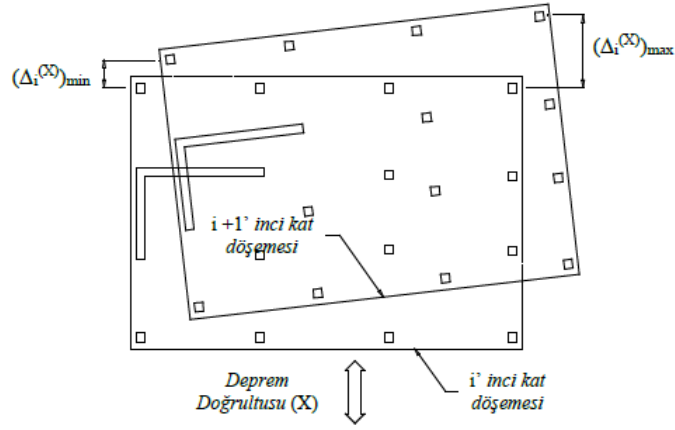
olarak iki sınıfa ayrılmıştır.

4.2.2.1. Planda düzensizlik durumları

a. A1- burulma düzensizliği

Birbirine dik iki deprem doğrultusunun, herhangi bir katta en büyük görelî kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî ötelemeye oranını ifade eden burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} ' nin 1.2' den büyük olması halidir.

$[\eta_{bi} = (\Delta_i^{(X)})_{max} / (\Delta_i^{(X)})_{ort} > 1.2]$. Görelî kat ötelemelerinin hesabı, \pm %5 ek dışmerkezlik etkileri de gözönüne alınarak yapılmalıdır (TBDY, 2018).



Şekil 43. Burulma düzensizliği

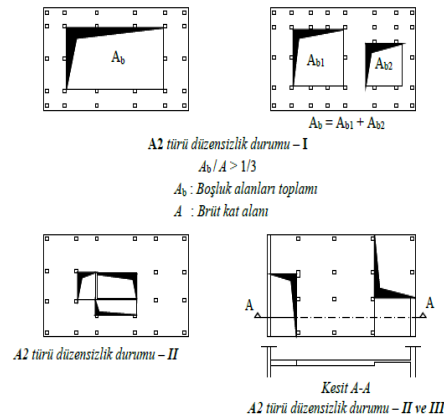
(Kaynak: TBDY, 2018)

$$(\Delta_i^{(X)})_{\text{ort}} = 1/2 [(\Delta_i^{(X)})_{\text{max}} + (\Delta_i^{(X)})_{\text{min}}]$$

Burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} = (\Delta_i^{(X)})_{\text{max}} / (\Delta_i^{(X)})_{\text{ort}}$, $\eta_{bi} > 1.2$

b. A2- döşeme süreksizlikleri

Merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanları toplamının kat brüt alanının 1/3'ünden çok olması halidir. Deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması durumu, döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması durumudur (TBDY 2018).

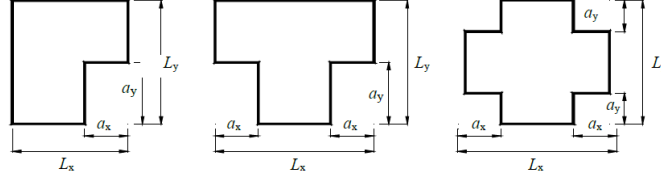


Şekil 44. Döşemde süreksizlik durumu

(Kaynak: TBDY, 2018)

c. A3- planda çıkıntılar bulunması

Kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının, binanın o katının aynı doğrultulardaki toplam plan boyutlarının %20' sinden daha fazla olması halidir.



Şekil 45. A3 türü düzensizlik durumu

(Kaynak: TBDY, 2018)

4.2.2.2. Düşeyde düzensizlik durumları

a. B1- komşu katlar arası dayanım düzensizliği (zayıf kat)

Zayıf kat diğer bir ibareyle komşu katlar arası dayanım düzensizliği durumu yönetmelikte B1 tipi düzensizlik diye geçmektedir. Betonarme binalarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun, herhangi bir kattaki toplam etkili kesme alanının, bir üst kattaki toplam etkili kesme alanına oranı olarak tanımlanan dayanım düzensizliği katsayısı η_{ci} ' nin 0.80' den küçük olması halidir.

$$[\eta_{ci} = (\sum A_e)_i / (\sum A_e)_{i+1} < 0.80]$$

Herhangi bir katta etkili kesme alanının tanımı:

$$(\sum A_e)_i = (\sum A_w)_i + (\sum A_g)_i + (0.15 \sum A_k)_i$$

b. B2- komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat)

Yumuşak kat ise komşu katlar arası rijitlik düzensizliği olarak tanımlanır ve yönetmelikte B2 tipi düzensizlik durumu diye belirtilmektedir. Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, bodrum katlar dışında, herhangi bir i' inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranına bölünmesi ile tanımlanan rijitlik düzensizliği katsayısı η_{ki} ' nin 2.0' den fazla olması durumu.

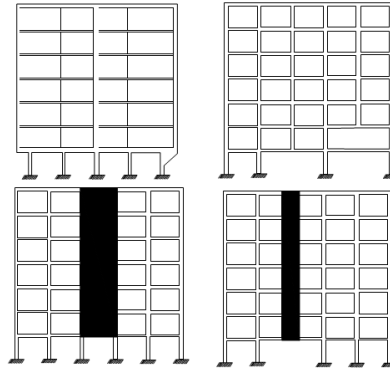
$$[\eta_{ki} = (\Delta_i^{(X)} / h_i)_{ort} / (\Delta_{i+1}^{(X)} / h_{i+1})_{ort} > 2.0 \text{ veya}$$

$$\eta_{ki} = (\Delta_i^{(X)} / h_i)_{ort} / (\Delta_{i-1}^{(X)} / h_{i-1})_{ort} > 2.0]$$

Görelî kat ötelemelerinin hesabı \pm %5 ek dışmerkezlik etkileri de gözönüne alınarak TBDY 2018, madde 4.7' ye göre yapılacaktır.

c. B3- taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği

Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının bazı katlarda kaldırılarak kirişlerin veya guseli kolonların üstüne yerleştirilmesi, ya da üst kattaki perdelerin altta kolonlara oturtulması halidir.



Şekil 46. Düşey elemanlarda süreksizlik durumları

(Kaynak: TBDY, 2018)

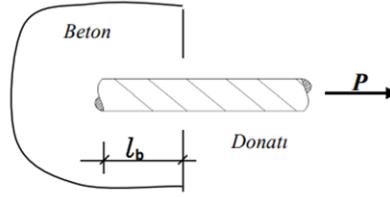
4.2.3. Donatı Düzeni

Deprem sonrasında hasar gören yapılar üzerinde yapılan incelemelerde taşıyıcı sistem tasarımında ve uygulamadaki donatı düzeninde büyük hatalarla karşılaşılmıştır. Taşıyıcı elemanlardaki donatı düzeni ve sayısının yetersiz oluşu yapının davranışını olumsuz etkileyerek hasar oranlarını artıran etkenlerdir.

4.2.3.1. Donatının kenetlenmesi

Betonarme taşıyıcı sistem elemanında bulunan donatıların, görevini yerine getirebilmesi için ve öngörülen çekme ile basınç kuvvetlerini emniyetle taşıyabilmesi, donatının o

kesitteki betona yeterince aderansına bağlıdır. Betonarme donatıları için gerekli kenetlenme boyları TS500’ de verilen kurallara göre hesaplanır (Koçak, 2021).

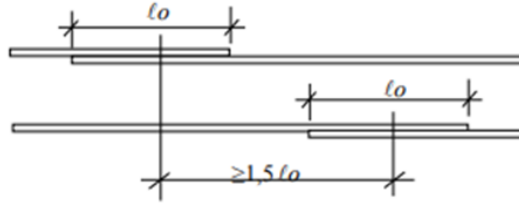


Şekil 47. Donatı kenetlenme boyu (l_b)

(Kaynak: Koçak, 2021)

4.2.3.2. Donatının eklenmesi

Donatıda ek bölgeleri projede gösterildiği kısımda ve şekilde yapılmalıdır. Aynı zamanda ekleme işlemleri eğilme momentlerinin minimum olduğu bölgelerde yapılmalıdır. Eğer birden fazla çubuğa ek yapılacaksa ek yerleri şaşırtılmalıdır.



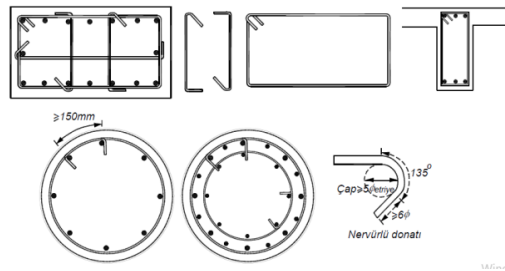
Şekil 48. Bindirme ekinde şaşırtma durumu

(Kaynak: Koçak, 2021)

4.2.3.3. Donatının bükülmesi

Sargı donatısı olarak yerleştirilen etriyelerin uçları, 135° bükülerek çekirdek betonuna yani basınç bölgesine yerleştirilmelidir. 90° bükülen etriyeler kabuk betonuna paraleldir diğer bir deyişle kancaların üzerinde sadece kabuk betonu bulunmaktadır. Kuvvet etkisinde kabuk betonu dökülünce veya kancalar kabuk betonunu yırtarak dışa doğru açılmakta ve sargı etkisi yok olarak etriyenin görevi sona ermektedir. Böylece düşey donatılar artık etriye çalışmadığından burkulabilir. 135° bükülerek çekirdek betonu bölgesine ulaşan etriye kancalarının açılmasını ise betondaki basınç kuvveti engeller.

Fabrikada standart uzunluklarda düz şekilde üretilen donatı çubukları şantiyede ortamında projede verilen pozlara uygun olarak kesilmekte ve bükülmektedir. Ancak bükülen donatıların işlevini öngörülen şekilde yerine getirebilmesi için büküm işçiliğinde dikkat edilmesi gereken husus; donatı büküm noktasında iki kolda kuvvetlerin yön değiştirmesinden dolayı beton ile donatı arasında ilave basınç kuvvetleri oluşmaktadır. Büküm yarı çapı ne kadar fazla olursa ortaya çıkacak basınç gerilmeleri de o kadar düşecektir, bu sebeple büküm yarıçapı standartlarda belirtilen değerlerde yapılmalıdır.

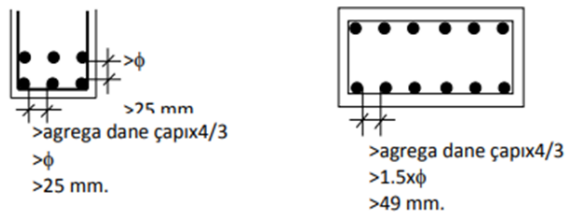


Şekil 49. Özel deprem etriyeleri ve çirozları

(Kaynak: TBDY, 2018)

4.2.3.4. Donatı aralığı

Binadaki taşıyıcı sistemin betonarme yapı davranışı sergileyebilmesi için uygulamada donatı ile beton arasındaki bütünlüşmeyi oluşturmak gerekir. Bu sebeple yapı elemanına betonun homojen yerleştirilmesi için donatı aralığının bazı koşulları sağlaması gerekir. Aynı sıradaki donatı çubukları arasındaki net aralık donatı çapından, maksimum agrega çapının 4/3' ünden ve 25 mm' den az olamaz. Bu sınırlar bindirmeli eklerin bulunduğu bölgelerde de geçerlidir (Koçak, 2021).



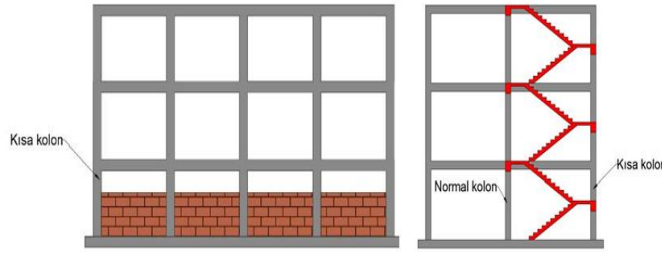
Şekil 50. Donatı aralığı

(Kaynak: TS 500)

4.2.4. Kısa Kolon

Yapıların projelendirme aşamasında veya sonradan oluşturulan kısa kolonlar, yüksek rijitliğe ve düşük süneklığe sahip olan yapı elemanlarıdır. Kısa kolonlara deprem esnasında, yüksek rijitliğe sahip olmaları sebebiyle büyük yatay kuvvetler tesir eder, buna karşın rijitlikleri sebebiyle küçük deplasman yaparlar. Bu durum kolonların kesme kırılmasıyla göçmelerine sebep olmaktadır.

Mevcut yapıların büyük bir bölümünde özellikle yetersiz kayma donatısı, bodrum ve zemin katlarda örülen yarım duvarlar veya subasman perdeleri, dolgu duvarlar arasında bırakılan boşluklar, pencere üstü hatıllar, genellikle endüstriyel sanayi türü yapılarında karşılaştığımız dış cephe duvarlarında aydınlatma ve havalandırma amacıyla bırakılan bant pencereler kısa kolon oluşumunun ortaya çıkmasına sebep olurlar (Celep ve Kumbasar, 2000).

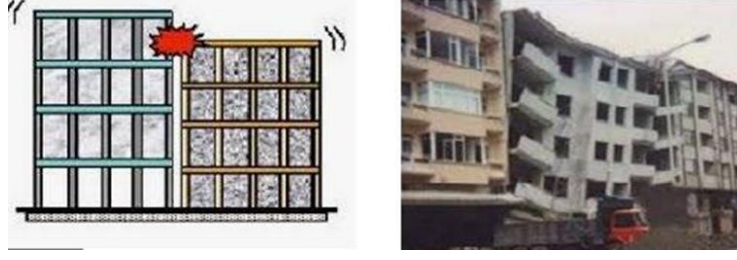


Şekil 51. Kısa kolon oluşumu

(Kaynak: <https://www.insapedia.com>, 2023)

4.2.5. Deprem Derzleri

Bitişik nizamlı yapıların deprem esnasında yapacakları salınımlar ile birbirine teması, şiddetli depremlerde önemli hasarlara sebep olmaktadır. Eğer bu iki bitişik yapının kat döşemeleri seviyeleri ile dinamik özellikleri farklıysa çarpışma ortaya çıkma durumu ve çarpışma sonrası hasar meydana gelip göçme olasılığı artmaktadır. Komşu binalar arasında derz boşluklarının bırakılması yapılar arasında çekiçleme etkisinin oluşmaması için önemlidir.



Şekil 52. Çekiçleme etkisi

(Kaynak: <https://www.devalt.org>, 2023)

4.2.6. Soğuk Derz

Soğuk derz; proje uygulama noktasında yaşanan teknik gerekçeler sebebiyle veya malzeme ekipman yönünden yetersiz kalındığı durumlarda betonarme yapı elemanları boyutlarına oranla bölünerek analar şeklinde farklı zaman dilimlerinde dökülmesiyle oluşabilir. Bununla birlikte şantiyede beton döküm esnasında herhangi bir sebepten kaynaklı döküm işleminin duraksamasıyla dökülen betonun prizini alarak sonradan dökülecek betonla arasında bütünlük sağlanmayarak soğuk derz oluşur. Önlem alınmazsa soğuk derz, farklı periyotlarda dökülen iki beton kesiti arasında yeterli sürtünme kuvveti ve aderansın oluşmasını engelleyebilir. Bu olay bazı taşıyıcı yapı elemanlarında yapısal hasarlara sebebiyet verebilir. Çünkü statik proje hesaplamalarında genellikle betonun tek seferde döküleceği kabulü yapılmakta ve soğuk derz oluşan bölgelerdeki gerilmelere karşın ek donatı detayları projelerde bulunmamaktadır. Özellikle kolon ve kiriş elemanların betonlarını tek seferde dökümü tercih edilmelidir. Kirişlerde bu durum sağlanamıyorsa eğer, kirişler eğilmeye karşı koydukları için kesme kuvveti düşey etki edeceğinden soğuk derz düşeyde değilde yatay doğrultuda oluşmalıdır. Soğuk derz bırakılacak bölümler taşıyıcı elemanlarda momentin en az olduğu bölgelere denk getirilmelidir. Ayrıca beton dökümlerinde gerekli bütünlüğü ve aderansı sağlayabilmek için daha önce dökülen betonun üzerine yeni beton dökülmeden önce yüzeydeki kirlerin, tozların, molozların temizlenmesi gerekmekte, aderans artırıcı kimyasal katkı malzemeleri kullanılmaktan imtina edilmemelidir.

5. BETONARME BİNALARDA ONARIM VE GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİ

5.1. Güçlendirme İlkeleri

Herhangi bir sebeple hasara uğramış yapının, hasara uğramadan önceki güvenlik düzeyine geri getirilmesi veya bunun üzerinde bir güvenliğe eriştirilmesine yönelik olarak gerçekleştirilen her türlü işleme onarım denilmektedir. Dolayısıyla, deprem sonrasında orta hasarlı yapılara bu anlayış içinde uygulanan işlemler onarımdır. Oysa, ortada henüz herhangi bir hasar yok iken, yapılan değerlendirme sonucunda dilenen düzeyde yapı güvenliği taşımadığı ya da kusurlu nitelikler taşıdığı anlaşılan bir yapının kusurlarının giderilmesi ve yapının olması gereken yapı güvenliği düzeyine eriştirilmesine yönelik olarak gerçekleştirilen uygulamalar ise güçlendirme olarak adlandırılır.

Çeşitli onarım ve güçlendirme yöntemlerinin iki genel kategoride değerlendirilir ilki sistem davranışı iyileştirme, ikincisi eleman onarımı-güçlendirmesidir. Yapıların veya yapı elemanlarının onarım ve güçlendirilmesinde uygulanabilecek ortak yöntemler; yapının öz ağırlığının azaltılması, yapının sünekliliğinin artırılması, yapının taşıma gücünün artırılması, yapının dinamik özelliklerinin iyileştirilmesi, yapıda burulma etkilerinin azaltılması, yapıda sürekliliğin sağlanması, yükleri taşıyacak yeni elemanlar eklenmesi, yapının göçme modunun düzenlenmesi şeklinde sıralanabilir.

5.2. Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Genel Onarımında ve Güçlendirilmesinde Kullanılan Malzemeler

Betonarme yapı elemanları için sektörde değişik özelliklerde güçlendirme malzemeleri bulunmaktadır. Özellikleri yüksek olduğu oranda maliyetli olup, uygulaması ise daha fazla incelik istemektedir. Özensiz ve rastgele yapılacak uygulamalardan kaynaklı malzemedeki beklenen verim, taahhüt edildiği düzeyde olmayacaktır. Güçlendirme veya onarım malzemelerinin seçiminde yaygın kullanılan, şantiye şartlarına uygun olanları tercih etmek yerinde olur. Yapının kalitesinin düşük olması ve çok belirsizlikleri içermesi durumunda, ileri teknoloji ürünleri yerine basit ve sık kabul görmüş malzemeler tercih edilmelidir. Örneğin, beton dayanımı düşük bir elemanda epoksi enjeksiyonu, çelik şeritlerle onarım ve karbon lifli malzeme uygulamasının vereceği sonuç belirsiz olacaktır (Koç, 2022).

5.2.1. Tamir Harçlarıyla Onarım

Tamir harçları elemanlarda yerel olarak meydana gelen hasarların onarılmasında sık biçimde tercih edilir. Yüksek basınç dayanımına ve aderans özelliğine sahip olan bu harçların seçimi, uygulandığı yüzeye olan tutunumu, alt tabaka ile elastiklik modülü ve ısı genleşme katsayısına sahip olması bakımından önemlidir. Malzemenin ısı genleşme katsayısına sahip olması sıcaklık değişimlerinde ek gerilmelerin çıkmasını önler. Genellikle tamir harcı uygulanan bölgeler açık yüzeyler olduğu için, harcın atmosfer koşullarına dayanıklı olması ve geçirimsizlik özelliğe sahip olması tercih edilir. Tamir harçları küçük hacimlere uygulandığı için, kalıp kullanılıyorsa, yüksek akışkanlık ve kalıpsız uygulanıyorsa yüksek yapışma özelliği önem arz eder. Tamir harcı uygulanan bölgede su sızıntısı varsa önce su durdurulmalı ve yüzeydeki gevşek malzemeler, hasar görmüş beton parçaları, yağ kalıntıları, toz ile kirler temizlenerek ortaya çıkan yüzey pürüzlendirilmelidir. Eğer tamir harcı uygulaması 20 mm den kalın olacaksa harç kalınlığındaki gerilmeleri alabilmek için, yüzeye tel veya çelik hasır bağlanmalıdır. Donatısız yüzeydeki veya donatı üzerindeki harç kalınlığı en az 10mm olmalıdır. Harcın uygulanacağı kesitte donatı çeliği kontrol edilmeli gerekirse üzerindeki pas temizlenmeli, korozyona karşı koruyucu kimyasallar sürülmelidir, şayet paslanmış donatılarda mevcut kesit kaybı oranı sınır değerleri aşmışsa ilave donatılar eklenmelidir (Koç, 2022).

5.2.2. Püskürtme Beton ile Onarım ve Güçlendirme

Püskürtme beton çimento, su, kum ve katkı maddesi karışımıyla oluşturulan, basınca dayanıklı lastik veya saç borularla kullanım yerine iletilen ve önceden hazırlanmış yüzeye basınç altında püskürtülen malzemedir. Kuru karışım ve ıslak karışım olmak üzere iki metotta hazırlanır. Püskürtme beton ile yapılan onarım ve güçlendirme uygulamaları, beton kalınlığının az olduğu, kalıp yapmanın zor veya ekonomik olmadığı projelerde ve betonun yerleştirilmesi ile sıkıştırılmasının mümkün olmadığı yerlerde tercih edilir. Püskürtme beton uygulaması kalıp gerektirmediğinden çok hızlı ve ekonomik bir modeldir. Püskürtme beton uygulamalarında kullanılan kimyasal katkıları sayesinde aderans yüksek olacağından püskürtülen beton mevcut yapıya hızlı entegre olacaktır. Püskürtme beton, yeni inşa edilen yapıların yanında genellikle eski yapıların onarım ve

güçlendirme çalışmalarında geniş bir kullanım alanı bulur. Ülkemizde mevcut kârgirlerde, otopark tamirleri, baraj ve köprü onarımında, silo tamirlerinde, tersanelerin restorasyonunda, depremden hasar görmüş binaların onarımında, tarihi demiryolu istasyonlarının restorasyonlarında, yüzeylerin beton tabakasıyla kaplanmasında ve güçlendirilmesinde kullanılır. Başarılı bir püskürtme betonun elde edilmesi, uygulanacak yüzeyin temizliğine, uygun donatı seçimi ve montajına bağlıdır. Donatı, basınçlı püskürtme esnasında ölçü mesafelerini koruyacak ve az yayılacak şekilde yerleştirilmeli, donatıyı belirli mesafede tutmak için ek önlemler alınmalıdır (Onur, 2006).

5.2.3. Epoksi Reçinesi ile Onarım ve Güçlendirme

Epoksi yapıştırıcılar, farklı yapıdaki malzemeleri ve yüzeyleri yapıştırmada çok etkilidirler. Betonarme yapıların onarım ve güçlendirmesinde; perdeler, kolonlar, döşemeler ve kirişlerde oluşan çatlakların onarımında ve beton yüzeylere ince çelik elemanların yapıştırılmasında yaygın olarak kullanılan kimyasal bir malzemedir. Taşıyıcı sistem elemanlarında çeşitli sebeplerle oluşan bu çatlaklar yapının taşıma kapasitesini ve fiziki dış etkenlere karşı direncini düşürebilir.

Epoksi reçineleri, yüksek yapışma mukavemeti, düşük rötme miktarı, ısıl kararlılık, kısa kürlenme süresi ve uygulama sonrası derhal kullanıma açık olması gibi çok iyi mekanik ve kimyasal özellikleri sebebiyle sektörde önemli bir tüketim oranına sahiptir. Yapıştırıcıya bakır ve gümüş ilavesi yapılarak elektrik akımının geçmesi ve yapıştırıcının iletkenliğide sağlanabilir. Bu sebeple amaca uygun reçinenin kullanılması önemlidir. Yüksek sıcaklıklara karşı özelliklerini kaybedebileceğinden ısı kaynaklarına ve yangına karşı maruziyetleri engellenmelidir. Uygulama esnasında ise viskozitelerin enjekte edilecek çatlağın derinliğine ve genişliğine uygun olması önemlidir (Kırteke M).

Epoksi onarım iki yöntemde kullanılmaktadır. Çatlak genişliğinin az olduğu (0,1-0,5 mm) bölgelerde ise dolgu malzemesiz epoksi enjeksiyonu yöntemi tercih edilir. Daha büyük çatlak genişliklerinde ise rötme, sünme ve ısı etkilerini azaltmak için ek bir doldurucu malzemenin kullanılması tavsiye edilir. Çatlak genişliğinin (1-1,5 mm) den fazla

olmadığı durumlarda cam veya kuvars cinsi malzeme kullanılabilir. Bu sınırın ötesinde 4-5mm ye kadar ise kum kullanılmalıdır (Şirin, 2006).



Şekil 53. Epoksi reçinesi ile onarım

(Kaynak: <https://www.sanalsantiye.com>, 2023)

Epoksi ile yerel çatlak onarımı yapılmakta olup bir elemanı veya bir bölgeyi güçlendirmek için tek başına kullanılmaz. İlave beton kesitleri elde edilirken mevcut beton yüzü temizlenip epoksi sürülür bu şekilde mevcut betonla yeni beton arasındaki aderansın artırılması amaçlanır.



Şekil 54. İki yüzey arasındaki aderansı arttırmak için epoksi sürülmesi

(Kaynak: <https://www.vnm.sika.com>, 2023)

5.2.4. Çelik Şeritlerle Onarım ve Güçlendirme

Onarım ve güçlendirme yöntemlerinden epoksi reçinesi, çimento şerbeti ve tamir harcıyla yapılan onarımlar genellikle hasar ilerlemesi durmuş yapı elemanlarında, çatlak hasarında ilerleme kat eden yapı elemanlarında ise çelik lamaların epoksi reçinesi ile betonarme taşıyıcı sistem elemanlarına bağlanması tekniği kullanılır (Şirin, 2006). Avrupa’ da bu

yöntem 1960' lardan itibaren betonarme yapıların güçlendirilmesi ve onarılması işlemlerinde, yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu metodun yeterli derece güvenilir olabilmesi için yapıştırma tekniğinde dikkatli olunmalıdır. Aksi takdirde uygulama sonrası titreşimler, yorulma direnci, çevrenin bozucu etkileri ve sürekli yüksek gerilmelere maruz kalma gibi nedenlerle zaman içinde fiziksel kararlılıklarını kaybedebilir. Bu olumsuz nedenlerden bazı ek detay önlemleri ve katkı kullanımını ile üstesinden gelinmesi mümkündür (Köse ve Özgen, 2003).

5.2.5. Lif Takviyeli Plastik Levhalarla Onarım ve Güçlendirme

Son yıllarda kullanımı yaygınlaşan lifli dokumalar, betonarme kolon, perde, kiriş ve düğüm noktaları gibi taşıyıcı elemanların kapasitelerini artırmak için çelik levha ile güçlendirme yerine tercih edilmektedir. Lifler cam, karbon, grafit denilen malzemeden yapılır. Bu uygulama çelik şeritlerle yapılan onarım ve güçlendirmeye benzer. Kullanılan malzemenin hafif olması, farklı kesit şekilleri ve ebatlarda bulunabilmesi, köşelere uygulanabilirliği, metal gibi korozyona uğramaması ve elastik modülünün küçük olup güç tükenmesi durumunda büyük şekil değiştirebilmesi avantajlarıdır. Ayrıca çelik elemanları beton yüzeye yapıştırırken priz süresince bekleme sorunu bu yöntemde yoktur. Bunların çelik şeritlerden en önemli farklılığı davranışının güç tükenmesine kadar tamamen elastik yapıda olmasıdır. Liflerin çekme dayanımına karşı dayanımı çok yüksektir, bu sebeple çekme kuvvetine paralel şekilde yerleştirilmelidir. İnce yapıda olduklarından dolayı elemanın rijitliğini ve taşıyıcı sistemdeki kuvvet dağılımını etkilemezler. Buna karşılık kesit sünekliğini olumsuz yönde azaltırlar. En çok kullanılan cam ve karbon lifler,

a. Cam Lifler: Kopma gerilmeleri 2100 kg/cm^2 , elastite modülü 700000 kg/cm^2 dir. Uygulamada liflerin giderek kopması, bu gerilme değerlerine ulaşmasını zorlaştırır.

b. Karbon Lifler: Karbon liflerin cam liflere göre elastite modülü yaklaşık 10 kat daha fazla buna karşın maliyetleride çok fazladır.

5.3. Betonarme Yapıların Güçlendirme Yöntemleri

Güçlendirme uygulamaları, her taşıyıcı sistem türü için eleman ve yapı sistemi düzeyinde olmak üzere iki farklı kapsamda değerlendirilmekte ve bu konu hakkında çok fazla yöntem ile teknik bulunmaktadır. Yapının taşıyıcı sistemini oluşturan döşeme, perde, kolon, kiriş gibi elemanların dayanım ve şekil değiştirmeye karşı kapasitelerini artırmaya yönelik çalışmalar, eleman güçlendirilmesi olarak açıklanır. Yapı taşıyıcı sistemindeki iç kuvvet dağılımını değiştirecek değişiklikler, sürekliliğin sağlanması, binaya yeni taşıyıcı eleman eklenmesi, birleşim bölgelerinin güçlendirilmesi, deprem etkisini azaltmak amacıyla yapı kütlelerinin azaltılması, taşıyıcı sistemin dayanım ve şekil değiştirme kapasitesinin artırılması ise sistem güçlendirilmesi olarak değerlendirilir. Mühendislerin yaratıcılık ve düşünürlük çerçevesinde, sahip olunan her araç ve gereçten yararlanarak yeni teknikler geliştirilmesi ve uygulaması mümkündür. Literatürde deneysel olarak araştırılmış, etkinliği ve uygulanabilirliği kanıtlanmış başlıca güçlendirme teknikleri aşağıdaki başlıklarda kısaca açıklanmıştır.

5.3.1. Döşemelerin Onarım ve Güçlendirilmesi

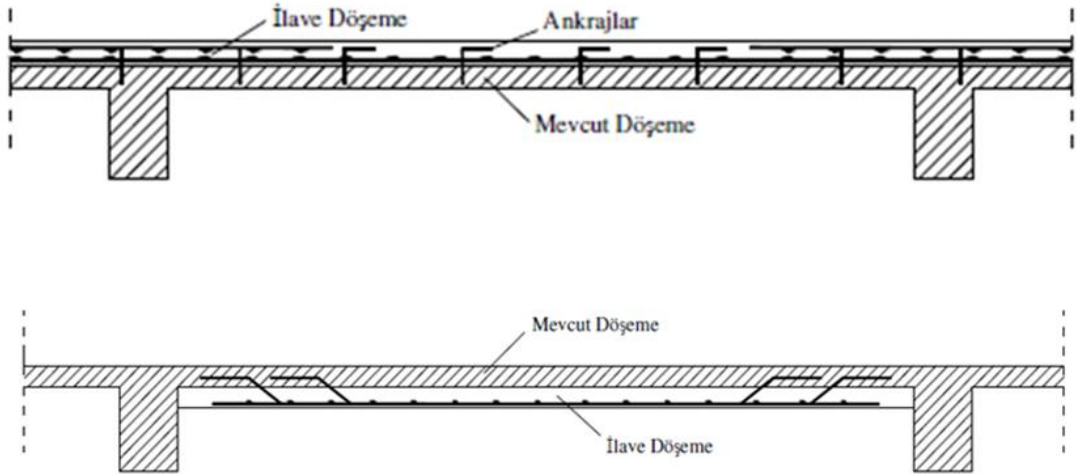
Döşemeler esas itibarıyla düşey yükleri karşılarlar. Ancak yapıya etki eden yatay yükleri diyafram özelliğini kullanarak düşey taşıyıcılara dağıtmakta oldukça önemli bir görevi vardır. Bu sebeple yatay yükleri sisteme iletebilecek dayanım ve rijitliğe sahip olmaları önemlidir. Bir binanın depreme karşı güçlendirilme çalışmalarında, döşemelerin güçlendirilmesi genellikle gündeme gelmez; fakat, yanal rijitliği yetersiz çerçeve türü bir yapıya yeni düşey taşıyıcı elemanlar eklendiğinde, döşemelerin diyafram etkisi önem kazanır. Bu durumda döşemeler yeterli gelmezse, döşemelere yeni bir katman eklenmesi suretiyle güçlendirilir. Bu şekilde döşeme kesitinin eğilme rijitliği ile moment kapasitesinin artırılması hedeflenir. Döşeme kalınlığını artırmak aynı zamanda döşemede oluşan sehimleri azaltmada tercih edilir. Bu yöntem iki şekilde uygulanır; üstten yeni beton tabakası eklendiği gibi döşemeye alttan da püskürtme beton uygulanarak döşemenin dayanımı artırılır. Birinci yöntemde hem faydalı yükseklik artar hem de mesnetlerde negatif mesnet momenti için donatı ilave etme imkanı vardır. İkinci yöntemde ise yeni ilave edilen çekme donatısı nedeniyle eğilme mukavemeti artar. Birinci

yöntem diyafram etkisi bakımından gerek olan, daha büyük rijitlik temin eder ve iki metot arasında daha çok tercih edilir.

Mevcut döşeme ve yeni ilave edilecek döşeme arasındaki kayma gerilmelerini karşılayabilmek ve iyi bir aderans temin etmek çok önemlidir. Bunu sağlamak için, mevcut betonun yüzey pürüzlendirme işlemleri, temizliği, aderansı artıracak kimyasal ürünler kullanmanın yanında donatı ve çelik profillerden faydalanılabilir.

Ülkemizde genel olarak betonarme binaların döşemelerinde karşılaşılan problem, tasarıma göre eksik kullanılan donatı neticesinde mevcut kapasitenin yetersiz gelmesi, döşeme plağının ince olması nedeniyle döşemenin aşırı sehim yapmasıdır. Döşemelerde hasar genellikle düzensizlik bölgelerinde oluşur. Örneğin geniş aralıklı deprem perdelerinin yakınında, deprem kuvvetlerinin yoğunlaştığı yerlerde, döşemelerdeki büyük boşlukların yakınında ve merdiven sahanlıklarında görülmektedir (Koç, 2022).

Döşemede meydana gelen yerel çatlak veya hasarlar; epoksi, çimento şerbeti ve püskürtme beton yöntemleri ile onarılabilir. Döşeme betonunda oluşan kopma ve büyük hasarlarda ise mevcut betonlar uzaklaştırılarak donatı kontrol edilir. Donatılarda herhangi kırılma veya kopma oluşmuş ise yerine yeni donatı ekilerek ayrılmış beton parçalar arasında epoksi veya çimento harçları ile bağlantı restore edilebilir.



Şekil 55. Döşemeye yeni katman eklenerek güçlendirilmesi

(Kaynak: Demirkan, 2014)

5.3.2. Kirişlerin Onarım ve Güçlendirilmesi

Betonarme kirişlerinin onarım ve güçlendirilmesinde en yaygın olarak kullanılan ilk yöntem, betonarme kirişlerin eğilme ve kesme dayanımlarını artırmaktır. Bunun için, mevcut kirişe eğilme kapasitesini artırıcı boyuna donatı veya levha yerleştirilir. Kirişlerin güçlendirilmesindeki ikinci yöntem olarak ise, çoğunlukla mevcut yapının kullanım amacı değiştiği için eğilme ve kesme kapasiteleri yetersiz kalan kiriş elemanların açıklığına mesnet yerleştirilmesi yöntemidir. Bu yöntemin amacı, kiriş açıklığını yarıya indirerek elemanın eğilme ve kesme dayanımlarını yeterli hale getirmektir.

Ülkemizde depreme karşı kirişlerin güçlendirilmesi, çoğunlukla dolgulu çerçeveler oluşturulup yapıya yeni perdeler eklendiğinde gündeme gelir. Çünkü bu perdeler arasında kalan bazı kirişler perde bağ kirişine dönüşerek büyük tesirler etkisinde kalırlar; bu yüklerin karşılanmasına çoğunlukla olanak bulunamadığından bu kirişlerin depremde hasar görmesi öngörülür ve sünek davranmalarının sağlanması amaçlanır. Kirişlerin güçlendirilmesiyle eğilme momenti ya da kesme kuvveti taşıma kapasitesinin arttırılması istenir fakat bu yöntemlerden bazılarının sadece kesme kapasitesini arttırdığı ve eğilme kapasitesini değiştirmedeği unutulmamalıdır. Kirişlerin güçlendirme işlemlerinde dikkat edilmesi gereken diğer durum ise, kuvvetli kiriş zayıf kolon türünden birleşim bölgesinin oluşması engellenmeli ve kirişte gevrek kırılmaya neden olabilecek yeni donatı düzeni oluşturulmamalıdır.

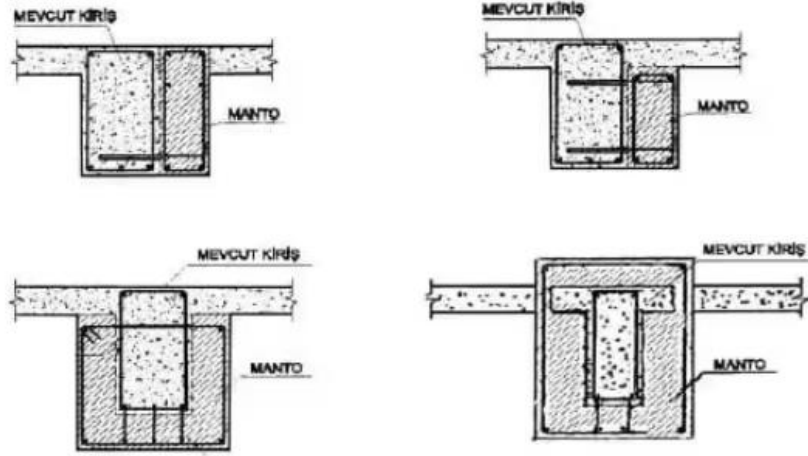
Güçlendirme yöntemleri kirişlerin hasar seviyelerine bağlı olarak değişmektedir. Hafif çatlak hasarlı kirişler epoksi yada çimento şerbeti enjeksiyonu ile onarılabilir. Fakat bu yöntemde kiriş betonu yeterli dayanımda olması önemlidir. Hasarlı kiriş elemanlarının yada kısımların kaldırılarak yeniden yapılması; betonun ezilmesi, aderansın bozulması veya donatının kopması gibi ağır hasarlı durumlarda tercih edilmelidir. Kirişler ağır hasarlı olduğu durumlarda geçici olarak askıya alınması gerekmektedir.

5.3.2.1. Kirişlerin mantolanması

Kiriş elemanlarında betonarme mantolama uygulaması bir, üç veya dört yüzeye beton ilave edilerek gerçekleştirilir. Sadece iki yan yüzeye veya alt ve üst yüzeylere mantolama yapmak uygulamada az görülmektedir. Tek taraflı yapılan mantolama güçlendirmesi

kirişin sadece eğilme momentine karşı dayanımını artırır. Dört tarafından mantolama ise eğilme ve kesme mukavemetini önemli derece artırmaktadır.

Kiriş elemanlarında yeni bir betonarme katman (mantolama) ekleme yönteminin en büyük avantajı, yapılacak mantoya hem boyuna donatı hem de etriye yerleştirme imkanı olduğundan, kirişin hem eğilme dayanımı hem de kesme dayanımı aynı anda artırılabilme fırsatı bulunmaktadır. Bu metot uygulanırken dikkat edilecek husus; mevcut betonarme kiriş kesiti ile yeni ilave edilen kiriş kesiti arasında yeterli aderansın oluşmasıdır. Bu sebeple uygulamada betonun pürüzlendirilmesi ile çentikli bir kiriş yüzeyi ve kaynaklanmış etriyelerle de yeterli ankraj sağlanmalıdır. Bu şekilde yapılan mantolamada mevcut kirişe iyi bir kayma ve çekme bağlantısı temin edilir.



Şekil 56. Kirişlerin 3 taraflı kesit büyütülmesi ile güçlendirilmesi

(Kaynak: <https://www.ask.hilti.com.tr>, 2023)

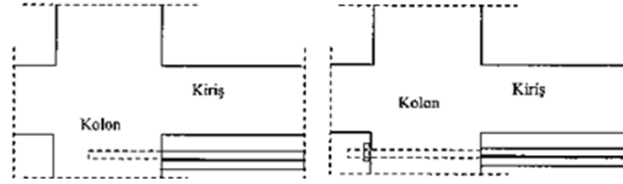
Ayrıca yeni kesitteki kiriş donatılarının eğilmeyi karşılayabilmesi için mantodaki donatıların komşu açıklıklara olan sürekliliği önemlidir.



Şekil 57. Kiriş mantolamasında donatı sürekliliğinin komşu açıklıklarda sağlanması

(Kaynak: Yıldırım, 2008)

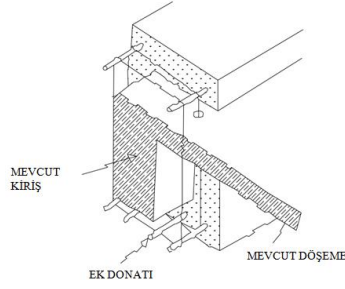
Sürekliliği epoksi yada ankraj bulonu yardımıyla mevcut sisteme entegre ederek kuvvet aktarımı oluşturulabilir (Yıldırım, 2008).



Şekil 58. Kiriş mantolamasında mevcut kolona epoksi ve bulonla ankraj çubuğunun bağlanması

(Kaynak: Yıldırım, 2008)

Kirişlerde kesme çatlakları mesnete yakın ve eğik şekilde oluşur. Bu sebeple kirişlerin sadece mesnet bölgelerinin güçlendirileceği durumlarda ise iki yöntem uygulanır. İlki mantolama esnasında yerleştirilen ek etriyelerde, etriye uçları döşemelerin delinmesi suretiyle kiriş üst kısmında bulonlar vasıtasıyla bağlanır. Diğer yöntemde ise döşeme kırılarak açılır ve etriyeler kirişi saracak şekilde yerleştirilir akabinde kiriş üstü dahil olacak şekilde dört taraflı manto betonu dökülür. Fakat bu yöntem döşeme kalınlığı arttırdığı sebeple mimari açıdan pek tercih edilmez (Onur, 2006).

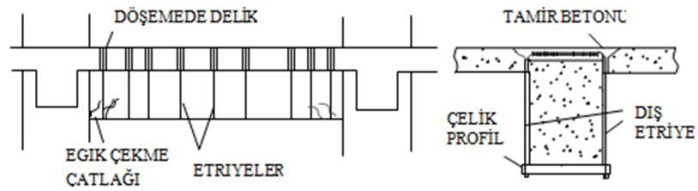


Şekil 59. Dört taraflı kiriş kesiti güçlendirilmesi

(Kaynak: Demirkan, 2014)

5.3.2.2. Kirişlere dıştan etriye eklenerek sarılması

Kesme dayanımı yetersiz olan kirişlerde kesme kuvveti taşıma gücünü artırmak için beton kesitinin ve enine donatı miktarının yükseltilmesi gerekir. Kiriş mesnet bölgelerinde yüksek değerlere ulaşan kesme kuvvetlerinin taşınması için ve kesme dayanımı yetersizliği sonucu oluşan eğik çatlakların ilerlemesini engellemek amacıyla dıştan enine donatı (etriyeler) yerleştirilmelidir. Bu etriyeler kullanılan malzeme biçimine göre farklı metotlarda oluşturulurlar. Kirişlere dıştan eklenen etriyeler, Şekil 60' daki gibi kirişi alttan U şeklinde saran parçayı, üst uçlarından bulonlar ile sıkıştırılmak suretiyle döşeme üstünden gelen çubuğa kaynatılarak oluşturulur. Dıştan eklenen etriyeler diğer bir yöntemde ise, kiriş altına yerleştirilen bir çelik profile bulonla bağlanan çubuklar, üstteki döşemede açılan deliklerden geçirilerek döşeme üst yüzeyinde açılan yuvanın içine bükülerek yerleştirilmektedir (Demirkan, 2014). İşlem bittikten sonra döşeme üstünde açılan boşluklar tekrar beton ile doldurulur (Şekil 60).



Şekil 60. Dıştan etriye eklenmesi

(Kaynak: Yıldırım, 2008)

5.3.2.3. Kirişlerin lifli dokumalar ile güçlendirilmesi

Mevcut kirişin basınç ve eğilme dayanımlarının artırılmasında kullanılabilir. Liflerle yapılan güçlendirme işlemleri ülkemizdeki TBDY 2018' e göre uygulanabilir güçlendirme yöntemleri arasında gösterilmektedir. Lifli dokuma elemanları, sık dokunulmuş, birbirini dikey ve çapraz kesen ipler gibi düşünülebilir ve bunların çekme kapasitesi ile, eğilmeye karşı davranışı, oldukça yüksektir. Fakat sadece lif eksenine paralel çekme kuvvetlerini karşılayabildikleri için uygulama yönleri önemlidir. İki yönlü tabakalar halinde uygulandığında kirişlerde eğilme ve kesme dayanımlarının artırılmasını sağlar (Aytaç, 2011).

5.3.2.4. Kirişlerin Çelik levha ile Onarım-güçlendirilmesi

Bu yöntemle eğilme momenti taşıma kapasitesini arttırmak için kiriş alt yüzüne ya da kesme kuvveti taşıma kapasitesini arttırmak için yan yüzlerine çelik levhalar yapıştırılmaktadır. Esas itibarıyla bu yöntem statik yüklere maruz kalan kirişlerin kesme mukavemetini ve açıklık eğilme mukavemetini arttırmada kullanılır. Uygulamada çelik levhalar betonarme kirişlerin yüzeylerine epoksi reçineleri ile dıştan yapıştırılırlar. Duruma göre kama veya epoksi kullanılması da tercih edilebilir. Çelik levhaların et kalınlığı genellikle 2-10 mm. olur. Levhaların ve çelik aparatların korozyon ve yangına karşı korunmasına dikkat edilmelidir. Ayrıca 250°C derecesinin üzerindeki sıcaklıklarda epoksi reçinelerinin özelliklerini tamamen yitirdikleri unutulmamalıdır (Atmaca, 2013).

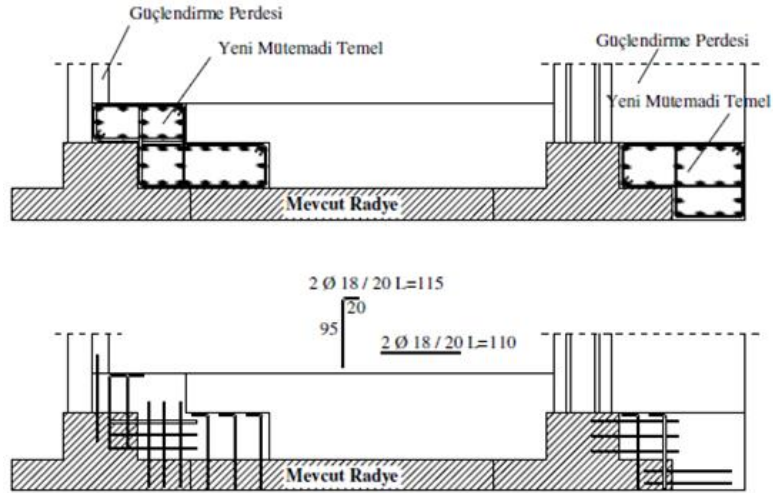


Şekil 61. Kirişlerin çelik levha ile güçlendirilmesi

(Kaynak: Düzgünlü, 2019)

5.3.3. Temellerin Güçlendirilmesi

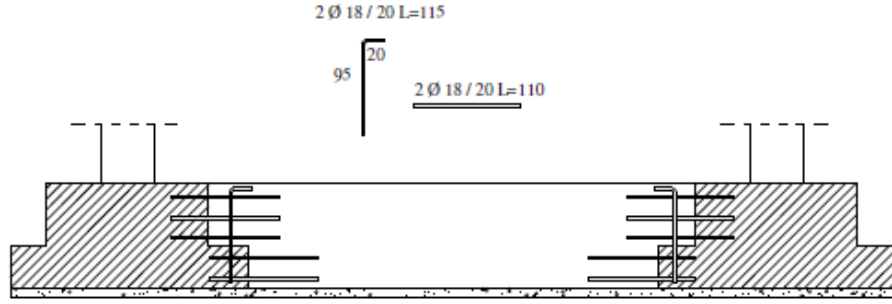
Taşıyıcı sistem içerisinde diğer yapı elemanlarına göre daha zor ve ekonomik yönden masraflı olan temel güçlendirilmesi ihtiyacı iki sebeple ortaya çıkmaktadır. İlki temel boyutlarının gelen yükleri taşımada, yetersiz kalması, ikincisi ise yapının güçlendirilmesi için sisteme yeni ilave edilen elemanlar gereği yeni temel yapılması ya da mevcut temelin büyütülmesidir. Sektörde temel güçlendirilmesi işlemi daha çok; zemin koşulları dolayısıyla temelde büyük oturmalar gerçekleştiğinde, deprem kuvvetiyle temelde hasar oluştuğunda, sabit yüklerde güçlendirmeden kaynaklı artışlar yaşanmışsa, kat ilavesi veya yapı kullanım amacındaki değişiklikler nedeniyle hareketli yüklerin artması nedeniyle gerek duyulabilir. Ayrıca güçlendirme amacı ile yeni ilave edilen kolon-perde elemanları nedeniyle yetersiz kalan temellerin güçlendirilmesi zorunludur.



Şekil 62. Sisteme yeni eklenen perde sonrasında yetersiz kalan temelin güçlendirilmesi ve ankraj detayları

(Kaynak: Onur, 2006)

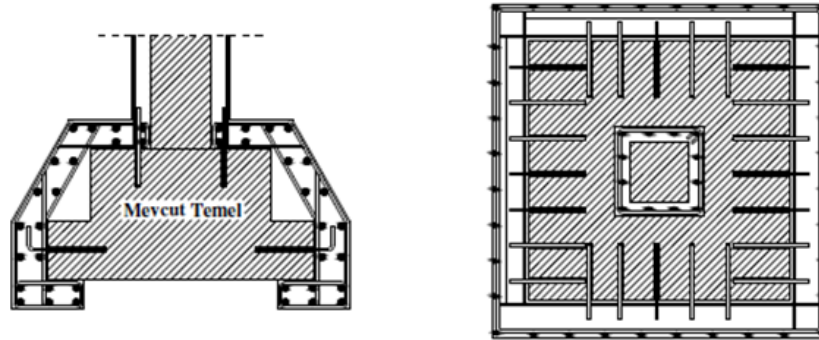
Temelerde onarım ve güçlendirme, mevcut temel yapısını güçlendirerek veya yeni temel yapısı ekleyerek yapılabildiği gibi temel zeminde iyileştirilebilir. Temellerin güçlendirilmesinde eski ve yeni temellerin beraber çalışarak eski elemandan yeni elemana yük aktarımının sağlanması önemlidir. Sistemin birlikte çalışmasında sonradan eklenen donatıların ankraj detayları önemlidir.



Şekil 63. Mevcut temele radye temel ilavesi ve ankraj detayları

(Kaynak: Onur, 2006)

Tekil temel sisteminde ise mantolanarak genişletilen kolonun yeni donatıları mevcut temele epoksi ile ekilebilir ya da tekil temel biraz daha büyütülerek donatı filizleri genişletilen kesite eklenir. Fakat mantolanarak en kesiti genişletilmiş bir kolonun temeli yeterli olabildiği gibi temeli büyütmeye gerek duyulmaz. Temelin genişletilen bölümüyle mevcut kesitin arasında kayma gerilmeleri aktarımı için dikiş çubukları veya beton yüzeyine epoksi uygulaması tavsiye edilmektedir. Temelin genişletilen bölümünün eski temelin altına girerek tasarlanması uygun görülmektedir (Şekil 64). Ayrıca sömelin genişletilen bölümüne konulan donatılar eski temelin donatılarına kaynakla bağlanmalıdır (Koç, 2022).



Şekil 64. Tekil temelin güçlendirilmesi

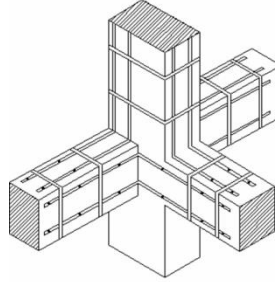
(Kaynak: Onur, 2006)

5.3.4. Kolon-Kiriş Birleşim Bölgesinin Güçlendirilmesi

Deprem sırasında taşıyıcı sistemde en fazla hasar gören ve zorlanan kolon-kiriş birleşim bölgeleri, güçlendirilmesi en zor bölgesidir. Birleşim bölgesindeki hasarın yerel düzeyde

olması ve çatlaklar şeklinde oluşması durumunda, epoksi reçinesi enjekte edilmesi onarım ve güçlendirmede tercih edilebilir. Aderansı çözülmüş donatının aderansının tekrar oluşturulması için de epoksi enjeksiyonu tavsiye edilir. Sadece çimento şerbeti kullanılarak donatı aderansının tekrar kazandırılması yeterli görülmemiştir. Birleşim bölgesinin lif takviyeli polimer levhalarla sarılması hem dağılmanın önlenmesi ve hem de kuvvet iletimini sağlamak için daha uygun görülmektedir. Hasarın daha fazla olduğu durumlarda ise mantolama veya çelik şeritlerle onarım ve güçlendirme yapılabilir (Şirin, 2006).

Birleşim bölgesinin çelik şeritlerle yapıştırılıp sarılması kesitlerin eğilme momenti kapasitelerini artırırken aynı zamanda sarılan çelik şeritlerin bölgede oluşturduğu basınç, düğüm noktasının sünekliliğine olumlu fayda sağlamaktadır. Uygulama için öncelikle bölgedeki hasarlı beton uzaklaştırılır ve yüzeyler uygun malzemeyle ince bir düzeltme tabakası oluşacak şekilde tesviye edilir. Daha sonra özel yapıştırıcılar kullanılarak şeritler yapıştırılır. Yapışmanın tam gerçekleşmesi için çelik lamaların betona işkence vb. ekipmanla basınç altında bekletilmesi gerekebilir. Daha sonra sargı şeritleri sarılarak uçları birbirinin üzerine yeterli boyda binecek şekilde yapıştırılır. Çelik şeritlerin bölgede oluşturduğu basıncın yeterli şekilde olması için şeritlerin dar olmaması (50mm uygun genişlik) ve şerit aralıklarının fazla (0.20m uygun aralık) tutulmaması gerekir (Batmacı, 2011).

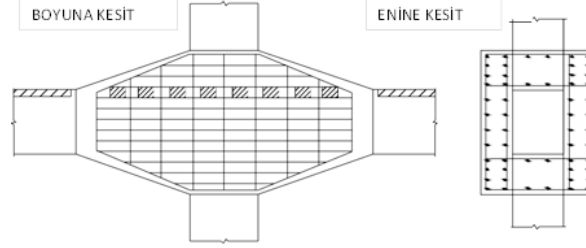


Şekil 65. Birleşim bölgesinin çelik şeritlerle sarılması

(Kaynak: Batmacı, 2011)

Kolon-kiriş birleşim bölgesinde mantolama yöntemi ile güçlendirme tekniği düğüm bölgesinin dar olmasından dolayı uygulaması zahmetlidir. Bu yöntemde güçlendirme, kiriş ve kolonun birlikte mantolanmasıyla yapılır. İlave edilecek donatıların mevcut donatıya bağlanması için kabuk betonu uzaklaştırılarak donatılar ortaya çıkarılır. Birleşim

bölgesinin sistemli çalışması için kolon ve kirişte bulunan yatay ve düşey donatılar ile etriyeler iskelet oluşturacak şekilde birbirine bağlı montajlanmalıdır. Güçlendirmede kuvvetli kolon zayıf kiriş ilkesine göre tasarım unutulmamalıdır. (Demirkan, 2014).



Şekil 66. Birleşim bölgesinde mantolama uygulaması

(Kaynak: Batmacı, 2011)

5.3.5. Betonarme Kolonların Güçlendirilmesi

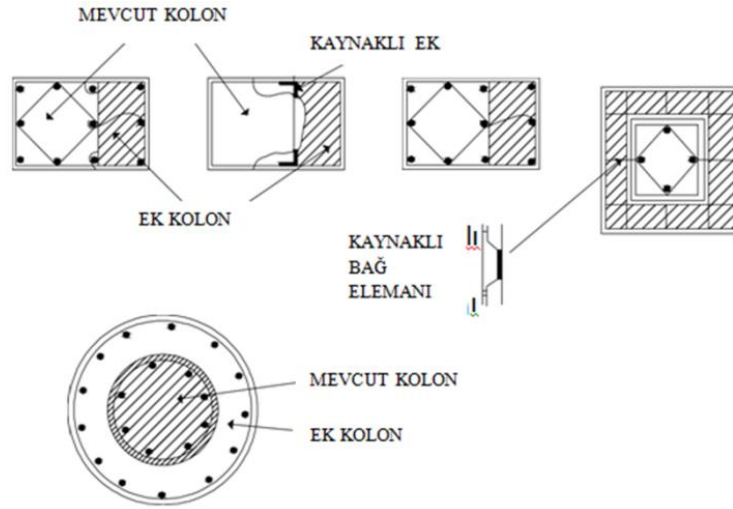
Betonarme kolonların güçlendirilmesi işlemi; aksel yük, moment ve kesme kuvveti taşıma kapasitesinin artırılması amacıyla yapılmaktadır. Kolonlarda hasar durumuna göre çeşitli onarım ve güçlendirme türü söz konusu olabilir. Fakat betonarme kolonların onarım ve güçlendirilmesinden yaygın olarak kullanılan iyileştirme ve güçlendirme yöntemi mantolamadır. Kat yüksekliğince yapılan mantolama ile kolon sadece aksel kuvvet ve kesme kuvveti kapasitesi artar. Eğer kolonda eğilme kapasitesinin artırılması hedefleniyorsa kolona ilave edilen yeni boyuna donatıların katlar arasındaki sürekliliği sağlanarak mantolama düğüm noktasında devam etmelidir (Şirin, 2006). Ancak, amaç sadece sünekliğe katkıda bulunmak ise çelik lamalarla kolon aksel yük taşıma kapasitesi artırılabilir (Yıldırım, 2008). Betonarme kolonlarda meydana gelen küçük çaplı çatlak ve kabuk betonunda gerçekleşen dökülmelerde ise yerel olarak onarılıp güçlendirilebilir. Betonarme kolonda oluşan çatlak hasarları genişliğine göre epoksi reçineler kullanılarak kolonun alt kısmından üst kısmına doğru başlanarak yapılır.

5.3.5.1. Kolonların mantolanması

Kolonun yapıdaki mevcut durumuna göre mantolama metotları farklı şekilde uygulanır. Mantolamada en önemli husus eski ve yeni betonun aderansının sağlanarak yük aktarımının gerçekleşmesidir. Kolonların dört taraftan mantolanması uygulamasında yeni

beton kesiti prizini aldıkça rötre sebebiyle büzüleceğinden mevcut betonla arasında tam bir aderans oluşacaktır. Bu nedenle dört taraflı mantolamada büyük tesirler söz konusu olmadığı durumlarda ankraja ihtiyaç duyulmaz. Kolonların bir, iki ve üç taraftan mantolamalarında ise mevcut betonla aderansı sağlamak için ankraj gereklidir. Güçlendirmede ankrajlar genellikle donatıların L şeklinde bükülerek kolona epoksi ile ekilmesiyle uygulanır. Daha sonra ekilen ankrajlar çekme deneyine tabii tutulur. Ayrıca kolonların dört taraftan az mantolanmaması durumunda, mevcut kolonun yatay ve düşey donatıları meydana çıkarılarak, ilave donatılarla eski donatıların bağlantısının yapılması önemlidir.

Betonarme kolonun sadece normal ve kesme kuvvet kapasitelerinin artırılması isteniyorsa, ilave donatıların döşemeyi delerek kiriş-kolon birleşim bölgesini geçmesine gerek kalmayabilir. Ancak, bu durumda kolonun moment kapasitesi artmadığı gibi düğüm noktasında güçlendirilmemiş olur. Eğer kolonda eğilme kapasitesinin artırılması hedefleniyorsa kolona ilave edilen yeni boyuna donatıların katlar arasındaki sürekliliği önemlidir (Tosun, 2009).



Şekil 67. Örnek kolon mantolanması

(Kaynak: Tosun, 2009)

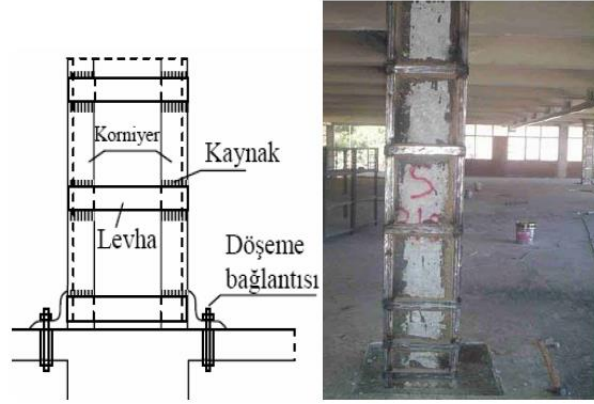
Kolon mantolamasının hedeflenen düzeyde olması için önem gösterilecek hususlar; öncelikle eski ve yeni beton arasındaki aderansın sağlanmasıdır. Bu sebeple mantolamadan önce mevcut kolonun üzerindeki hasarlı kısımlar uzaklaştırılmalı,

etriyeler ve boyuna donatılar açığa çıkacak kadar kabuk betonu kazınmalıdır. Kolon yüzeyi serbest beton parçalarından ve tozdan basınçlı su veya hava ile temizlenmelidir. Ayrıca aderansın sağlanmasında mantolamada kullanılacak yeni malzemelerin mukavemetinin mevcuta göre eşit veya fazla olması önemlidir. Mantolama kalınlığı yerinde dökme beton uygulamalarında en az 10 cm. genişliğinde olmalıdır. Kolonların betonarme mantolama ile güçlendirilmesinde boyuna donatı yüzdesi %1'den az olamayacağı gibi, %1' in çok üzerine de çıkılmamalıdır. Çünkü donatı yüzdesi %1 olan kolonların sünek davranış gösteren en ekonomik donatı yüzdeli kolonlar olduğu deneysel olarak açıklanmıştır (Koç, 2022). Güçlendirmede kullanılacak betonun tasarımı yapılırken kullanılacak agrega boyutları seçilirken ilave edilen yeni en kesit alanının genişliğine ve boyuna donatılar arasındaki mesafe dikkate alınmalıdır. Kullanılan agreganın en büyük dane çapı et kalınlığının yarısından fazla olmamasına özen gösterilmelidir. Aksi durumda dökülen beton, kalıp içerisinde homojen şekilde yerleşmeyeceğinden betonarme davranıştan söz edilemez. Eğer mantolama yapılmadan önce krikolarla kolonun aksel yükü kaldırılmamış ise, mantolu kolonun aksel kapasitesi hesaplanırken içerideki mevcut kolonun beton ve donatı alanı dikkate alınmamalıdır. Ayrıca mantolamanın daha etkili fayda vermesi için kolon güçlendirilmeleri kolonların yükleri boşaltıldıktan sonra yapılmalıdır (Onur, 2006).

5.3.5.2. Kolonların çelik ile sarılması

Kolonların çelik sargı ile güçlendirilmesi yöntemi kolon elemanların köşelerine dört adet boyuna köşebent yada lamalar yerleştirilmesi suretiyle profillerin belirli mesafelerde yatay plakalarla kaynaklanması ile oluşturulur. Uygulamada çelik kafes ile betonun birbirine çok sıkı yanaşması önemlidir. Bu sebeple yüzeyde kusur varsa, korniyerlerle mevcut beton arasındaki aralıklar ve boşluklar rötire yapmayan çimento harcı veya reçine harcı ile doldurulmalıdır. Bu yöntem ile kolonun moment kapasitesinde önemli bir artış oluşmamakla birlikte daha çok aksel yük kapasitesini arttırmada tercih edilir. Çelik sargının kolon aksel yük kapasitesini arttırması için korniyerlerin alt ve üst döşemeler arasında sürekli olması ve döşemelere başlık plakaları aracılığıyla basınç aktarımı yapılmalıdır ve hesaplarla gösterilmelidir. Gerektiğinde köşebentlere ön yükleme

yapılarak mevcut betonarme kolon kesitinin düşey yüklerden kaynaklanan aksenal basınç yükü azaltılabilir.



Şekil 68. Kolonların çelik manto ile güçlendirilmesi

(Kaynak: Batmacı, 2011)

5.3.5.3. Kolonların Lifli Polimer İle Sarılması

Lifli polimer kumaşlar betonarme kolonların aksenal normal kuvvet, eğilme momenti ve kesme kuvveti taşıma kapasitelerini arttırmada tercih edilir. Bu suretle kolonun rijitliğinde önemli bir değişiklik meydana gelmediği için, taşıyıcı sistemde yeniden iç kuvvet dağılımı oluşmaz. Ayrıca lifli kumaşların sisteme ilave bir yük getirmemesi nedeniyle yapıya etkileyen deprem kuvvetlerinde artış gözlenmez (Onur, 2006).



Şekil 69. Kolonun lifli polimer (LP) ile sarılması

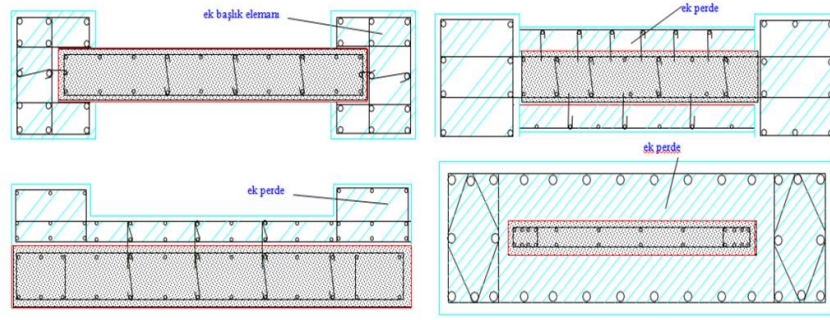
(Kaynak: Demirkan, 2014)

5.3.6. Perdelerin Onarım ve Güçlendirilmesi

Perdeler yapıya gelen yatay yüklerin karşılanmasında yüksek dayanım ve rijitlik yönünden taşıyıcı sistem için önemlidir. Perdeler yanal ötelenmeleri önemli ölçüde engelleyerek ikinci mertebe momentlerinden kaynaklanacak ilave yüklerle kesitlerin daha fazla zorlanmasını engeller. Bu sebeple yapıda ileri hasar görmüş veya projelendirilmesi yeterli olmayan perde mevcut ise taşıyıcı sistemin depreme karşı mukavemetini iyi derecede artırabilmek için perdeler gerektiği şekilde özenle onarılmalı ve güçlendirilmelidir.

Deprem perdelerinde epoksi enjeksiyonu ile yerel onarım yöntemi uygulanırken; taşıyıcı sistemin diğer elemanlarında olduğu gibi, hasar boyutları göz önüne alınarak betonda ezilme olmadığı durumlarda kullanılır. Yöntemin hızlı ve uygulanabilir olması, onarımın yapıldığı binanın tahliyesine gerek kalmadan uygulanması, mimariyi olumsuz etkileyecek eleman boyutlarının artmaması, sektörde yaygın kullanılan bir metot olmasını sağlar. Bu yöntemle perde elemanı hasardan önceki eğilme ve kesme mukavemeti değerlerine hemen ulaşır, fakat elemandaki tüm hasar çatlaklarına epoksi enjekte edilememesi sebebiyle tüm çatlaklar doldurulamadığı için hasardan önceki rijitlik elde edilemez. Bu bakımdan perde elemanlarında daha yüksek mukavemet değerlerine ulaşmak için başka metotlar uygulanmalıdır. Epoksi enjeksiyonu ile yapılan onarımların diğer dezavantajı ise olası yangın durumlarında epoksinin mukavemetini kaybetmesidir. Perde elemanlarda beton ezilmesi veya donatı burkulması varsa, kolonlarda uygulanan onarım ve güçlendirme yöntemi burada da uygulanabilir (Koç, 2022).

Hasarlı veya hasarsız perde elemanlarının genişliğinin artırılması önceki mukavemet değerlerinin yetersiz olması halinde uygulanır. Perde elemanlarında kesme mukavemet değeri yetersizse perde kalınlaştırılır. Eğilme momenti mukavemeti düşükse perde elemanın iki ucunada flanşlar (başlık kolonları) ilave edilir. Perde elemanda hem kesme hem eğilme mukavemet değerleri istenen seviyede değilse iki iyileştirme yöntemide uygulanır (Şirin, 2006).



Şekil 70. Perde onarım ve güçlendirme yöntemleri

(Kaynak: Ceritli, 2006)

Perde elemanlarının ilave kesitlerle mukavemet değerlerinin artırılacağı uygulamada, yeni donatıların mevcut donatılara bağ parçaları ile kaynaklanması, mevcut beton yüzeyinin pürüzlendirilerek aderansın sağlanması, ilave kesitlerin mevcut sistemle arasında yük aktarımını sağlamak için dikiş çubuklarının kullanılması ve mevcut perde yüzeyine epoksi uygulaması gibi yöntemler değerlendirilir. Yeni kesitlerde kullanılacak malzemelerin mukavemetleri mevcut perde elemandakinden az olmamalıdır. Düşey ve yatayda donatının brüt beton alanına oranına dikkat edilmeli ve bu oran 0.0025' ten az olmamalıdır. İlave perde kalınlığı en az 10 cm, başlık kolonların kalınlığı ise 15 cm' den az olmamalıdır. Mümkünse perde boyutları tüm katlarda aynı kalması tercih edilmelidir.

5.3.7. Taşıyıcı Sistemin Yeni Elemanlarla Güçlendirilmesi

Yapıların yanal yük dayanımı, sisteme yeni taşıyıcı elemanların eklenmesiyle artırılabilir. Bu elemanlar uygun projelendirilip sisteme entegre edildiğinde, deprem kuvvetlerinin büyük bir kısmını karşılayarak, mevcut taşıyıcı sistemin yükünü önemli ölçüde azaltırlar. Yapıya eklenecek yeni taşıyıcı elemanlar, binanın taşıyıcı sistemine ve hasar durumuna bağlıdır. İlave edilecek yeni elemanlarla birlikte yapı taşıyıcı sisteminin deprem davranışının değişeceği unutulmamalıdır. Güçlendirme sonrası sistemin rijitliği ve yapı yükü artacağı için, genellikle yapıya etki eden deprem kuvvetleri de artar. Böylece taşıyıcı sistemde oluşan etkilerde farklı dağılımlar meydana gelir. Yeni eklenen elemanların sisteme planlı yerleştirilmesiyle etkilerin belirli bölgede yoğunlaşması ve burulma etkilerinin oluşması engellenmiş olur. Mevcut ve yeni

elemanlar arasındaki kuvvet aktarımının ve bütünlüğün oluşturulması için ara bölgelerin detaylı projelendirilmesi önemlidir (Ceritli, 2006).

Taşıyıcı sistemin iyileştirilmesinde temel kaide, bazı çerçevelerin güçlendirilip, rijitleştirilmesidir. Bu ilke, çerçevelere eklenecek çelik çaprazlar veya dolgu duvarlarla oluşturulur. Çelik çaprazlarla güçlendirme genelde ülkemizdeki yapılar için yeterli olmayıp uygulamada çok tercih edilmez. Bunun nedeni, mevcut yapı stoğundaki binaların yanal rijitliklerinin genelde düşük olması, çelik çaprazlarla yapılan güçlendirmede ise yeterli rijitlik sağlanamamasıdır. Ülkemizde güçlendirme çalışmalarında çerçeve içine yerleştirilen betonarme dolgu duvarlarla perdeli sistemler yaygın olarak tercih edilen yöntemdir (Tosun, 2009).

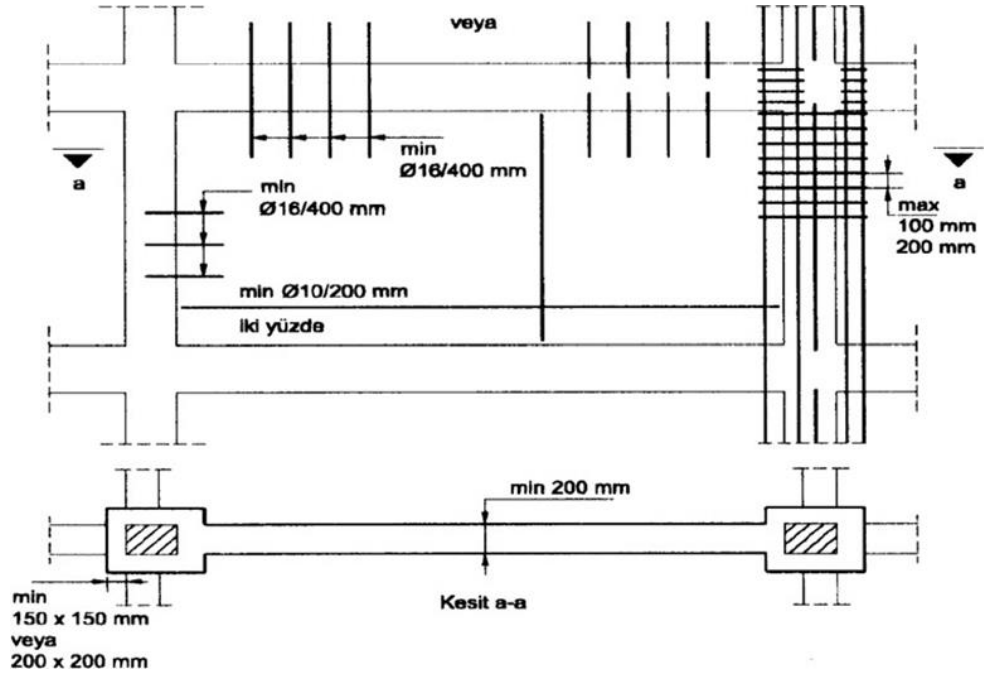
5.3.7.1. Betonarme perdeler eklenmesi yöntemi ile güçlendirme

Yerinde dökme betonarme perdelerle güçlendirme metodu rijitliği ve dayanımı yetersiz binalarda ve çok sayıda taşıyıcı eleman güçlendirilmesi gereken durumlarda, ekonomik sebeplerden kaynaklı sıkça tercih edilir. Sisteme eklenecek betonarme perdeler mevcut çerçeve düzlemi içinde veya çerçeve düzlemine bitişik olarak projelendirilebilir. Sisteme ilave edilecek perdelerin yerleri, mevcut perde ve kolon düzeni göz önünde bulundurularak belirlenmelidir. Ayrıca yanal kuvvetler altında ek burulma momenti oluşturmayacak şekilde ve kütle ile rijitlik merkezlerinin olabildiğince yakın tutulmasına dikkat edilmelidir. Perdenin iki kolon arasında bulunması tercih edilmelidir. Bazı durumlarda tek uçtan bir kolona birleşmesi kabul edilebilir. Hiçbir kolona bitişik olmayan doğrudan döşemeyi delip geçen perde-döşeme arasında çok büyük gerilme yığılmaları oluşacağı için düşünülmemelidir. Yapının dışına doğrudan kirişe bitişik yerleştirilen perde, de sistemde ek zorlamalar oluşturabileceğinden diğer yöntemlere başvurulabilir. Güçlendirme perdeleri plandaki yerlerine göre dış perdeler ve iç perdeler olarak, düşey kesitteki durumlarına göre ise eksenel ve dışmerkez olarak isimlendirilirler.

a. İç betonarme perdeler

Betonarme iç perdeler planda yapının iç bölgesinde konumlanır. Bu perdeler genellikle iki uçtaki kolonu mantolayarak bütünleşirler. Bu durum perdenin mevcut sistemle

bütünleşmesini sağlayacağı gibi, perdenin uçlarında meydana gelecek çekme kuvvetinin kolon basınç kuvvetini dikkate alarak azaltılmasını da sağlar. Perde, uçtaki kolona dört yüzeyden değil de sadece kolona bir, iki veya üç yüzeyden bağlanıyor ise kolon ile perde arasındaki bütünleşmeyi güçlendirmek için kolon yüzeylerine belirli mesafelerde dikiş donatıları ilave edilebilir (Koç, 2022).

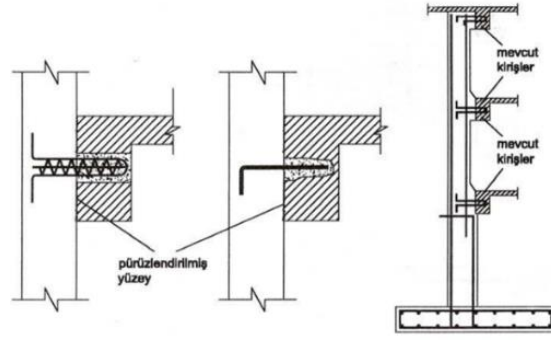


Şekil 71. Eksenel perde durumu ve detayı

(Kaynak: Koç, 2022)

b. Dış betonarme perdeler

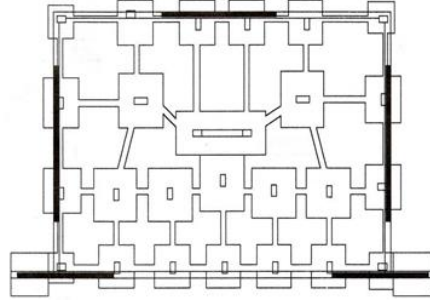
Yapının dış cephesine yerleştirilen perdelerle yapılan güçlendirme yöntemi, yapı içerisindeki yaşam alanını büyük oranda etkilemeden uygulanabilir. Bu sebeple güçlendirmesi zorunlu fakat sürekliliğide önemli kurum binalarında veya ticari yapılarda işletmeye ara verilmeden dışardan perdeler eklenerek yapı güçlendirilebilir. Aynı zamanda yapı içerisindeki mimariyi olumsuz etkilememesi bu yöntemin olumlu yönlerindedir.



Şekil 72. Dış perde ile güçlendirme uygulaması

(Kaynak: Koç, 2022)

Uygulamada binanın cephesinde çıkmaların bulunması güçlendirme perdesinin düşey sürekliliğinin oluşturulmasını zorlaştırır. Binanın dışında kalan perdelerin mevcut kirişle ve kolonlarla bağlantılarının yapılarak sistemin bütünleşmesi önemlidir. Perdeye komşu kolonlar mantolanarak perde ile birleştirilirse, bütünleşme daha iyi sağlanır. Fakat bu durum sağlanamıyorsa, kat seviyelerindeki kirişlere yapılacak bağlantılarla perdenin mevcut sistemle bütünleşmesi oluşturulmalıdır. Yeni perdenin temeli, mevcut temeller kullanılarak veya yeni temel eklenerek oluşturulabilir (Şekil 73).



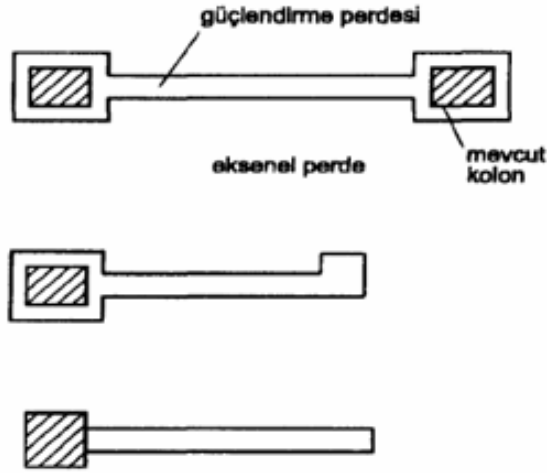
Şekil 73. Dış perde güçlendirmesi plan görünüşü

(Kaynak: Şirin, 2006)

c. Eksenel betonarme perdeler

Perde, kolon ve kirişlerin oluşturduğu çerçeveleri dolduran bölme duvarlarını perdeye dönüştürülmesi ile güçlendirme yapılabilir. Kolon ve kiriş eksenleri arasında kalacak olan bu perdeler mimari düzeni en az etkiledikleri için tercih sebebidir. Her durumda da kolon ve kirişler ile perde arasında kesme kuvvetinin iletilmesi için dikiş donatısı kullanılır. Bu

amaçla dikiş donatıları epoksi ile kolon ve kirişe bağlanabildiği gibi kaynaklı donatı birleşimi de kullanılabilir (Batmacı, 2011).



Şekil 74. Eksenel perde plan görünüşü

(Kaynak: Ceritli, 2006)

d. Dışmerkez betonarme perdeler

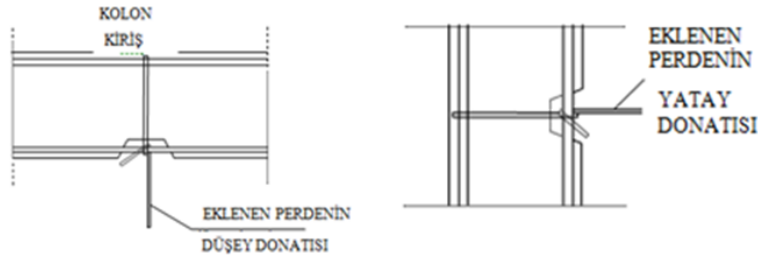
Güçlendirme perdesinin katlar arası sürekliliğin sağlanması büyük deprem kuvvetlerinin karşılanmasında daha önem kazanır. Bunun gibi, mevcut taşıyıcı sistemdeki kolon ve kirişlerin hasarlı olması veya kesit, donatı ve beton kalitesinde belirsizlikler bulunması, perdelerin kiriş eksenlerine göre dışmerkez olarak yerleştirilerek döşemedeki deliklerle sürekliliğin sağlanmasını istenebilir. Bu sebeple komşu kolonların perdelerle bütünleşecek şekilde mantolanması uygundur (Ceritli, 2006).

5.3.7.2. Donatısız yığma duvarlarla doldurulması

Bu yöntemde çerçeve gözlerine tuğla, beton briket vb. malzemelerle örülerek doldurulması zayıf bir güçlendirme yöntemidir. Bu yöntemle çok sınırlı bir taşıma gücü artışı sağlanır. Çerçeve açıklığında kirişlerin altına mesnet oluşturmak kirişlerin yükünün askıya alınması yönüyle bir çözümdür ve donatılı yığma duvarla güçlendirme öncesi açısından bir ön hazırlık olarak değerlendirmek isabetli olacaktır.

5.3.7.3. Donatılı yığma duvarlarla doldurulması

Çerçeve boşluğuna örülmüş duvarın her iki yüzüne hem yatayda hem de düşey ekseninde donatıların yerleştirilmesi ile yapılan güçlendirme yöntemidir. Bu yöntemde var olan duvarların güçlendirilmesi için hazır hasır donatı da kullanılabilir. Hasır çeliğin duvarın iç ve dış yüzünede eklenmesi ve birbirilerine çiroz etriyelerle bağı oluşturulmalıdır. Bölme duvara eklenen donatıların yardımı ile hem moment taşıma gücü hem de kesme kuvveti taşıma gücü artırılabılır.



Şekil 75. Donatıların mevcut elemanlara bağlantısı

(Kaynak: Şirin, 2006)

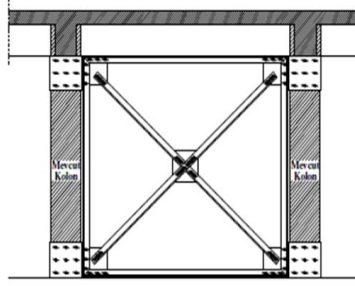
5.3.7.4. Hazır dökülmüş panolarla dolgu

Yerinde döküm betonarme duvar yapımı yerine hazır dökülmüş duvar panelleri de tercih edilebilir. Hazır paneller standart açıklıklar varsa uygulamada daha kolay olabilir. Ancak bunların yapı içerisindeki kaldırma iletme işlemlerinin kolay olması için uygun boyut ve ağırlıkta olması gerekir. Bu yöntem, yerinde dökme betonarme perde duvarlara göre daha az yatay yük taşıma gücü sağlamaktadır. Ancak süneklilik oranı daha fazla olduğu görülmektedir. Bu yöntemde panoların sistem olarak çalışıp yük iletimini sağlaması için birbirlerine, kolon ve kirişlere uygun şekilde bağlanmalıdır. (Demirkan, 2014).

5.3.7.5. Çelik diyagonal elemanlarla güçlendirme

Yapıya betonarme perde duvarların ilave edilmesi aynı zamanda yapı ağırlığını artıracığından bu durum yapıya gelen deprem kuvvetlerini artırır. Bu artıştan kaçınmak ya da yapının ağırlığını arttırmadan rijitliğini ya da daha önemlisi sünekliliğini arttırmak için çerçeve boşlukları arasına çelik çerçeveler ya da diyagonal elemanlar yerleştirilerek

güçlendirme yapılabilmektedir. Çerçevenin betonarme kolonlara özel bir biçimde bağlanması gerekir. Bu bağlantı bulonlu bağlantı olabileceği gibi, kaynaklı bir bağlantı da olabilir. Çelik çerçeveler yatay kuvvetleri karşılama yönünden betonarme perde duvarlara göre daha güçsüz ve ekonomik olmayan bir seçenektir. Beton kalitesinin düşük olduğu durumlarda ise bu yöntemi uygulamak daha da zorlaşır ve maliyeti artar. Ancak deprem sonrasında kısa sürede yapılabilmeleri gibi üstünlükleri mevcuttur (Onur, 2006).



Şekil 76. Çelik diyagonellerle çerçevelerin güçlendirilmesi

(Kaynak: Onur, 2006)

6. PERFORMANS KAVRAMI VE 2018 TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİNDEKİ BAZI HÜKÜMLER

TBDY-2018 bölüm 15' te deprem etkisi altında mevcut bina davranışının belirlenmesi ve güçlendirme tasarımı için özel kurallar belirtilmiştir. Çalışmanın bu bölümünde yönetmelik ilkelerine göre mevcut binaların değerlendirilmesi için bilgi toplanması, yapı elemanlarının hasar sınır ve bölgelerinin saptanması, bina için hedeflenen performans düzeylerine dair temel ilke ve hesap yöntemleri anlatılmıştır.

6.1. Deprem Yer Hareketi Düzeyleri

TBDY-2018 kapsamında depremlerin tekrarlanma periyotlarına göre dört farklı deprem yer hareketi düzeyi tanımlanmıştır.

6.1.1. Deprem yer hareketi düzeyi-1 (DD-1)

Beklenen en büyük deprem yer hareketi düzeyidir. DD-1 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %2 olarak buna karşın tekrarlanma periyodunun ise 2475 yıl olduğu çok seyrek deprem yer hareketini belirtir.

6.1.2. Deprem yer hareketi düzeyi-2 (DD-2)

Bu düzey standart tasarım deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır. DD-2 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %10 ve buna karşın tekrarlanma periyodunun ise 475 yıl olduğu seyrek deprem yer hareketini belirtir.

6.1.3. Deprem yer hareketi düzeyi-3 (DD-3)

DD-3 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %50 tekrarlanma periyodunun ise 72 yıl olduğu sık deprem yer hareketini nitelemektedir.

6.1.4. Deprem yer hareketi düzeyi-4 (DD-4)

Servis deprem yer hareketi olarak da bilinen bu deprem yer hareketi spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %68 (30 yılda aşılma olasılığı %50) tekrarlanma periyodunun ise 43 yıl olduğu çok sık deprem yer hareketini belirtir.

6.2. Binalardan Bilgi Toplanması

6.2.1. Binalardan toplanacak bilginin kapsamı

Mevcut yapıların deprem performanslarını ve taşıyıcı sistem kapasitelerinin belirlenmesi için yapı sistemine ait bazı verilerin toplanması gerekir. Bu bağlamda yapının taşıyıcı sistemine ait elemanların kesit ile boyut ebatlarını, geometrisini ve yapıda kullanılan malzemenin özellikleri belirlenmelidir. Bu veriler sahada yapılan inceleme ve ölçümlerden, yapıdan alınan numunelerden, binaya ait rapor ve projelerden elde edilir. Betonarme taşıyıcı sistemin yanı sıra yapının oturduğu zemine ait parametrelerde elde edilmelidir. Elde edilen bu bilgilerin kapsamına göre TBDY 2018' de açıklanan sınırlı ve kapsamlı bilgi düzeylerinden hangisine dahil olduğu belirlenir.

6.3. Bilgi Düzeyleri

TBDY 2018' de sahada yapılan inceleme sonucunda elde edilen bilgilerin kapsamına göre eleman kapasitelerinin hesaplanmasında uygulanacak olan bilgi düzeyi katsayıları tanımlanmaktadır. Bilgi düzeyleri Tablo 1' de belirtildiği üzere sınırlı bilgi düzeyi ve kapsamlı bilgi düzeyi olarak iki sınıfa ayrılmaktadır.

Tablo 1. Bilgi düzeyi ve bilgi düzeyi katsayıları

Bilgi Düzeyi	Bilgi Düzeyi Katsayıları
Sınırlı	0.75
Kapsamlı	1.00

(Kaynak: TBDY 2018)

6.3.1. Betonarme Binalarda Sınırlı Bilgi Düzeyi

Sınırlı bilgi düzeyi yalnızca diğer binalar (BKS = 3) için kullanılabilir. Kalan tüm binalar için kapsamlı bilgi düzeyi kullanılmalıdır. Sınırlı bilgi düzeyinde taşıyıcı sisteme ait bilgiler binada yapılan ölçümlerle belirlenmektedir. Betonarme yapılarda sınırlı bilgi düzeyi kapsamında mevcut binanın geometrisi, eleman detayları ve malzeme özellikleri belirlenmelidir (TBDY 2018).

Bina geometrisi belirlenirken yapının betonarme projeleri var ise yapılacak ölçümlerle mevcut geometrinin uygunluğu incelenir, şayet projeler sahadaki ölçümler ile ciddi

farklılık gösteriyorsa proje yok sayılarak binanın taşıyıcı sistem rölevesi çıkarılır. Bunun için yapıdaki tüm betonarme elemanların ve bölme duvarların her kattaki yeri, malzemesi, açıklıkları ve boyutları, yapının komşu binalarla olan ilişki durumları, kısa kolon ve benzeri düzensizliklerin projeye işlenmesi gerekmektedir. (TBDY 2018).

Malzeme özellikleri belirlenirken, her katta kolon veya perde elemanlarından en az üç adet beton örneği alınarak test yapılmalıdır. Standartlara uygun şekilde alınan ve deneyi yapılan karot numunelerinden mevcut beton dayanımı karot sayısı üç ise deney raporlarından çıkan en düşük dayanım yapının mevcut beton dayanımı olarak kabul edilir. Yapıdan alınan karot sayısı üçten fazla ise elde edilen basınç dayanımların (ortalama eksi standart sapma) ve (0.85 çarpı ortalama) değerlerinden fazla olanı beton basınç dayanımı olarak kabul edilir. Donatı sınıfı sıyrılan yüzeylerde yapılacak gözlemlerle tespit edilir ve bu sınıftaki çeliğin karakteristik akma gerilmesi mevcut çelik akma dayanımı olarak alınır. Eleman kapasitelerinde olumsuz etki yaratacak korozyona uğramış elemanların konumları tespit edilerek planda belirtilecek ve kapasite hesaplarında göz önüne alınacaktır. (TBDY 2018).

Taşıyıcı sistem elemanlarının donatı miktarı ve detaylarının ise binanın inşa edildiği dönemdeki geçerli yönetmelik koşullarındaki minimum donatı oranını sağladığı düşünülür. Bu koşulun gerçekliği veya hangi oranda gerçekleştiğinin saptanması için perde ve kolonlarda her katta en az birer adet olmak üzere toplam perde ve kolon elemanların %5' inin, kiriş elemanlarında ise her kattan bir adet kirişin paspayı sıyrılarak donatı tespitinin yapılması gerekmektedir. Paspayı sıyrıılırken kolon ve kiriş elemanların sıyrıma bölgesine dikkat edilerek açıklık ortasının üçte birlik bölümü incelenmelidir. Ayrıca beton örtüsü sıyrılmayan perde ve kolonların %20' sinde enine ve boyuna donatı sayısı ve yerleşimi donatı tespit cihazları ile belirlenecektir. (TBDY 2018).

6.3.2. Betonarme Binalarda Kapsamlı Bilgi Düzeyi

Kapsamlı bilgi düzeyinde, sınırlı bilgi düzeyine göre daha fazla ölçüm ve inceleme yapılmaktadır. Bu bilgi düzeyinde bina geometrisi, eleman detayları ve malzeme özelliklerinin belirlenmesi TBDY-2018' de ifade belirtilmiştir (TBDY 2018).

Bina geometrisi belirlenirken betonarme yapının projeleri var ise sahadaki ölçümlerle uygunluğu kontrol edilir. Ancak proje ve ölçümler arasında önemli farklılıklar gösteriyor ise proje yok sayılarak sınırlı bilgi düzeyinde bina geometrisi için anlatılan adımlar uygulanarak yapının rölevesi alınır. (TBDY 2018).

Eleman detayları belirlenirken betonarme detay projeleri var ise donatının projeye uygunluğu kontrol edilir ve sınırlı bilgi düzeyinde eleman detayları için belirtilen işlemler aynı miktardaki betonarme elemanlarda uygulanır. Ayrıca betonarme örtüsü sıyrılmayan perde ve kolon elemanların %20' sinde ve çerçeve kirişlerin %10' unda enine ve boyuna donatısı sayısı ve yerleşimi röntgen cihaz ile belirlenir. Projede belirtilen ile mevcut uygulama arasında eşitsizlik olması halinde, betonarme elemanlardaki mevcut donatının projede öngörülen donatıya oranını ifade eden donatı gerçekleştirme katsayısı perde, kolon ve kirişler için ayrı olarak belirlenecektir. Betonarme projeler veya uygulama çizimleri mevcut değilse, her katta en az ikişer adet olmak üzere kolon ve perdelerin %10 unun beton örtüsü sıyrılarak donatı tespiti yapılacaktır. Ayrıca beton örtüsü sıyrılmayan kolon ve perde elemanların %30' unda, kirişlerin ise %15' inde donatı sayısı ve yerleşimi röntgen cihazı ile belirlenecektir. (TBDY 2018).

Malzeme özellikleri tespit edilirken ise zemin katta üç, diğer katlarda iki adetten az olmamak suretiyle ve yapıda toplam dokuz adetten az olmaması kaydıyla, her 400 m²' den bir adet beton karotu alınmasıyla deney için numune temini yapılacaktır. Elemanların kapasitelerinin tespit edilmesinde, numunelerden elde edilen (ortalama eksi standart sapma) değeri ile (0.85 çarpı ortalama) değeri arasından büyük olanı mevcut beton dayanımı olarak alınacaktır. Donatı sınıf ise, sıyrılan yüzeylerde yapılan inceleme sonucu tespit edilecek ve her sınıftaki çelik için (S220, S420, vb.) birer adet örnek alınarak deney yapılacak, çeliğin akma gerilmesi, kopma dayanımı ve şekil değiştirme özellikleri belirlenerek projeye uygunluğu kontrol edilecektir. Uygun değil ise en az üç adet numune daha alınarak deney tekrarlanacak, elde edilen sonuçta en düşük akma gerilmesi, eleman kapasite hesaplarında mevcut çelik akma gerilmesi olarak değerlendirilecektir. (TBDY 2018).

6.4. Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri

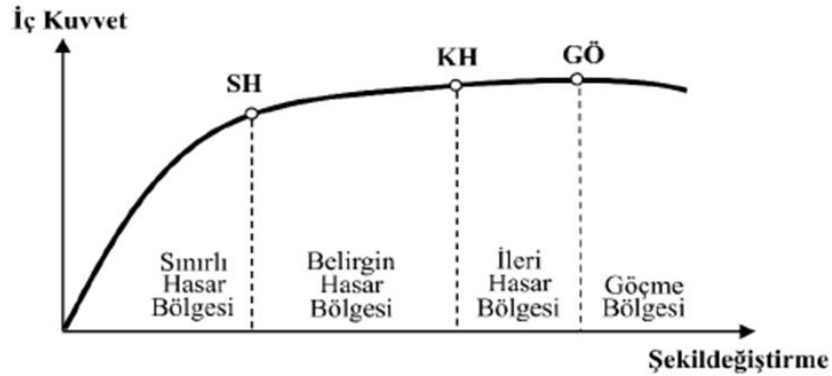
6.4.1. Kesit Hasar Durumları

TBDY-2018’ de sünek elemanlar için kesit düzeyinde üç hasar durumu ve hasar sınırı tanımı yapılmıştır. Bu tanımlar Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçme Öncesi Hasar (GÖ) durumları ve bunların sınır değerleridir (TBDY 2018).

- Sınırlı Hasar (SH): Kesitte sınırlı miktarda elastik ötesi davranışı,
- Kontrollü Hasar (KH): Kesit dayanımının güvenli olarak sağlanabileceği elastik ötesi davranışı,
- Göçme Öncesi Hasar (GÖ): Kesitte ileri düzeyde elastik ötesi davranışı belirtmektedir. Gevrek olarak hasar gören elemanların kesitleri için bu sınıflandırma geçersizdir.

6.4.2. Kesit Hasar Bölgeleri

Kritik kesitlerinin hasarı SH’ ya ulaşmayan elemanlar sınırlı hasar bölgesinde, SH ile KH arasında kalan elemanlar Belirgin Hasar Bölgesi’nde, KH ile GÖ arasında kalan elemanlar İleri hasar bölgesinde, GÖ’ yü aşan elemanlar ise göçme bölgesinde yer alırlar.



Şekil 77. TBDY 2018’ e göre kesit hasar bölgeleri

(Kaynak: TBDY 2018)

6.4.3. Kesit ve Eleman Hasarlarının Tanımlanması

Yapının doğrusal veya doğrusal olmayan hesap yöntemleriyle hesaplanan iç kuvvetlerin ve/veya şekil değiştirmelerin, kesit hasar sınırlarına karşı gelmek üzere tanımlanan sayısal değerler ile karşılaştırılması sonucunda kesitlerin hangi hasar bölgelerinde olduğuna karar verilecektir. Böylece en fazla hasar gören kesite göre elemanın hasarı belirlenecektir (TBDY 2018).

6.5. Bina Performans Düzeyleri

Deprem etkisi altındaki bina taşıyıcı sistemleri için performanslar TBDY 2018' de dört farklı düzeyde tanımlanmıştır.

6.5.1. Kesintisiz kullanım (KK) Performans Düzeyi

Yapının taşıyıcı sistem elemanlarında yapısal hasarların oluşmadığı ya da hasarın ihmal edilebilir ölçüde kaldığı performans düzeyini tanımlar (TBDY, 2018).

6.5.2. Sınırlı Hasar (SH) Performans Düzeyi

Yapının taşıyıcı sistem elemanlarında sınırlı düzeyde hasarın oluştuğu, doğrusal olmayan davranışın sınırlı oranda kaldığı hasar düzeyine karşı gelmektedir (TBDY, 2018).

6.5.3. Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi

Yapı içerisinde bulunanların can güvenliğinin sağlandığı, taşıyıcı sistem elemanlarında çok ağır olmayan ve genellikle onarılması mümkün olan hasar düzeyine karşı gelmektedir (TBDY, 2018).

6.5.4. Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Düzeyi

Yapı taşıyıcı sistem elemanlarında ileri düzeyde ağır hasarın meydana geldiği göçme öncesi duruma karşı gelmektedir. Binanın kısmen veya tamamen göçmesinin önlendiği performans düzeyidir (TBDY, 2018).

6.6. Mevcut Binaların Deprem Performansının Belirlenmesi

Mevcut veya güçlendirme yapılacak binaların için deprem yer hareketi düzeyleri ve deprem tasarım sınıflarına bağlı olarak TBDY 2018’ de verilen performans hedefleri Tablo 2’ de gösterilmiştir.

Tablo 2. Mevcut yerinde dökme betonarme yapılar için performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları

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

(Kaynak: TBDY 2018)

6.7. Mevcut veya Güçlendirilecek Binaların Deprem Performansının Belirlenmesi

Mevcut yapılardaki deprem performansı, uygulanan deprem etkisiyle yapıda oluşması beklenen hasarlar ile ilişkili olup TBDY 2018’ de dört farklı hasar durumu belirtilmiştir. Yönetmelikte tanımlanan doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri uygulanarak eleman performanslarına belirlenmesi sonucu mevcut yapıların deprem performans düzeyi belirlenir (TBDY 2018).

6.7.1. Mevcut Binalarda Sınırlı Hasar Performans Düzeyi

Mevcut yapıların herhangi bir katında, uygulanan tüm deprem doğrultuları için yapılan hesap sonucunda kiriş elemanların en fazla %20’ si belirgin hasar bölgesine geçebilir. Ancak diğer taşıyıcı sistem elemanlarının hepsi sınırlı hasar bölgesinde olmalıdır. Yapıda gevrek olarak hasar görmüş taşıyıcı eleman var ise güçlendirilerek bu binaların performans durumu sınır hasar performans düzeyinde kabul edilir.

6.7.2. Mevcut Binalarda Kontrollü Hasar Performans Düzeyi

Bina taşıyıcı sistem elemanlarının bir kısmının hasar gördüğü, fakat bu elemanların yatay rijitlikleri ve dayanımlarını tamamen kaybetmedikleri performans düzeyidir. Taşıyıcı sistemde gevrek olarak hasar gören eleman var ise güçlendirilmesi şartıyla, TBDY-2018’

de kontrollü hasar performans düzeyinin sağlanması için gereken koşullar aşağıda sunulmuştur.

- a. Betonarme binalarda uygulanan deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %35' i ve düşey elemanların aşağıdaki (b) paragrafında tanımlanan kadarı ileri hasar bölgesine geçebilir.
- b. İleri Hasar Bölgesi'ndeki düşey elemanların, düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine katkı oranı %20' nin altında olmalıdır. En üst katta İleri Hasar Bölgesi'ndeki düşey elemanların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki düşey elemanların kesme kuvvetlerinin toplamına oranla en çok %40 olabilir.
- c. Diğer taşıyıcı elemanların tümü sınırlı hasar bölgesi ve belirgin hasar bölgesindedir. Fakat 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.

6.7.3. Mevcut Binalarda Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi

Taşıyıcı sistem elemanlarının önemli bir kısmının hasar görek bu elemanların yatay rijitliklerini ve dayanımlarını önemli ölçüde kaybettikleri performans düzeyidir. TBDY 2018' de; gevrek olarak hasar gören tüm elemanların göçme bölgesinde olduğu dikkate alınarak aşağıda belirtilen koşulları oluşturan yapıların göçmenin önlenmesi performans düzeyinde olduğu kabul edilir.

- a. Betonarme binalarda 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 bölgesine geçebilir.
- b. Diğer taşıyıcı elemanların tümü sınırlı hasar bölgesi, belirgin hasar bölgesi veya ileri hasar bölgesindedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden belirgin hasar sınırı aşılmış olan düşey elemanlar tarafından karşılanan kesme kuvvetlerinin, o kattaki bütün düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30' u geçmemesi gerekir.

6.7.4. Göçme Durumu

Yapı kullanımını can güvenliği bakımından riskli olduğu, bina göçmenin önlenmesi performans düzeyinin sağlamadığı, taşıyıcı sistem elemanlarının uygulanan deprem etkisi altında göçme durumuna ulaştığı performans düzeyidir.

6.8. Hesap Yöntemleri

6.8.1. Doğrusal Hesap Yöntemleri

Yapıların dayanıma göre tasarımı (DGT) kapsamında TBDY 2018' de öngörülen doğrusal hesap yöntemlerinde, malzemenin lineer elastik bölgede şekil değiştirme yapması ve yer değiştirmelerin küçük düzeyde olması nedeniyle geometrik süreklilik ve denge denklemlerine etkisi ihmal edilir. Moment-eğrilik ilişkisi lineer olarak göz önüne alındığından eğilme rijitliği sabittir ve taşıyıcı sistemin yükler altında boyut değiştirmedeği kabul edilir. Kuvvet esaslı olan DGT yöntemlerinde yapı elemanlarının taşıma kapasitesi, yapı sisteminde varolan yüklerin oluşturduğu iç kuvvetlerle kıyaslanarak kapasite değerlendirilmesi hedeflenir. Deprem etkisinin deprem azaltma katsayısıyla azaltarak yapıya etkilmesi ve malzemenin elastik ötesi davranışının tam olarak ele alınmaması bu yöntemlerin yaklaşık sonuçlar vermesini sağlamaktadır. Bu yöntemler yönetmenlikte Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Mod Toplama Yöntemi olarak üçe kısımda incelenmektedir (TBDY, 2018).

6.8.1.1. Eşdeğer deprem yüğü yöntemi

Yüksekliği fazla olmayan binalarda etkin deprem doğrultusunda bina dinamik davranışının taşıyıcı sistemin hakim titreşim modundaki davranışı ile temsil edilebileceği ve bu modun şeklinin yaklaşık ters üçgen olarak kabulüne dayanır Yüksekliği fazla olmayan yapılarda birinci doğal titreşim periyodu dikkate alınarak hesap edilen deprem kuvvetinin kat rijitliklerine veya kat kütlelerine bağlı kalarak katlara paylaştırılması uygulanır. Taşıyıcı sistemi düzenli ve düzensizliği fazla olmayan yapılar için yaklaşık deprem yüğü hesabında kullanılması daha uygundur. Bu hesap yönteminde birbirine dik

(X) ve (Y) deprem yönlerinde binaya etkiyen depremler için ayrı ayrı hesaplanır. Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabileceği yapılar Tablo 3’ te verilmiştir.

Tablo 3.Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanacağı yapılar

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

(Kaynak: TBDY 2018)

6.8.1.2. Mod birleştirme yöntemi

Mod birleştirme yöntemi dinamik bir hesap yöntemidir. Bu yöntemde; yapı sisteminin davranışının verilen bir deprem doğrultusunda her bir titreşim modunun deprem hareketine olan cevapları ayrı ayrı elde edildikten sonra belirli istatistiksel oranlarda birleştirilmesi sonucu deprem kuvvetlerinin bulunması esasına dayanır.

6.8.1.3. Zaman tanım alanında hesap yöntemi

Bu yöntemde; benzeştirilmiş veya gerçek olan deprem kayıtlarının bina modeline zaman tanım alanında adım adım etkilmesiyle yapılan dinamik çözümleme sonucu yapıda oluşan deprem kuvvetlerinin elde edilmesi sağlanır. Bu şekilde deprem sonucu yapının taşıyıcı sisteminde oluşan yer değiştirmeler ve iç kuvvetler bulunmaktadır.

6.8.2. Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri

Yapı mühendisliğindeki teknolojik ilerlemeler sayesinde hesap programları, yapı taşıyıcı sistemlerinin ve malzemelerin doğrusal olmayan davranışları hakkında bizlere daha gerçekçi ve ulaşılabilir imkanlar sağlamıştır. Mevcut veya güçlendirilmiş binaların şekil değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarımı (ŞGDT) doğrultusunda TBDY 2018’ de verilen doğrusal olmayan hesap yöntemleri malzemenin doğrusal-elastik sınırının ötesindeki davranışının da hesaplarda dikkate alınmasına olanak sağlar. Şekil değiştirme

esaslı olan bu yöntemlerde belirli bir deprem kuvveti altında oluşan ve binanın önemli plastik mafsallarında oluşacak şekil değiştirmelerin değerlendirilmesi amaçlanır. Bu hesap yöntemlerinin hedefi, yapı sistemlerinin deprem sırasındaki doğrusal elastik olmayan davranışını daha gerçekçi görmektir. Doğrusal olmayan hesap yöntemleri TBDY 2018' de Tek modlu itme yöntemi, Çok modlu itme yöntemi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi incelenmektedir (Zolmaz, 2019).

6.8.2.1. Tek modlu itme yöntemleri

Tek modlu itme yöntemi doğrusal mod birleştirme yönteminin tek modlu uygulamasının doğrusal olmayan artımsal uygulamasıdır. Dikkate alınan deprem doğrultusunda hakim titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde deprem yer değiştirme talebi sınırına kadar adım adım uygulanan deprem yükü artımlarının etkisi altında, taşıyıcı sistemde meydana gelen yer değiştirme, plastik şekil değiştirme ve iç kuvvet artımları ile değerleri hesaplanır. Son adımda, deprem talebine karşı gelen birikimli değerler, şekil değiştirmeye değerlendirmeye esas büyüklükler olarak elde edilir. Ek dış merkezlik dikkate alınmaksızın herhangi bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} < 1.4$ olması ve hâkim titreşim moduna ait taban kesme kuvveti etkin kütesinin yapı kütesine oranının en az 0.70 olması sağlanmalıdır. Bu hesap şekli sabit tek modlu itme yöntemi ve değişken tek modlu itme yöntemi olarak iki şekilde hesaplanır.

6.8.2.2. Çok modlu itme yöntemleri

Çok Modlu İtme Yönteminin, verilen tasarım spektrumuna göre özel durumda başlangıç rijitlikleri kullanılarak doğrusal hesap için uygulanması sonrasında oluşan tüm iç kuvvetlerin ve yer değiştirmelerin, aynı tasarım spektrumu dikkate alınarak mod birleştirme yöntemine göre elde edilen büyüklüklerle aynı olduğu hesap raporunda belirtilmelidir. Ayrıca, kullanılan Çok Modlu İtme Yönteminde yapının farklı titreşim modları için belirlenen bağımsız sabit modal yük vektörlerinin binaya artımsal olarak uygulanması durumunda, oluşan modal iç kuvvetler oransal olarak birleştirilmeyecektir. Yönetmeliğe göre birleştirilmiş modal eleman uç yer değiştirmeleri ve akma dönmeleri ile benzer şekilde hesaplanacaktır.

6.8.2.3. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi

Deprem yükleri etkisi altında taşıyıcı sistemin hareket denklemlerinin, zaman artımları ile adım adım doğrudan integrasyonu yapılarak çözüldüğü yöntem, zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemidir. Doğrusal olmayan davranış sebebiyle sistem rijitlik matrisinin zamanla değişimi sonucu her bir zaman artımı esnasında kesitlerde oluşan plastik, elastik, şekil değiştirmeler ve iç kuvvetlerin maksimum değerleri hesaplanır. Böylece yapı elemanlardaki plastik dönmeler belirlenip, kesit hasar durumları tespit edilebilir. Gerçeğe en yakın davranışı kestirebilen bir hesap yöntemidir. Yönetmelikte ise $BYS=1$ yüksek binalar için bu yöntemin kullanımı zorunludur (TBDY, 2018).

7. MEVCUT BETONARME BİR YAPININ PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ İLE GÜÇLENDİRME SONRASI ANALİZ SONUÇLARININ DOĞRUSAL VE DOĞRUSAL OLMAYAN HESAP YÖNTEMLERİYLE KARŞILAŞTIRILMASI

7.1. Giriş

Bu çalışmada, 2007 Deprem Yönetmeliği'ne göre inşa edilmiş, İzmir' de bulunan bir yapı incelenmiştir. İnceleme kapsamında yapının TBDY 2018' de belirtilen hesap yöntemlerinden; doğrusal hesap yöntemi; mod birleştirme ve doğrusal olmayan hesap yöntemi; çok modlu itme yöntemi kullanılarak Sta4-CAD 14.1 versiyonu paket programıyla performans analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda yapının gerekli performans düzeylerini sağlamadığı tespit edilmiştir. Bu sebeple binanın mimari planı göz önüne alınarak ilave betonarme perde duvarlar ile güçlendirilmiş ve analizler tekrarlanmıştır. Yapının deprem etkisi altındaki davranışı ile taşıyıcı elemanlarda oluşan hasar durumları, binada kullanılan betonun elastisite modülünü Eurocode 2 ve TS 500 yönetmeliklerine göre farklı tasarımlanarak güçlendirme öncesi ve güçlendirme sonrası için her iki hesap yöntemi ile irdelenmiştir. Çalışmada iki farklı elastisite modülü üzerinden güçlendirme öncesi ve güçlendirme sonrası durumları doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleriyle kombine edilerek toplamda 8 çözüm yapılmıştır. Farklı yöntemlerle yapılan çözümlerin yapı analiz sonuçlarına olan etkisine dikkat çekilmiştir.

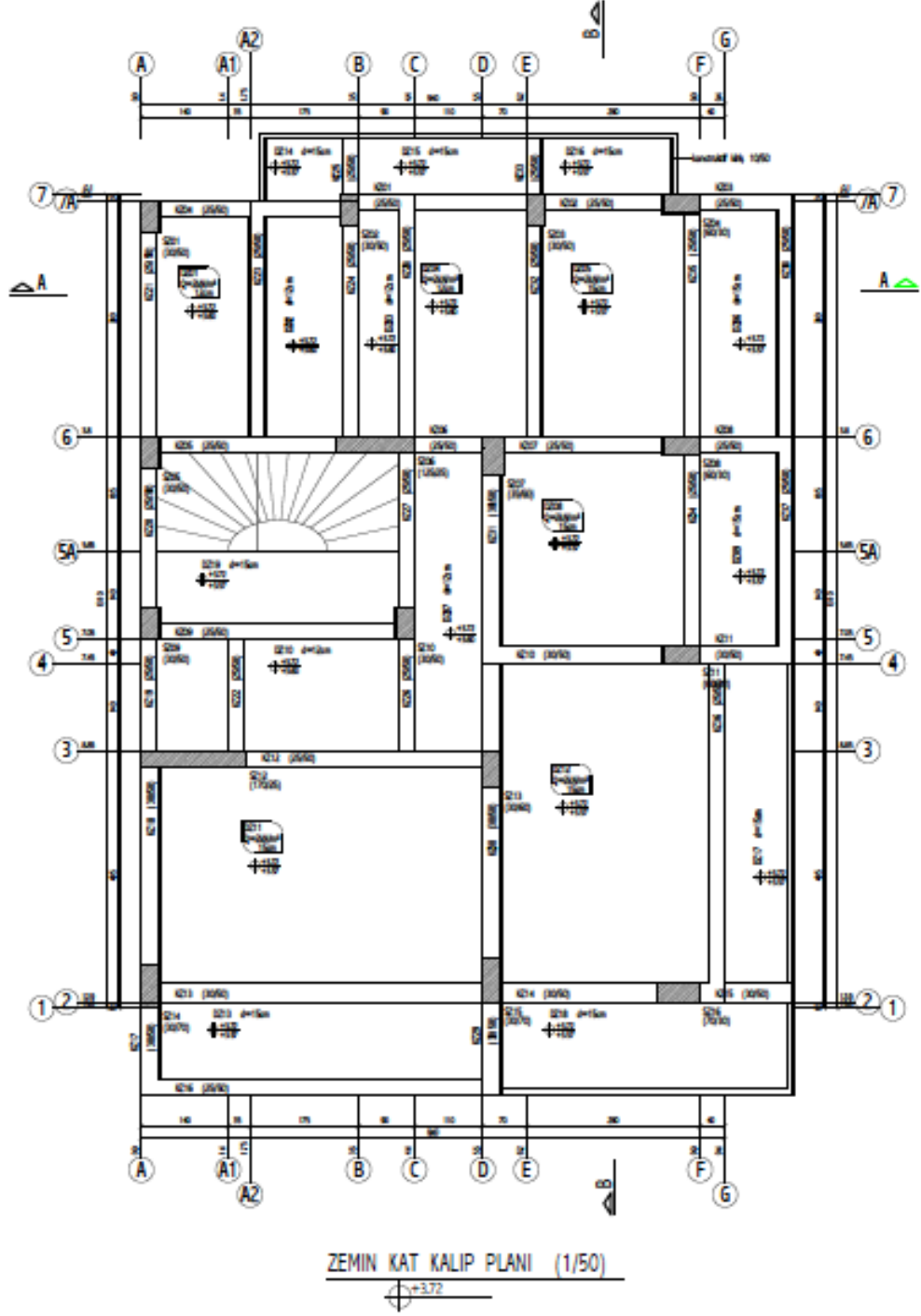
7.2. Binaya Ait Yapısal Bilgiler

7.2.1. Bina Hakkında Genel Bilgilendirme

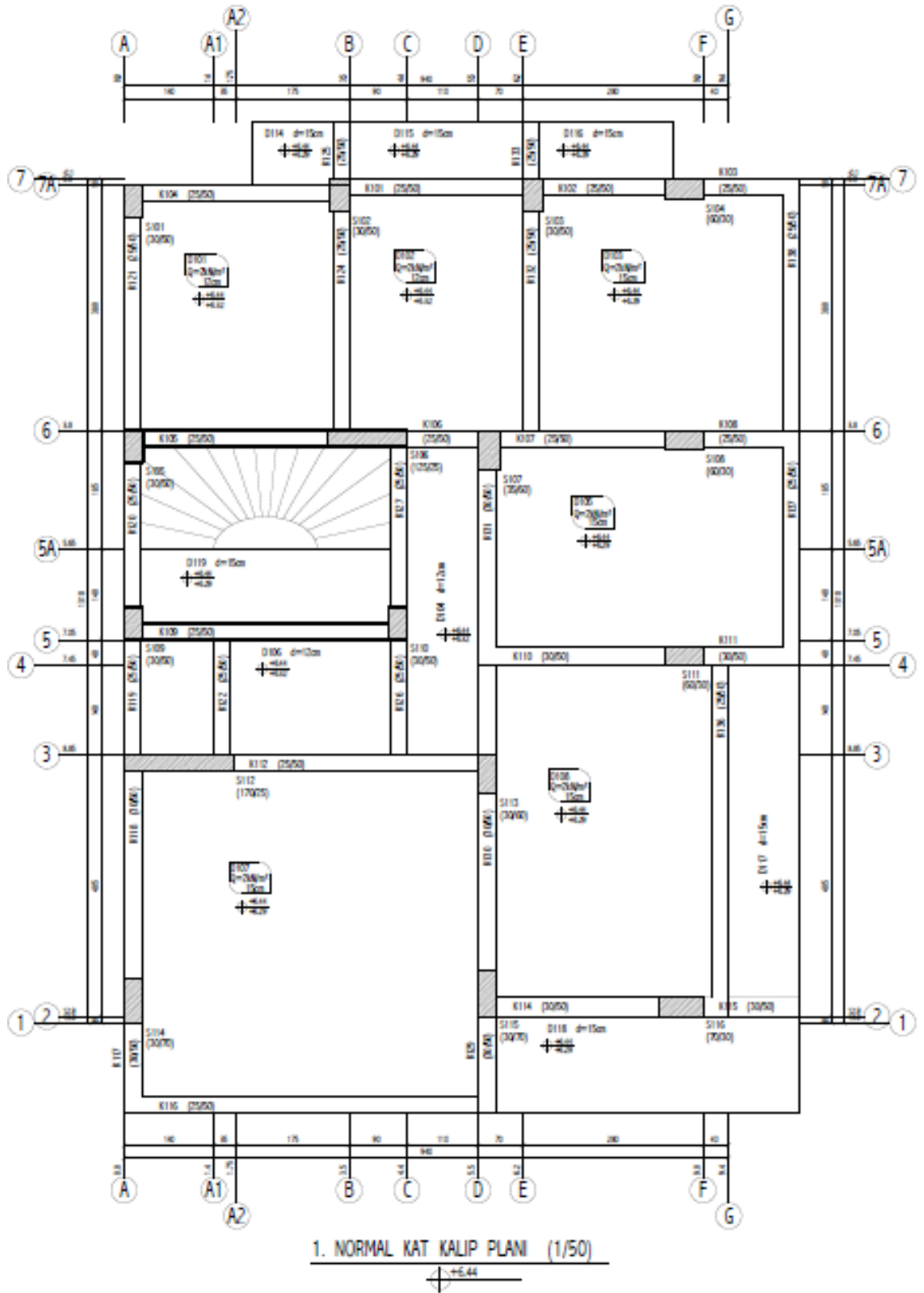
İzmir' de inşa edilen mevcut yapı 2.72 metre kat yüksekliğine sahiptir. 10 katlı binanın 1 metre subasmanla birlikte toplam bina yüksekliği 28.2 metredir. X yönünde 9 aks olup toplam uzunluk 10 metredir. Y yönünde ise 9 aks olup toplam uzunluk 15,40 metredir. Çerçeve kolonları birbirine bağlayan kirişler bütün katlarda 25/50 cm ve 30/50 cm boyutlarında, döşemeler ise binanın tüm katlarında 12cm ve 15cm olmak üzere iki farklı tipte dizayn edilmiştir.

Binadaki düşey taşıyıcı elemanların ebatları 6 adet 30/50, 4 adet 30/60, 1 adet 35/60, 3 adet 30/70, 1 adet 125/25 ve 1 adet 170/25 olmak üzere toplamda 16 adet olarak

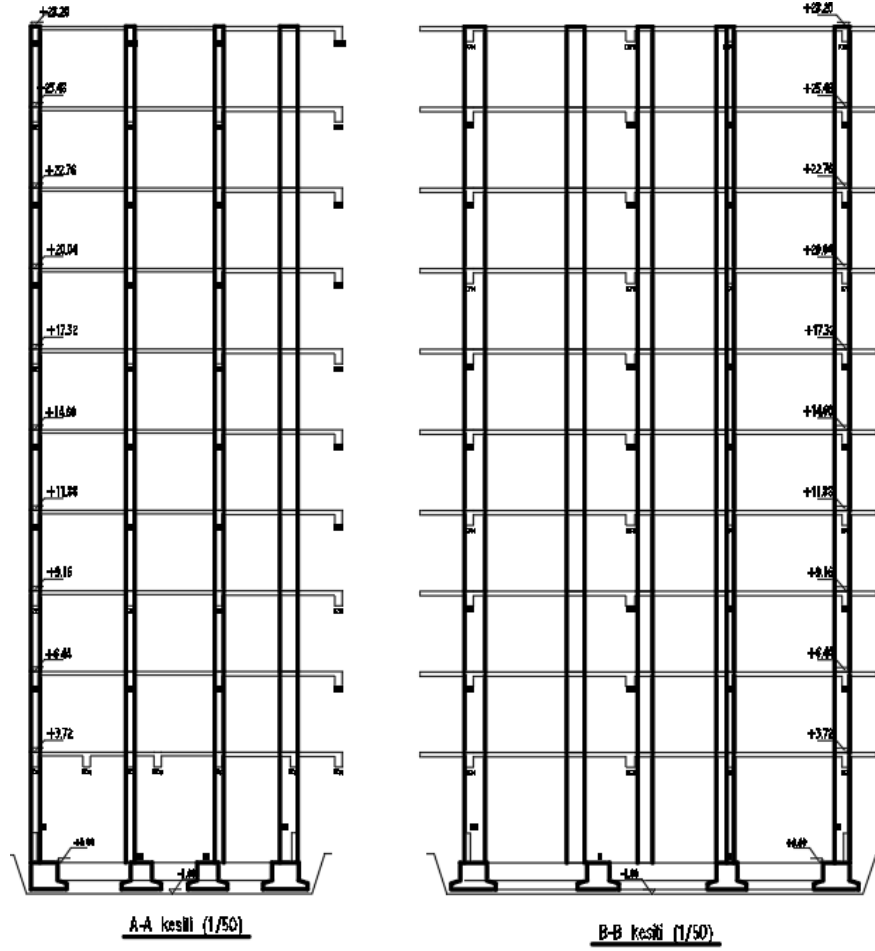
modellenmiş ve tüm katlarda taşıyıcı elemanlar aynı boyutlarda devam etmiştir. Mevcut binada düşey taşıyıcı elemanların kesit alanı toplamı 3,20 m²' dir. Şekil 78' de mevcut yapının zemin kat kalıp planı, Şekil 79' da mevcut yapının normal kat kalıp planı Şekil 81' de ise mevcut yapının üç boyutlu taşıyıcı sistem görünümü sunulmuştur.



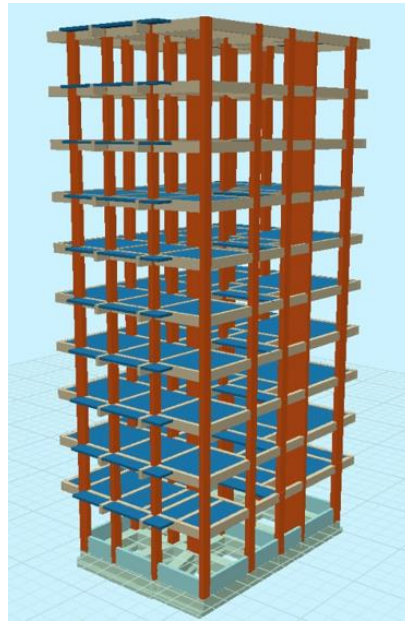
Şekil 78. Mevcut yapının zemin kat kalıp planı



Şekil 79. Mevcut yapının normal kat kalıp planı



Şekil 80. Mevcut yapının kesit görünüşleri



Şekil 81. Mevcut yapının üç boyutlu taşıyıcı sistem görünümü

7.2.2. Binaya Etkiyen Yükleler

Betonarme yapı elemanlarının zati ağırlıkları yazılım programlarına betonarmenin birim hacim ağırlığı 25 KN/m^3 alınarak analiz sırasında göz önüne alınması sağlanmıştır. Kat döşemelerindeki kaplama yükleri ve kat kirişlerindeki duvar yükleri aşağıdaki tabloda belirtilmiştir.

Tablo 4. Sabit ve hareketli yükler

Normal kat döşemeleri	G = 1.70 kN/m ² kaplama yükü Q = 2.00 kN/m ²
Çatı kat döşemeleri	G = 1.70 kN/m ² kaplama yükü Q = 2.00 kN/m ²
Normal kat kirişleri	G = 3.10 kN/m duvar yükü.
Çatı kat kirişleri	G = 0 duvar yükü yoktur

7.2.3. Taşıyıcı elemanların donatı düzenleri

Mevcut yapıda taşıyıcı eleman donatıları genellikle projesine uygun olacak sayıda düzenlenmiş olup donatı düzenleri kesit ve çapları belirtilerek aşağıdaki tablolarda sunulmuştur.

Tablo 5. Kolon kesit boyutları ve donatıları

Kolon Kesiti (cm)	Düşey Donatı	Yatay Donatı
30/50	10Ø14	Ø8/15/10
30/60	12Ø14	Ø8/15/10
35/60	14Ø14	Ø8/16/10
30/70	14Ø14	Ø8/15/10
125/25	22Ø14	Ø8/12/8
170/25	28Ø14	Ø8/8

Tablo 6. Kiriş kesit boyutları ve donatıları

Kiriş Kesiti (cm)	Montaj Donatısı	Gövde Donatısı	Düz Donatı	Yatay Donatı
25/50	2Ø12	2Ø12	2Ø12	Ø8/10/20
	2Ø12		2Ø12	
	2Ø12		3Ø12	
	2Ø12		2Ø16+1Ø12	
	2Ø12		4Ø16	
30/50	2Ø12	2Ø12	2Ø12	Ø8/10/20
	2Ø12		3Ø12	
	3Ø12		3Ø12	
	3Ø12		2Ø12	
	3Ø12		2Ø12	

7.2.4. Binaya Ait Parametreler

Mevcut yapının bulunduğu bölgeye ait deprem parametreleri, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı AFAD' ın internet sitesindeki web uygulamasından elde edilmiştir. Binanın deprem yer hareketi düzeyi, zemin bilgileri ve binanın konumu girilerek kısa periyot harita spektral ivme katsayısı, 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı, kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı ve 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı, en büyük yer ivmesi ve en büyük yer hızı değerleri, oluşturulan rapordan elde edilir. Yerel zemin sınıfı ZC ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyine karşılık gelen değerler rapora göre aşağıdaki gibidir;

$$S_S = 1.0523; S_1 = 0.2574$$

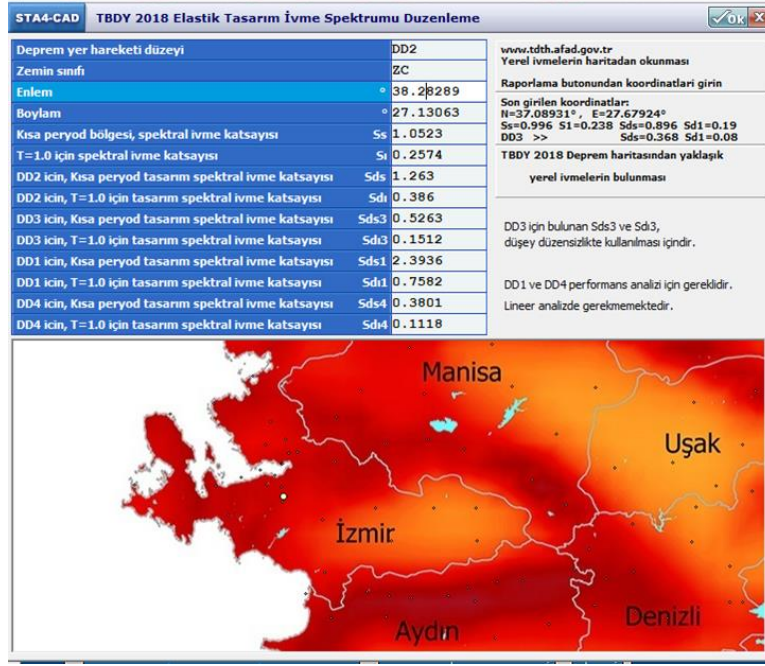
$$F_S = 1.200; F_1 = 1.500$$

$$S_{DS} = 1.263 (S_{DS} = S_S \times F_S); S_{D1} = 0.386 (S_{D1} = S_1 \times F_1)$$

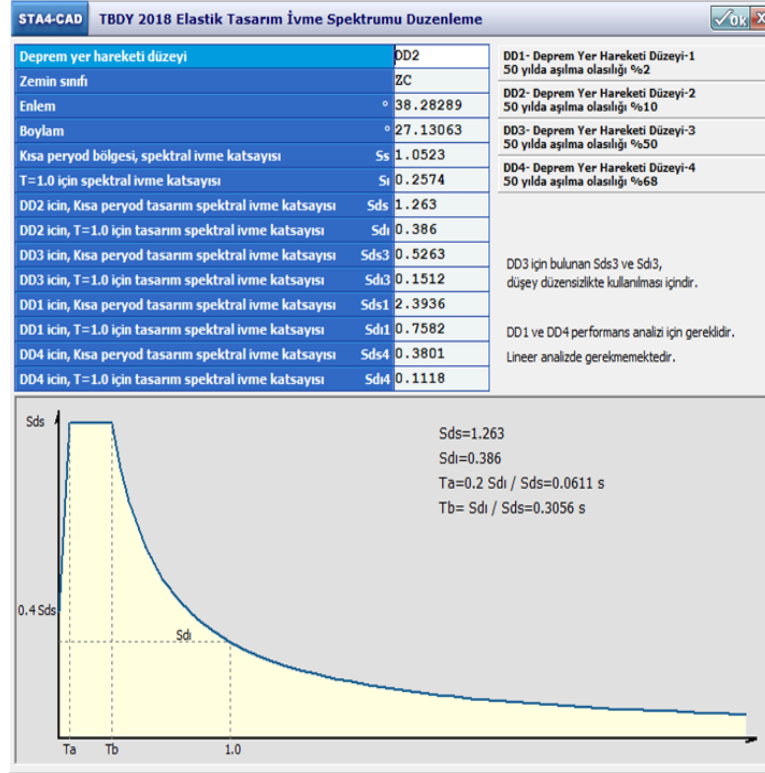
$$PGA = 0.432; PGV = 25.668$$

TBDY 2018' de binalar kullanım amaçlarına göre, yoğunluk ve depremden hemen sonra kullanım gibi gereklilikler doğrultusunda sınıflandırılmıştır. Bu bağlamda binalar çeşitli önem derecelerine göre deprem hesaplarında kullanılmak üzere bina önem katsayılarına tabi tutulurlar. TBDY 2018 Tablo 3.1' e göre yapı konut olarak kullanıldığı için BKS=3 (bina kullanım sınıfı) ve buna bağlı olarak bina önem katsayısı $I=1.0$ olarak alınmıştır. Alınan rapora göre ilgili zeminin SDS değeri 0.75 değerinin üzerindedir. Bu durumda TBDY 2018' de Tablo 3.2' ye göre Deprem Tasarım Sınıfı DTS=1 olarak alınmıştır. Ayrıca Tablo 3.3' de yer alan bina yükseklik sınıfları ve deprem tasarım sınıflarına göre tanımlanan Bina Yükseklik Sınıfı BYS=4 olarak alınmıştır. Yönetmelik Tablo 3.4 (c)' ye göre (mevcut yerinde dökme betonarme, ön üretimli betonarme ve çelik binalar – Yüksek binalar dışında, $BYS \geq 2$) yapının DD-2 deprem yer hareket düzeyine göre normal performans hedefinde kontrollü hasar (KH)' yi, değerlendirme/tasarım yaklaşımında şekil değiştirmeye göre tasarım yöntemi (ŞGDT)' yi kullanılarak sağlaması gerekmektedir. Binanın mevcut projelerinin bulunması ve yerinde yeterli bilgilerin temin edilmesi sonucu bilgi düzeyi kapsamlı olarak belirlenmiş ve bilgi düzeyi katsayı bir alınmıştır. Bilgi düzeyi katsayısının bir olmasından kaynaklı yapıdaki mevcut

malzemelerin dayanımlarında herhangi bir azaltma yapılmadan çözümlenmeler yapılmıştır.



Şekil 82. Deprem parametrelerinin programa tanımlanması



Şekil 83. Deprem parametrelerinin programa tanımlanması-2

YAPI GENEL BİLGİLERİ

Yapı Proje İsmi	602-3	
Kat Sayısı	10	
Spektral ivme Katsayısı (DD2)	Sds/Sd1	1.263/0.386
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı	Rx/Ry	8
Dayanım Fazlalığı Katsayısı	D	2.5
Deprem Yapı Önem Katsayısı	I	1
Hareketli Yük Katsayısı	n	0.3
Deprem Yüğü Alt Yüksekliği	Hx/Hy (m)	0
Zemin Yatak Katsayısı	Ko (t/m ³)	1000
Zemin Emniyet Gerilmesi	Gz (t/m ²)	10
Hareketli Yük Azaltma Katsayısı	Cz	1
Deprem Yüğü Eksantrisitisi		0
Modal Analiz Min. Yük Oranı	β	0.9
Üst Kat no (TDY için)		10
Aplikasyon Kot Farkı	(m)	0
Zemin gerilmesi deprem artırım oranı		0.5

YS. CERCEVE + YS. PERDE

GUÇLENDİRME PROJESİ DEPREM STANDARDI: TBDY2018 TASARIM STANDARDI: TS500t

UserKey

TBDY 2018 - YEREL İVME DEĞERLERİNİN BULUNMASI

Deprem tasarım sınıfı DTS = 1
Bina yükseklik sınıfı BYS = 4
Bina kullanım sınıfı BKS = 3

DD2 -
Normal Performans Hedefi : KH
Değerlendirme/Tasarım : ŞGDT

KH : Kontrollü Hasar
ŞGDT: Şekil Değiş. Göre Tasarım

Şekil 84. Yapı genel bilgilerinin programa tanımlanması

7.2.5. Malzeme modelleri

Kolonlardan veya perdelerden TS EN 12504-1' de belirtilen koşullara uygun şekilde zemin katta üç, diğer katlarda iki adetten az olmamak üzere ve binada toplam dokuz adetten az olmamak üzere, her 400 m²' de bir adet beton örneği alınması suretiyle yapılan testler sonucu beton karakteristik silindirik basınç dayanımı 20,4 MPa, kullanılan donatı sınıfı olarak da yapılan test ve numuneler sonucu S220 çeliği olduğu saptanmıştır.

Bu çalışmada mevcut binaya yapılacak ilave güçlendirme perde elemanlarında kullanılacak beton dizaynı C30, donatı sınıfı olarak ise S420 çeliği tanımlanacaktır. Analiz hesaplarında programa TS500 VE Eurocode 2 yönetmeliklerince beton elastisite modül hesabı ayrı ayrı yapılarak tanımlanacaktır.

7.2.5.1. TS500' e göre beton elastisite modülü hesabı

Beton elastisite modülünün bulunmasında TS 500 Bölüm 3.3.3.1. de bulunan elastisite modülü formülü kullanılmıştır. Bu formül;

$E_{cj} = 3250\sqrt{f_{ckj}} + 14000$ (MPa) denklemdir. Burada birimler MPa olarak girileceğinden 204 kg/cm^2 ve 300 kg/cm^2 dayanıma sahip betonun;

$$E_{cj} = 3250\sqrt{20,4} + 14000 = 28679 \text{ N/mm}^2 \text{ (MPa)}$$

$E_{cj} = 3250\sqrt{30} + 14000 = 31800 \text{ N/mm}^2$ (MPa) olarak hesaplanmış ve programa tanımlanacaktır.

7.2.5.2. Eurocode 2 (EN 1992-1-1:2004)' e göre beton elastisite modülü hesabı

Eurocode 2 (2004)' e göre beton elastisitesini bulmak için EN-1992-1-1, 3.1.2 tablo 3.1. deki formül kullanılmıştır. Bu formül;

$$E_{cm} = 22000 (f_{cm}/10)^{0.3}, (f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ MPa}) \text{ denklemdir.}$$

204 kg/cm^2 ve 300 kg/cm^2 dayanıma sahip betonun;

$$E_{cm} = 22000 ((20,4+8)/10)^{0.3} = 30092 \text{ N/mm}^2 \text{ (MPa)}$$

$E_{cm} = 22000 ((30+8)/10)^{0.3} = 32837 \text{ N/mm}^2$ (MPa) olarak hesaplanmış ve programa tanımlanmıştır.

7.3. Analizlerin Yapılması ve Sonuçların İrdelenmesi

Mevcut durumda yapı TS500' e göre beton elastisite modülü değeri tanımlanarak doğrusal hesap yöntemi; mod birleştirme ve doğrusal olmayan hesap yöntemi; çok modlu itme yöntemiyle ve Eurocode 2' ye göre beton elastisite modülü değeri tanımlanarak doğrusal hesap yöntemi; mod birleştirme ve doğrusal olmayan hesap yöntemi; çok modlu itme yöntemiyle 4 farklı kombinasyonda performans analizi yapılmıştır. Analizler sonucu tüm kombinasyonlarda kontrollü hasar performans düzeyi sağlanamamış binada göçme durumu gerçekleşmiştir. Bu durum programın sonuç raporları kısmında aşağıdaki şekillerdeki gibi gösterilmektedir.

DD2 YER HAREKETİ DÜZEYİNDE, BINA PERFORMANS SONUCU:
Göçme durumu, Kontrollü Hasar performansı sağlanamamıştır ✗
Plastiklesen kolon Vc oranı= $\%32.0 > \%30$ ✗
Kontrollü hasar performans bölgesi ✗

Kontrollü hasar bölgesi yeterlilik kontrolü:
Kiriş Hasar oranı=(IH= $\%36.8 > \%35$ ✗), (GB= $\%13.3 > \%0$ ✗)
Kolon Hasar oranı=(IH= $\%31.3 > \%20$ ✗), (GB= $\%65 > \%0$ ✗)
Ust kat Vc oranı=(IH= $\%0.0 \leq \%40$ ✓), (GB= $\%0$ ✓)
Plastiklesen kolon Vc oranı=(IH+GB= $\%32.0 > \%30$ ✗)

Şekil 85. Mevcut durumdaki yapının TS 500' e göre doğrusal hesap yöntemi ile bina performans sonucu

BINA PERFORMANS SONUCU:
Göçme durumu, Kontrollü Hasar performansı sağlanamamıştır ✗

Göçmenin önlenmesi durumu yeterlilik kontrolü:
Göçme bölgesi Kiriş Hasar oranı= $\%6.7 < \%20$ ✓
Kolon Vc oranı= $\%28.1 < \%40$ ✓
Ust kat Vc oranı= $\%0.0 < \%40$ ✓
Plastiklesen kolon Vc oranı= $\%0.0 < \%30$ ✓

Şekil 86. Mevcut durumdaki yapının TS 500' e göre doğrusal olmayan hesap yöntemi ile bina performans sonucu

DD2 YER HAREKETİ DÜZEYİNDE, BINA PERFORMANS SONUCU:
Göçme durumu, Kontrollü Hasar performansı sağlanamamıştır ✗
Kolon Vc oranı= $\%61.1 > \%30$ ✗
Kontrollü hasar performans bölgesi ✗

Kontrollü hasar bölgesi yeterlilik kontrolü:
Kiriş Hasar oranı=(IH= $\%36.8 > \%35$ ✗), (GB= $\%13.3 > \%0$ ✗)
Kolon Hasar oranı=(IH= $\%26.5 > \%20$ ✗), (GB= $\%61.1 > \%0$ ✗)
Ust kat Vc oranı=(IH= $\%0.0 \leq \%40$ ✓), (GB= $\%0$ ✓)
Plastiklesen kolon Vc oranı=(IH+GB= $\%26.2 \leq \%30$ ✓)

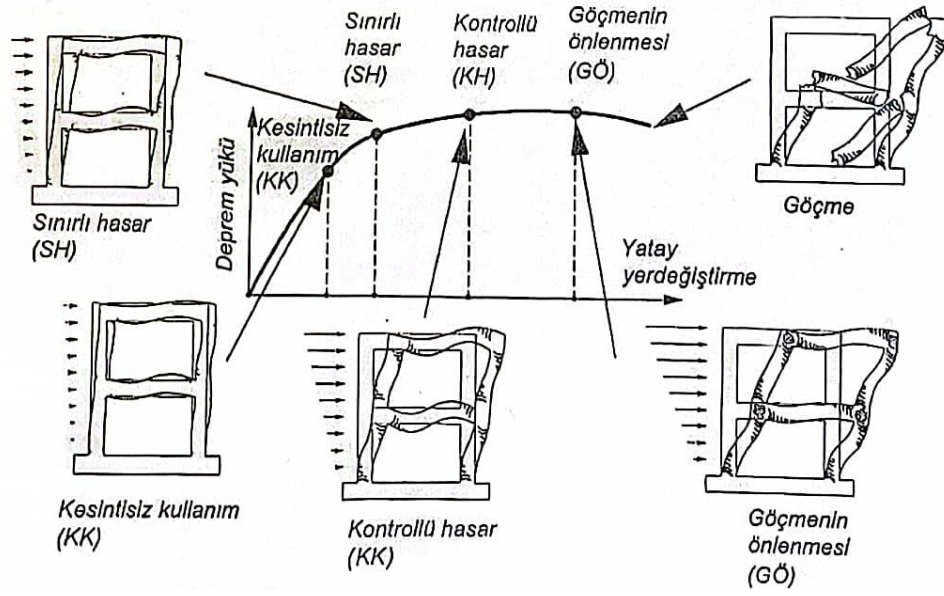
Şekil 87. Mevcut durumdaki yapının Eurocode 2' ye göre doğrusal hesap yöntemi ile bina performans sonucu

DD2 YER HAREKETİ DÜZEYİNDE, BINA PERFORMANS SONUCU:
Göçme durumu, Kontrollü Hasar performansı sağlanamamıştır ✗

Kontrollü hasar performans bölgesi ✗

Kontrollü hasar bölgesi yeterlilik kontrolü:
Kiriş Hasar oranı=(IH= $\%33.3 \leq \%35$ ✓), (GB= $\%13.3 > \%0$ ✗)
Kolon Hasar oranı=(IH= $\%25.2 > \%20$ ✗), (GB= $\%23 > \%0$ ✗)
Ust kat Vc oranı=(IH= $\%0.0 \leq \%40$ ✓), (GB= $\%0$ ✓)
Plastiklesen kolon Vc oranı=(IH+GB= $\%25.2 \leq \%30$ ✓)

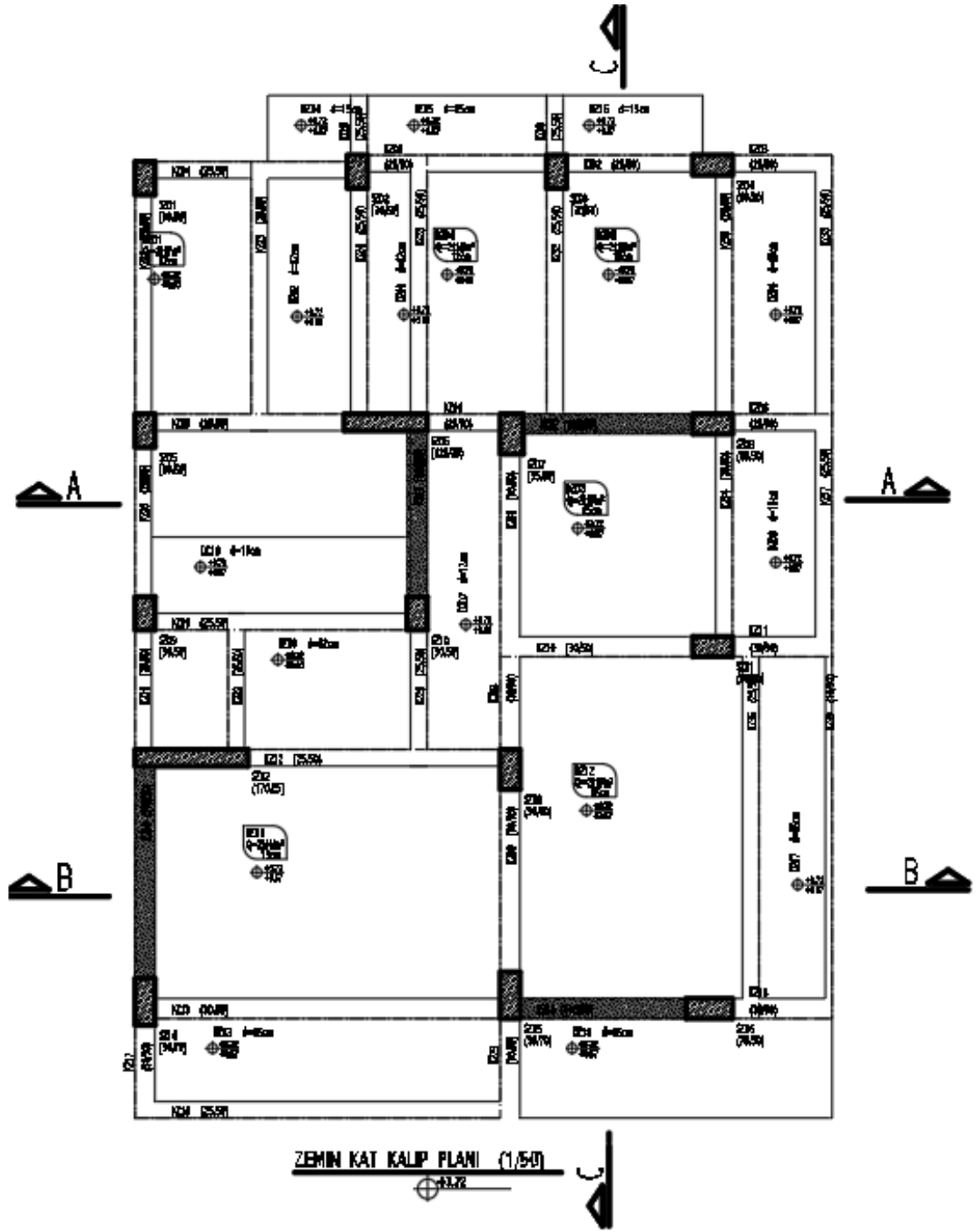
Şekil 88. Mevcut durumdaki yapının Eurocode 2' ye göre doğrusal olmayan hesap yöntemi ile bina performans sonucu



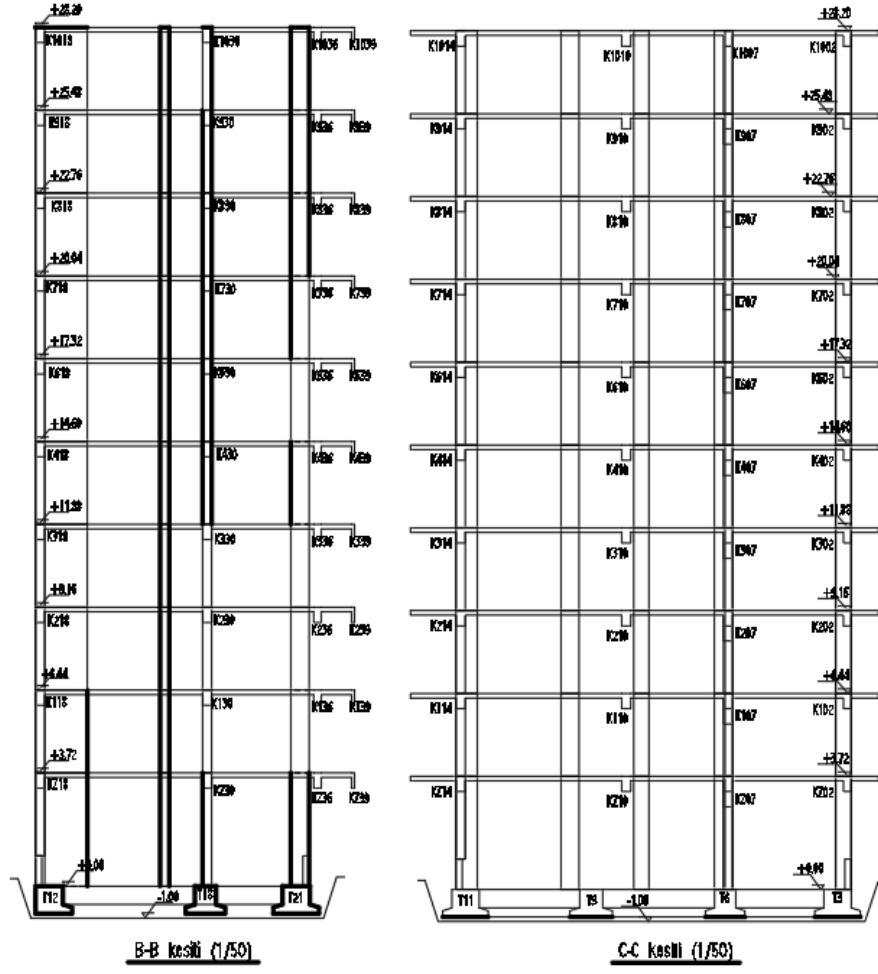
Şekil 89. Taşıyıcı sistem (bina) performans düzeyleri

(Kaynak: Celep, 2018)

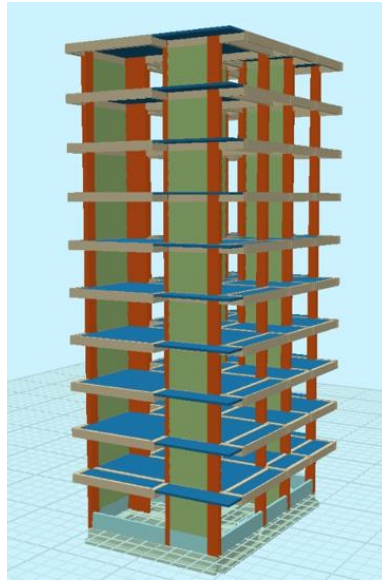
Betonarme perdelerle güçlendirme metodu, rijitliği ve dayanımı yetersiz binalarda ve çok sayıda taşıyıcı eleman güçlendirilmesi gereken durumlarda, ekonomik sebeplerden kaynaklı sıkça tercih edilir. Bu sebeple kontrollü hasar performansını sağlamayan yapının ilave perde duvarlarla güçlendirilmesine karar verilmiş olup mevcut yapıdaki mimari proje dikkate alınarak yapıya x yönünde 1 adet 2,50/0,30 mt, 1 adet 2,55/0,30 mt ilave perde eleman, y yönünde ise 1 adet 3,20/0,30 mt, 1 adet 2,50/0,30 mt ölçülerinde ilave betonarme perde elemanlar zemin kattan son kata kadar devam ettirilmesi suretiyle yapı güçlendirilmiş ve analizler aynı şekilde tekrarlanmıştır. Mevcut yapıdaki düşey taşıyıcı elemanların kesit alanı toplamı 3,20 m² iken ilave perde elemanların eklenmesiyle düşey elemanların toplam kesit alanı 6,41 m² ye çıkartılmıştır. Yapı alanının (158 m²), düşey elemanlara oranı 4,05 olarak hesaplanmaktadır.



Şekil 90. Güçlendirilmiş binanın zemin katı kalıp planı



Şekil 91. Güçlendirilmiş yapının kesit görünüşleri



Şekil 92. Güçlendirilmiş binanın üç boyutlu taşıyıcı sistem görünümü

Güçlendirme sonrası yapılan tüm analizlerde bina kontrollü hasar performansını sağlamıştır. Bu durum programın sonuç raporları kısmında aşağıdaki gibi gösterilmektedir.

```
DD2 YER HAREKETİ DÜZEYİNDE, BINA PERFORMANS SONUCU:
Kontrollü Hasar performansı sağlanmıştır ✓

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 93. Güçlendirilmiş yapının TS 500' e göre doğrusal hesap yöntemi ile bina performans sonucu

```
BINA PERFORMANS SONUCU:

Kontrollü hasar performans bölgesi durumu, DD2 ileri performans hedefi sağlanmıştır.

Kontrollü hasar performans 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 94. Güçlendirilmiş binanın TS 500' e göre doğrusal olmayan hesap yöntemi ile bina performans sonucu

```
DD2 YER HAREKETİ DÜZEYİNDE, BINA PERFORMANS SONUCU:
Kontrollü Hasar performansı sağlanmıştır ✓

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 95. Güçlendirilmiş binanın Eurocode 2' ye göre doğrusal hesap yöntemi ile bina performans sonucu

```
BINA PERFORMANS SONUCU:

Kontrollü hasar performans bölgesi durumu, DD2 ileri performans hedefi sağlanmıştır.

Kontrollü hasar performans 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 96. Güçlendirilmiş binanın Eurocode 2' ye göre doğrusal olmayan hesap yöntemi ile bina performans sonucu

Analiz sonuçlarına göre eleman hasar bölgelerinin yönetmeliğin deprem performansının belirlenmesi koşullarına göre değerlendirilmesinde 50 yılda aşılma olasılığı %10 ve tekrarlanma periyodu 475 yıl olan DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde güçlendirilmiş binanın kontrollü hasar performans düzeyini sağladığı görülmüştür.

Mevcut yapı ve ilave betonarme perde elemanlarla güçlendirilmiş yapı, doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemler kullanılarak TS500 ve Eurocode 2 standartları beton elastisite modül değerleri baz alınarak toplamda 8 adet analize tabi tutulmuştur. Analiz sonucunda; yapının deprem etkisi altındaki davranışı ile taşıyıcı elemanlarda oluşan kiriş ve kolon elemanların hasar durumları, görelî kat ötelemeleri, kat deprem deplasmanlarının kıyaslanması, deprem perdeleri taban moment kontrolü, yapı periyod ve vektörleri karşılaştırılması gibi durumlar irdelenerek tablo ve grafiklerle farklı açılardan kıyaslanmıştır. Kıyaslamalarda tezin asıl konusu olan doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlerle yapılan çözümlerin analiz sonuçlarına olan etkisine dikkat çekilmiştir.

7.3.1. Kiriş hasar yüzdeleri

TS 500 beton elastisite modülüne göre mevcut yapı ve güçlendirilmiş yapının doğrusal hesap yöntemi ve doğrusal olmayan hesap yöntemiyle yapılan analizlerdeki kiriş hasar yüzdesel dağılım değerleri Tablo 7’ de verilmiştir.

Tablo 7. TS 500 standartına göre tüm durumlar için kiriş hasarı yüzdesel dağılımları (%)

Yöntem	Kat No	(-X)				(X)				(-Y)				(Y)			
		SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB
Mevcut Yapı Doğrusal Yöntem	10	20,0	80,0	0,0	0,0	20,0	80,0	0,0	0,0	63,2	36,8	0,0	0,0	63,2	36,8	0,0	0,0
	9	13,3	86,7	0,0	0,0	13,3	86,7	0,0	0,0	31,6	68,4	0,0	0,0	31,6	68,4	0,0	0,0
	8	13,3	73,3	13,3	0,0	13,3	73,3	13,3	0,0	21,1	78,9	0,0	0,0	21,1	78,9	0,0	0,0
	7	6,7	73,3	20,0	0,0	6,7	73,3	20,0	0,0	21,1	68,4	10,5	0,0	21,1	68,4	10,5	0,0
	6	6,7	60,0	20,0	13,3	6,7	60,0	20,0	13,3	21,1	52,6	26,3	0,0	21,1	52,6	26,3	0,0
	5	6,7	60,0	20,0	13,3	6,7	60,0	20,0	13,3	21,1	52,6	26,3	0,0	21,1	52,6	26,3	0,0
	4	6,7	60,0	20,0	13,3	6,7	60,0	20,0	13,3	21,1	42,1	36,8	0,0	21,1	42,1	36,8	0,0
	3	6,7	60,0	20,0	13,3	6,7	60,0	20,0	13,3	21,1	42,1	26,3	10,5	21,1	42,1	26,3	10,5
	2	6,7	60,0	20,0	13,3	6,7	60,0	20,0	13,3	21,1	42,1	36,8	0,0	21,1	42,1	36,8	0,0
	1	6,3	75,0	18,8	0,0	6,3	75,0	18,8	0,0	17,4	52,2	30,4	0,0	17,4	52,2	30,4	0,0
	MAX.		86,7		13,3					63,2		36,8					
M. Yapı D. Olmayan Yöntem	10	40,0	46,7	13,3	0,0	40,0	46,7	13,3	0,0	68,4	31,6	0,0	0,0	68,4	31,6	0,0	0,0
	9	26,7	60,0	13,3	0,0	26,7	60,0	13,3	0,0	68,4	31,6	0,0	0,0	68,4	31,6	0,0	0,0
	8	26,7	60,0	6,7	6,7	26,7	60,0	6,7	6,7	63,2	36,8	0,0	0,0	63,2	36,8	0,0	0,0
	7	26,7	60,0	6,7	6,7	26,7	60,0	6,7	6,7	47,4	42,1	10,5	0,0	47,4	52,6	10,5	0,0
	6	26,7	53,3	13,3	6,7	26,7	53,3	13,3	6,7	42,1	42,1	15,8	0,0	42,1	42,1	15,8	0,0

	5	26,7	53,3	13,3	6,7	26,7	53,3	13,3	6,7	42,1	42,1	15,8	0,0	42,1	42,1	15,8	0,0
	4	26,7	53,3	13,3	6,7	26,7	53,3	13,3	6,7	42,1	42,1	15,8	0,0	42,1	42,1	15,8	0,0
	3	26,7	60,0	6,7	6,7	26,7	60,0	13,3	0,0	42,1	42,1	15,8	0,0	42,1	42,1	15,8	0,0
	2	26,7	66,7	6,7	0,0	26,7	66,7	6,7	0,0	42,1	57,9	0,0	0,0	42,1	57,9	0,0	0,0
	1	31,3	68,8	0,0	0,0	31,3	68,8	0,0	0,0	56,5	43,5	0,0	0,0	56,5	43,5	0,0	0,0
	MAX.		68,8		6,7					68,4		15,8					
Güçlendirilmiş Yapı Doğrusal Yöntem	10	20,0	80,0	0,0	0,0	20,0	80,0	0,0	0,0	47,4	52,6	0,0	0,0	47,4	52,6	0,0	0,0
	9	13,3	86,7	0,0	0,0	13,3	86,7	0,0	0,0	47,4	52,6	0,0	0,0	47,4	52,6	0,0	0,0
	8	13,3	86,7	0,0	0,0	13,3	86,7	0,0	0,0	47,4	52,6	0,0	0,0	47,4	52,6	0,0	0,0
	7	13,3	86,7	0,0	0,0	13,3	86,7	0,0	0,0	42,1	57,9	0,0	0,0	42,1	57,9	0,0	0,0
	6	13,3	86,7	0,0	0,0	13,3	86,7	0,0	0,0	47,4	52,6	0,0	0,0	47,4	52,6	0,0	0,0
	5	13,3	86,7	0,0	0,0	13,3	86,7	0,0	0,0	47,4	52,6	0,0	0,0	47,4	52,6	0,0	0,0
	4	13,3	86,7	0,0	0,0	13,3	86,7	0,0	0,0	47,4	52,6	0,0	0,0	47,4	52,6	0,0	0,0
	3	13,3	86,7	0,0	0,0	13,3	86,7	0,0	0,0	52,6	47,4	0,0	0,0	52,6	47,4	0,0	0,0
	2	20,0	80,0	0,0	0,0	20,0	80,0	0,0	0,0	52,6	47,4	0,0	0,0	52,6	47,4	0,0	0,0
	1	81,3	18,8	0,0	0,0	81,3	18,8	0,0	0,0	75,0	25,0	0,0	0,0	75,0	25,0	0,0	0,0
	MAX.	81,3	86,7														
Güçlendirilmiş Yapı Doğrusal Olmayan Yöntem	10	53,3	46,7	0,0	0,0	53,3	46,7	0,0	0,0	57,9	42,1	0,0	0,0	57,9	42,1	0,0	0,0
	9	46,7	53,3	0,0	0,0	46,7	53,3	0,0	0,0	52,6	47,4	0,0	0,0	52,6	47,4	0,0	0,0
	8	46,7	53,3	0,0	0,0	46,7	53,3	0,0	0,0	52,6	47,4	0,0	0,0	52,6	47,4	0,0	0,0
	7	46,7	53,3	0,0	0,0	46,7	53,3	0,0	0,0	52,6	47,4	0,0	0,0	52,6	47,4	0,0	0,0
	6	46,7	53,3	0,0	0,0	46,7	53,3	0,0	0,0	52,6	47,4	0,0	0,0	52,6	47,4	0,0	0,0
	5	46,7	53,3	0,0	0,0	46,7	53,3	0,0	0,0	52,6	47,4	0,0	0,0	52,6	47,4	0,0	0,0
	4	46,7	53,3	0,0	0,0	46,7	53,3	0,0	0,0	52,6	47,4	0,0	0,0	52,6	47,4	0,0	0,0
	3	33,3	66,7	0,0	0,0	33,3	66,7	0,0	0,0	73,7	26,3	0,0	0,0	73,7	26,3	0,0	0,0
	2	40,0	60,0	0,0	0,0	40,0	60,0	0,0	0,0	73,7	26,3	0,0	0,0	73,7	26,3	0,0	0,0
	1	93,8	6,3	0,0	0,0	93,8	6,3	0,0	0,0	75,0	25,0	0,0	0,0	75,0	25,0	0,0	0,0
	MAX.	93,8	66,7														

TS 500 standartında tüm durumlar için yapılan analizlere göre kiriş hasarı yüzdesel dağılımları yukarıdaki tablo değerlerinden görüleceği üzere hem X hem de Y doğrultusundaki deprem etkileri sonucu kirişlerde oluşan hasar bölgelerinin mevcut durumdaki yapıda her iki yönde ileri hasar ve göçme bölgesinde kiriş elemanı bulunduğu bu şekilde yönetmeliğin verdiği sınır değerleri aştığı görülmektedir. Betonarme perdelerle güçlendirilmiş yapıdaki doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemlerinden elde edilen analiz sonucuna göre her iki yönde bütün kirişlerin sınırlı hasar ve belirgin hasar bölgesinde kalmasıyla kontrollü hasar performans düzeyini sağlayarak yönetmeliğin verdiği sınır içinde kaldığı görülmektedir.

Eurocode 2 beton elastisite modülüne göre mevcut yapının ve ilave betonarme perde elemanlarla güçlendirilmiş yapının doğrusal hesap yöntemi; mod birleştirme ve doğrusal olmayan hesap yöntemi; çok modlu itme yöntemiyle yapılan analizlerdeki kiriş hasar yüzdesel dağılım değerleri Tablo 8' de verilmiştir.

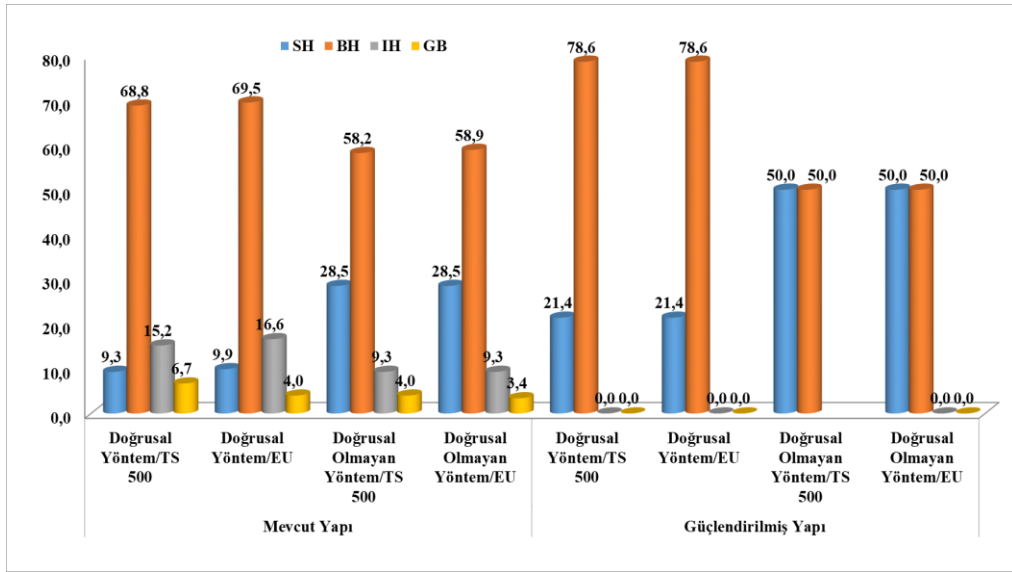
Tablo 8. Eurocode 2 standartına göre tüm durumlar için kiriş hasarı yüzdesel dağılımları (%)

Yöntem	Kat No	(-X)				(+X)				(-Y)				(+Y)			
		SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB
Mevcut Yapı Doğrusal Yöntem	10	20,0	80,0	0,0	0,0	20,0	80,0	0,0	0,0	63,2	36,8	0,0	0,0	63,2	36,8	0,0	0,0
	9	13,3	86,7	0,0	0,0	13,3	86,7	0,0	0,0	36,8	63,2	0,0	0,0	36,8	63,2	0,0	0,0
	8	13,3	73,3	13,3	0,0	13,3	73,3	13,3	0,0	21,1	78,9	0,0	0,0	21,1	78,9	0,0	0,0
	7	6,7	73,3	20,0	0,0	6,7	73,3	20,0	0,0	21,1	78,9	0,0	0,0	21,1	78,9	0,0	0,0
	6	6,7	66,7	26,7	0,0	6,7	66,7	26,7	0,0	21,1	52,6	26,3	0,0	21,1	52,6	26,3	0,0
	5	6,7	60,0	20,0	13,3	6,7	60,0	20,0	13,3	21,1	52,6	26,3	0,0	21,1	52,6	26,3	0,0
	4	6,7	60,0	20,0	13,3	6,7	60,0	20,0	13,3	21,1	52,6	26,3	0,0	21,1	52,6	26,3	0,0
	3	6,7	60,0	20,0	13,3	6,7	60,0	20,0	13,3	21,1	42,1	36,8	0,0	21,1	42,1	36,8	0,0
	2	6,7	60,0	33,3	0,0	6,7	60,0	33,3	0,0	21,1	42,1	36,8	0,0	21,1	42,1	36,8	0,0
	1	12,5	75,0	12,5	0,0	12,5	75,0	12,5	0,0	17,4	60,9	21,7	0,0	17,4	60,9	21,7	0,0
	MAX.			86,7		13,3					63,2		36,8				
Mevcut Yapı Doğrusal Olmayan Yöntem	10	20,0	80,0	0,0	0,0	20,0	80,0	0,0	0,0	63,2	36,8	0,0	0,0	63,2	36,8	0,0	0,0
	9	13,3	86,7	0,0	0,0	13,3	86,7	0,0	0,0	42,1	57,9	0,0	0,0	42,1	57,9	0,0	0,0
	8	13,3	73,3	13,3	0,0	13,3	73,3	13,3	0,0	26,3	73,7	0,0	0,0	26,3	73,7	0,0	0,0
	7	6,7	73,3	20,0	0,0	6,7	73,3	20,0	0,0	21,1	78,9	0,0	0,0	21,1	78,9	0,0	0,0
	6	6,7	73,3	20,0	0,0	6,7	73,3	20,0	0,0	21,1	57,9	21,1	0,0	21,1	57,9	21,1	0,0
	5	6,7	60,0	26,7	6,7	6,7	60,0	26,7	6,7	21,1	52,6	26,3	0,0	21,1	52,6	26,3	0,0
	4	6,7	60,0	20,0	13,3	6,7	60,0	20,0	13,3	21,1	52,6	26,3	0,0	21,1	52,6	26,3	0,0
	3	6,7	60,0	20,0	13,3	6,7	60,0	20,0	13,3	21,1	52,6	26,3	0,0	21,1	52,6	26,3	0,0
	2	6,7	60,0	33,3	0,0	6,7	60,0	33,3	0,0	21,1	52,6	26,3	0,0	21,1	52,6	26,3	0,0
	1	12,5	75,0	12,5	0,0	12,5	75,0	12,5	0,0	17,4	60,9	21,7	0,0	17,4	60,9	21,7	0,0
	MAX.			86,7	33,3	13,3					63,2						
Güçlendirilmiş Yapı Doğrusal Yöntem	10	20,0	80,0	0,0	0,0	20,0	80,0	0,0	0,0	52,6	47,4	0,0	0,0	52,6	47,4	0,0	0,0
	9	13,3	86,7	0,0	0,0	13,3	86,7	0,0	0,0	47,4	52,6	0,0	0,0	47,4	52,6	0,0	0,0
	8	13,3	86,7	0,0	0,0	13,3	86,7	0,0	0,0	47,4	52,6	0,0	0,0	47,4	52,6	0,0	0,0
	7	13,3	86,7	0,0	0,0	13,3	86,7	0,0	0,0	47,4	52,6	0,0	0,0	47,4	52,6	0,0	0,0
	6	13,3	86,7	0,0	0,0	13,3	86,7	0,0	0,0	47,4	52,6	0,0	0,0	47,4	52,6	0,0	0,0
	5	13,3	86,7	0,0	0,0	13,3	86,7	0,0	0,0	47,4	52,6	0,0	0,0	47,4	52,6	0,0	0,0
	4	13,3	86,7	0,0	0,0	13,3	86,7	0,0	0,0	47,4	52,6	0,0	0,0	47,4	52,6	0,0	0,0
	3	13,3	86,7	0,0	0,0	13,3	86,7	0,0	0,0	52,6	47,4	0,0	0,0	52,6	47,4	0,0	0,0
	2	20,0	80,0	0,0	0,0	20,0	80,0	0,0	0,0	52,6	47,4	0,0	0,0	52,6	47,4	0,0	0,0
	1	81,3	18,8	0,0	0,0	81,3	18,8	0,0	0,0	75,0	25,0	0,0	0,0	75,0	25,0	0,0	0,0
	MAX.		81,3	86,7													
Güçlendirilmiş Yapı Doğrusal Olmayan Yöntem	10	53,3	46,7	0,0	0,0	53,3	46,7	0,0	0,0	57,9	42,1	0,0	0,0	57,9	42,1	0,0	0,0
	9	46,7	53,3	0,0	0,0	46,7	53,3	0,0	0,0	52,6	47,4	0,0	0,0	52,6	47,4	0,0	0,0
	8	46,7	53,3	0,0	0,0	46,7	53,3	0,0	0,0	52,6	47,4	0,0	0,0	52,6	47,4	0,0	0,0
	7	46,7	53,3	0,0	0,0	46,7	53,3	0,0	0,0	52,6	47,4	0,0	0,0	52,6	47,4	0,0	0,0
	6	46,7	53,3	0,0	0,0	46,7	53,3	0,0	0,0	52,6	47,4	0,0	0,0	52,6	47,4	0,0	0,0
	5	46,7	53,3	0,0	0,0	46,7	53,3	0,0	0,0	52,6	47,4	0,0	0,0	52,6	47,4	0,0	0,0
	4	46,7	53,3	0,0	0,0	46,7	53,3	0,0	0,0	52,6	47,4	0,0	0,0	52,6	47,4	0,0	0,0
	3	33,3	66,7	0,0	0,0	33,3	66,7	0,0	0,0	73,7	26,3	0,0	0,0	73,7	26,3	0,0	0,0
	2	40,0	60,0	0,0	0,0	40,0	60,0	0,0	0,0	73,7	26,3	0,0	0,0	73,7	26,3	0,0	0,0
	1	93,8	6,3	0,0	0,0	93,8	6,3	0,0	0,0	75,0	25,0	0,0	0,0	75,0	25,0	0,0	0,0
	MAX.		93,8	66,7													

Eurocode 2 standartında tüm durumlar için yapılan analizlere göre kiriş hasarı yüzdesel dağılımları yukarıdaki tablo değerlerinden görüleceği üzere hem X hem de Y doğrultusundaki deprem etkileri sonucu kirişlerde oluşan hasar bölgelerinin mevcut durumdaki yapıda her iki yönde ileri hasar ve göçme bölgesinde kiriş elemanı bulunduğu bu şekilde yönetmeliğin verdiği sınır değerleri aştığı görülmektedir. Betonarme perdelerle güçlendirilmiş yapıdaki doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemlerinden elde edilen

analiz sonucuna göre ise her iki yönde bütün kirişlerin sınırlı hasar ve belirgin hasar bölgesinde kalmasıyla kontrollü hasar performans düzeyini sağlayarak yönetmeliğin verdiği sınır içinde kaldığı görülmektedir.

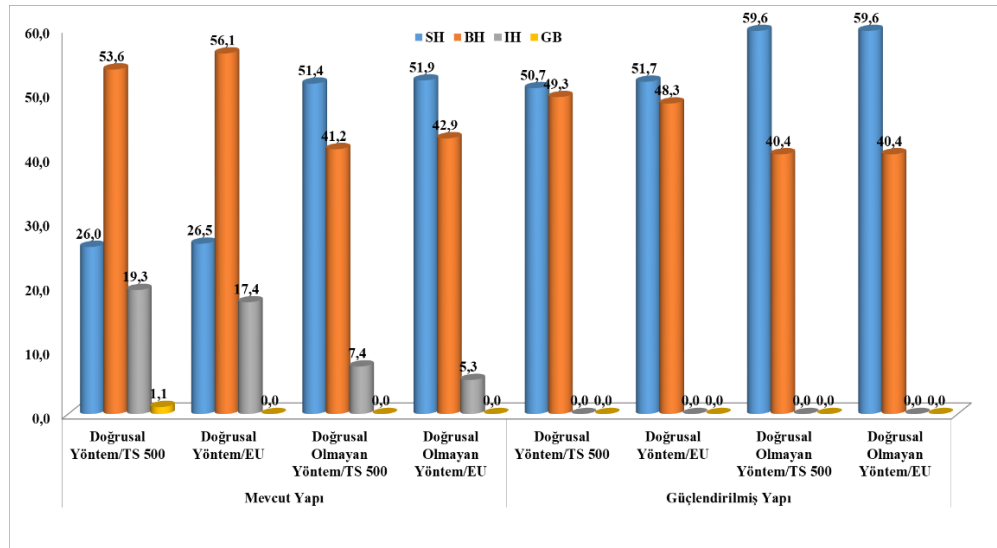
Binanın tüm katlarında x yönünde toplam 151 kiriş, y yönünde toplam 194 kiriş olmak üzere, yapıda toplam 345 kiriş mevcuttur. Analizler sonucu yapıdaki tüm kiriş elemanlarının hasar bölgelerine oranla kıyaslanması Şekil 97 ve Şekil 98’ da grafik olarak sunulmuştur.



Şekil 97. Tüm durumlar için X yönünde kiriş hasarı yüzdesel dağılımlarının kıyaslanması (%)

Yukarıdaki grafiğe göre mevcut durumda bulunan yapıdaki 345 adet kirişin X yönünde kiriş hasarı yüzdesel dağılımlarını kıyaslanması sonucu; TS 500 standardı mevcut yapı doğrusal yöntemde kirişlerin %9,30’ u sınırlı hasar bölgesinde, %68,80’ i belirgin hasar bölgesinde, %15,20’ si ileri hasar bölgesinde, %6,70’ i göçme bölgesinde bulunmaktadır. Eurocode 2 standardı mevcut yapı doğrusal yöntemde kirişlerin %9,90’ ı sınırlı hasar bölgesinde, %69,50’ si belirgin hasar bölgesinde, %16,60’ ı ileri hasar bölgesinde, %4’ ü göçme bölgesinde bulunmaktadır. TS 500 standardı mevcut yapı doğrusal olmayan yöntemde kirişlerin %28,50’ si sınırlı hasar bölgesinde, %58,20’ si belirgin hasar bölgesinde, %9,30’ u ileri hasar bölgesinde, %4’ ü göçme bölgesinde bulunmaktadır. Eurocode 2 standardı mevcut yapı doğrusal olmayan yöntemde kirişlerin %28,50’ si sınırlı hasar bölgesinde, %58,90’ ı belirgin hasar bölgesinde, %9,30’ u ileri hasar bölgesinde,

%3,4' ü göçme bölgesinde bulunmaktadır. Güçlendirilmiş durumda bulunan yapıdaki 345 adet kirişin X yönünde kiriş hasarı yüzdesel dağılımlarını kıyaslanması sonucu ise; TS 500 standartı güçlendirilmiş yapı doğrusal yöntem ve Eurocode 2 standartı güçlendirilmiş yapı doğrusal yöntemdeki kirişlerin %21,40' ı sınırlı hasar bölgesinde, %78,60' ı belirgin hasar bölgesinde bulunmakta, ileri ve göçme bölgesinde kiriş elemanı bulunmamaktadır. TS 500 standartı güçlendirilmiş yapı doğrusal olmayan yöntem ve Eurocode 2 standartı güçlendirilmiş yapı doğrusal olmayan yöntemdeki kirişlerin %50' si sınırlı hasar bölgesinde, %50' si belirgin hasar bölgesinde bulunmakta, ileri ve göçme bölgesinde kiriş elemanı bulunmamaktadır. X yönündeki grafiğe göre mevcut yapı ve güçlendirilmiş yapıdaki tüm analizler incelendiğinde doğrusal olmayan yöntemdeki kiriş hasar yüzdeleri doğrusal yöntemlerdeki kiriş hasar yüzdelerine oranla hasar oranının daha düşük olduğu gözükmektedir.



Şekil 98. Tüm durumlar için Y yönünde kiriş hasarı yüzdesel dağılımlarının kıyaslanması (%)

Yukarıdaki grafiklerde mevcut durumda bulunan yapıdaki 345 adet kirişin Y yönünde kiriş hasarı yüzdesel dağılımlarını kıyaslanması sonucu; TS 500 standartı mevcut yapı doğrusal yöntemde kirişlerin %26,00' ı sınırlı hasar bölgesinde, %53,60' ı belirgin hasar bölgesinde, %19,30' u ileri hasar bölgesinde, %1,1' i göçme bölgesinde bulunmaktadır. Eurocode 2 standartı mevcut yapı doğrusal yöntemde kirişlerin %26,50' si sınırlı hasar bölgesinde, %56,10' u belirgin hasar bölgesinde, %17,40' ü ileri hasar bölgesinde, göçme bölgesinde ise eleman bulunmamaktadır. TS 500 standartı mevcut yapı doğrusal olmayan

yöntemde kirişlerin %51,40' ı sınırlı hasar bölgesinde, %41,20' si belirgin hasar bölgesinde, %7,40' ü ileri hasar bölgesinde, göçme bölgesinde ise eleman bulunmamaktadır. Eurocode 2 standartı mevcut yapı doğrusal olmayan yöntemde kirişlerin %51,90' ı sınırlı hasar bölgesinde, %42,90' ı belirgin hasar bölgesinde, %5,30' u ileri hasar bölgesinde, göçme bölgesinde ise eleman bulunmamaktadır. Güçlendirilmiş durumda bulunan yapıdaki 345 adet kirişin Y yönünde kiriş hasarı yüzdesel dağılımlarını kıyaslanması sonucu ise; TS 500 standartı güçlendirilmiş yapı doğrusal yöntemdeki kirişlerin %50,70' i sınırlı hasar bölgesinde, %49,30' u belirgin hasar bölgesinde bulunmakta, ileri ve göçme bölgesinde kiriş elemanı bulunmamaktadır. Eurocode 2 standartı güçlendirilmiş yapı doğrusal yöntemdeki kirişlerin %51,70' i sınırlı hasar bölgesinde, %48,30' u belirgin hasar bölgesinde bulunmakta, ileri ve göçme bölgesinde kiriş elemanı bulunmamaktadır. TS 500 standartı güçlendirilmiş yapı doğrusal olmayan yöntem ve Eurocode 2 standartı güçlendirilmiş yapı doğrusal olmayan yöntemdeki kirişlerin %59,60' ı sınırlı hasar bölgesinde, %40,40' ı belirgin hasar bölgesinde bulunmakta, ileri ve göçme bölgesinde kiriş elemanı bulunmamaktadır. Y yönündeki grafiğe göre mevcut yapı ve güçlendirilmiş yapıdaki tüm analizler incelendiğinde doğrusal olmayan yöntemdeki kiriş hasar yüzdeleri doğrusal yöntemlerdeki kiriş hasar yüzdelerine oranla hasar oranının daha düşük olduğu gözükmektedir.

TBDY 2018 kontrollü hasar performans düzeyinde, 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, bazı şartlarla birlikte kirişlerin en fazla %35' i İleri Hasar Bölgesi' ne geçebilir ifadesi yer almakta, göçme bölgesinde ise eleman bulunmaması gerekmektedir.

Güçlendirme öncesi mevcut durumda X yönünde yapılan tüm analizlerde göçme bölgesinde kiriş elemanı görülmektedir. Y yönünde ise sadece TS 500 standartı doğrusal hesap yöntemiyle yapılan analizde göçme bölgesinde eleman görülmemektedir. Güçlendirme sonrası durumda ise X ve Y yönündeki tüm analizlerde kirişler sınırlı ve belirgin hasar bölgelerinde yer almaktadır.

7.3.2. Kolon kesme kuvveti dağılımı

TS 500 beton elastisite modülüne göre mevcut yapı güçlendirilmiş yapının doğrusal hesap yöntemi; mod birleştirme ve doğrusal olmayan hesap yöntemi; çok modlu itme yöntemiyle yapılan analiz sonuç değerlerinin kıyaslaması Tablo 9’ da verilmiştir.

Tablo 9. TS 500 standartına göre kolon kesme kuvveti yüzdesel dağılımları (%)

Yöntem	Kat No	(-X)				(X)				(-Y)				(Y)			
		SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB
Mevcut Yapı Doğrusal Yöntem	10	91,0	9,0	0,0	0,0	91,0	9,0	0,0	0,0	46,8	53,2	0,0	0,0	46,8	53,2	0,0	0,0
	9	100,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	14,9	85,1	0,0	0,0	14,9	85,1	0,0	0,0
	8	92,1	7,9	0,0	0,0	92,1	7,9	0,0	0,0	5,5	94,5	0,0	0,0	5,5	94,5	0,0	0,0
	7	82,6	17,4	0,0	0,0	82,6	17,4	0,0	0,0	5,3	94,7	0,0	0,0	5,3	94,7	0,0	0,0
	6	67,4	32,6	0,0	0,0	67,4	32,6	0,0	0,0	5,1	94,9	0,0	0,0	5,1	94,9	0,0	0,0
	5	61,2	38,8	0,0	0,0	61,2	38,8	0,0	0,0	4,9	95,1	0,0	0,0	4,9	95,1	0,0	0,0
	4	52,0	48,0	0,0	0,0	52,0	48,0	0,0	0,0	5,2	69,6	25,2	0,0	5,2	69,6	25,2	0,0
	3	45,7	54,3	0,0	0,0	45,7	54,3	0,0	0,0	3,4	70,4	0,0	26,2	3,4	70,4	0,0	26,2
	2	39,2	52,2	0,0	8,6	39,2	52,2	0,0	8,6	0,6	53,3	31,3	14,9	0,6	53,3	31,3	14,9
	1	0,0	93,4	6,6	0,0	0,0	93,4	6,6	0,0	0,0	27,1	7,9	65,0	0,0	27,1	7,9	65,0
Max		100,0								95,1	31,3	65,0					
Mevcut Yapı Doğrusal Olmayan Yöntem	10	57,6	42,4	0,0	0,0	61,4	38,6	0,0	0,0	5,0	63,7	31,3	0,0	9,0	59,9	31,2	0,0
	9	50,3	49,7	0,0	0,0	36,5	63,5	0,0	0,0	0,0	71,7	28,3	0,0	0,0	71,3	28,7	0,0
	8	57,6	42,4	0,0	0,0	58,9	41,1	0,0	0,0	0,0	74,0	26,0	0,0	0,0	73,4	26,6	0,0
	7	61,7	38,3	0,0	0,0	64,0	36,0	0,0	0,0	0,0	75,1	24,9	0,0	0,0	80,4	19,6	0,0
	6	66,1	33,9	0,0	0,0	69,2	30,8	0,0	0,0	0,0	75,0	25,0	0,0	0,0	85,1	14,9	0,0
	5	68,1	31,9	0,0	0,0	85,9	14,1	0,0	0,0	0,0	83,7	16,3	0,0	0,0	75,5	24,5	0,0
	4	70,9	29,1	0,0	0,0	86,7	13,3	0,0	0,0	0,0	74,7	22,0	3,4	0,0	70,5	21,4	8,1
	3	67,0	33,0	0,0	0,0	91,7	8,3	0,0	0,0	0,0	72,0	23,9	4,1	0,0	67,7	19,0	13,4
	2	56,4	43,6	0,0	0,0	75,6	24,4	0,0	0,0	0,0	64,3	33,3	2,4	0,0	67,6	23,0	9,3
	1	51,8	48,2	0,0	0,0	48,0	52,0	0,0	0,0	0,0	53,2	33,1	13,7	0,0	44,8	27,0	28,1
Max					91,7						33,3			85,1		28,1	
Güçlendirilmiş Yapı Doğrusal Yöntem	10	85,5	14,5	0,0	0,0	85,5	14,5	0,0	0,0	52,8	47,2	0,0	0,0	52,8	47,2	0,0	0,0
	9	79,8	20,2	0,0	0,0	79,8	20,2	0,0	0,0	50,6	49,4	0,0	0,0	50,6	49,4	0,0	0,0
	8	48,2	51,8	0,0	0,0	48,2	51,8	0,0	0,0	51,1	48,9	0,0	0,0	51,1	48,9	0,0	0,0
	7	45,8	54,2	0,0	0,0	45,8	54,2	0,0	0,0	51,4	48,6	0,0	0,0	51,4	48,6	0,0	0,0
	6	43,6	56,4	0,0	0,0	43,6	56,4	0,0	0,0	51,6	48,4	0,0	0,0	51,6	48,4	0,0	0,0
	5	40,5	59,5	0,0	0,0	40,5	59,5	0,0	0,0	51,7	48,3	0,0	0,0	51,7	48,3	0,0	0,0
	4	36,6	63,4	0,0	0,0	36,6	63,4	0,0	0,0	53,8	46,2	0,0	0,0	53,8	46,2	0,0	0,0
	3	32,2	67,8	0,0	0,0	32,2	67,8	0,0	0,0	51,1	48,9	0,0	0,0	51,1	48,9	0,0	0,0
	2	99,7	0,3	0,0	0,0	99,7	0,3	0,0	0,0	93,8	6,2	0,0	0,0	93,8	6,2	0,0	0,0
	1	100,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	93,6	6,4	0,0	0,0	93,6	6,4	0,0	0,0
Max		100,0	67,8														
Güçlendirilmiş Yapı Doğrusal Olmayan Yöntem	10	100,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	81,6	18,4	0,0	0,0	74,4	25,6	0,0	0,0
	9	100,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	93,0	7,0	0,0	0,0	93,1	6,9	0,0	0,0
	8	100,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	93,2	6,8	0,0	0,0	93,2	6,8	0,0	0,0
	7	100,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	93,9	6,1	0,0	0,0	93,9	6,1	0,0	0,0
	6	100,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	92,3	7,7	0,0	0,0	94,2	5,8	0,0	0,0
	5	100,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	94,6	5,4	0,0	0,0	94,6	5,4	0,0	0,0
	4	100,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	94,9	5,1	0,0	0,0	94,9	5,1	0,0	0,0
	3	100,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	97,3	2,7	0,0	0,0	97,3	2,7	0,0	0,0
	2	100,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	97,0	3,0	0,0	0,0	98,6	1,4	0,0	0,0
	1	100,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	99,3	0,7	0,0	0,0
Max		100,0												25,6			

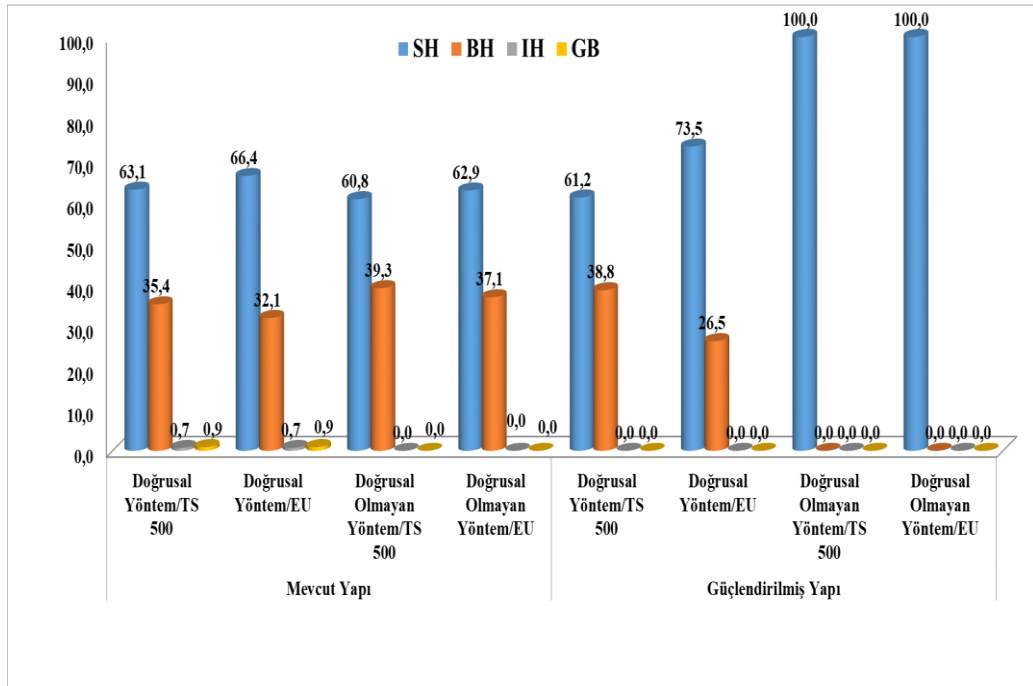
Eurocode 2 beton elastisite modülüne göre mevcut yapının ve ilave betonarme perde elemanlarla güçlendirilmiş yapının doğrusal hesap yöntemi; mod birleştirme ve doğrusal olmayan hesap yöntemi; çok modlu itme yöntemiyle yapılan analiz sonuç değerlerinin kıyaslaması Tablo 10’ da verilmiştir.

Tablo 10. Eurocode 2 standartına göre kolon kesme kuvveti yüzdesel dağılımları (%)

Yöntem	Kat No	(-X)				(+X)				(-Y)				(+Y)			
		SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB	SH	BH	IH	GB
Mevcut Yapı Doğrusal Yöntem	10	91,0	9,0	0,0	0,0	91,0	9,0	0,0	0,0	46,7	53,3	0,0	0,0	46,7	53,3	0,0	0,0
	9	100,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	21,8	78,2	0,0	0,0	21,8	78,2	0,0	0,0
	8	92,1	7,9	0,0	0,0	92,1	7,9	0,0	0,0	5,5	94,5	0,0	0,0	5,5	94,5	0,0	0,0
	7	91,9	8,1	0,0	0,0	91,9	8,1	0,0	0,0	5,2	94,8	0,0	0,0	5,2	94,8	0,0	0,0
	6	82,2	17,8	0,0	0,0	82,2	17,8	0,0	0,0	5,1	94,9	0,0	0,0	5,1	94,9	0,0	0,0
	5	65,6	34,4	0,0	0,0	65,6	34,4	0,0	0,0	4,8	95,2	0,0	0,0	4,8	95,2	0,0	0,0
	4	56,3	43,7	0,0	0,0	56,3	43,7	0,0	0,0	5,2	69,6	25,2	0,0	5,2	69,6	25,2	0,0
	3	45,7	54,3	0,0	0,0	45,7	54,3	0,0	0,0	3,4	70,4	0,0	26,2	3,4	70,4	0,0	26,2
	2	39,2	52,2	0,0	8,6	39,2	52,2	0,0	8,6	0,5	58,0	26,5	14,9	0,5	58,0	26,5	14,9
	1	0,0	93,4	6,6	0,0	0,0	93,4	6,6	0,0	0,0	27,1	11,9	61,1	0,0	27,1	11,9	61,1
Max		100,0								95,2	26,5	61,1					
Mevcut Yapı Doğrusal Olmayan Yöntem	10	57,7	42,3	0,0	0,0	61,4	38,6	0,0	0,0	4,8	95,2	0,0	0,0	8,6	91,4	0,0	0,0
	9	50,1	49,9	0,0	0,0	51,6	48,4	0,0	0,0	0,0	100	0,0	0,0	0,0	100	0,0	0,0
	8	57,7	42,3	0,0	0,0	59,1	40,9	0,0	0,0	0,0	100	0,0	0,0	0,0	100	0,0	0,0
	7	61,7	38,3	0,0	0,0	64,0	36,0	0,0	0,0	0,0	100	0,0	0,0	0,0	100	0,0	0,0
	6	66,1	33,9	0,0	0,0	79,8	20,2	0,0	0,0	0,0	100	0,0	0,0	0,0	100	0,0	0,0
	5	68,0	32,0	0,0	0,0	85,8	14,2	0,0	0,0	0,0	100	0,0	0,0	0,0	100	0,0	0,0
	4	70,9	29,1	0,0	0,0	94,8	5,2	0,0	0,0	0,0	100	0,0	0,0	0,0	100	0,0	0,0
	3	66,5	33,5	0,0	0,0	91,4	8,6	0,0	0,0	0,0	100	0,0	0,0	0,0	100	0,0	0,0
	2	63,4	36,6	0,0	0,0	73,6	26,4	0,0	0,0	0,0	100	0,0	0,0	0,0	100	0,0	0,0
	1	67,0	33,0	0,0	0,0	53,6	46,4	0,0	0,0	0,0	100	0,0	0,0	0,0	100	0,0	0,0
Max					94,8					100							
Güçlendirilmiş Yapı Doğrusal Yöntem	10	85,7	14,3	0,0	0,0	85,7	14,3	0,0	0,0	53,2	46,8	0,0	0,0	53,2	46,8	0,0	0,0
	9	79,9	20,1	0,0	0,0	79,9	20,1	0,0	0,0	50,7	49,3	0,0	0,0	50,7	49,3	0,0	0,0
	8	77,7	22,3	0,0	0,0	77,7	22,3	0,0	0,0	51,0	49,0	0,0	0,0	51,0	49,0	0,0	0,0
	7	76,2	23,8	0,0	0,0	76,2	23,8	0,0	0,0	51,5	48,5	0,0	0,0	51,5	48,5	0,0	0,0
	6	75,0	25,0	0,0	0,0	75,0	25,0	0,0	0,0	51,7	48,3	0,0	0,0	51,7	48,3	0,0	0,0
	5	73,7	26,3	0,0	0,0	73,7	26,3	0,0	0,0	51,8	48,2	0,0	0,0	51,8	48,2	0,0	0,0
	4	36,7	63,3	0,0	0,0	36,7	63,3	0,0	0,0	53,9	46,1	0,0	0,0	53,9	46,1	0,0	0,0
	3	32,4	67,6	0,0	0,0	32,4	67,6	0,0	0,0	91,9	8,1	0,0	0,0	91,9	8,1	0,0	0,0
	2	99,7	0,3	0,0	0,0	99,7	0,3	0,0	0,0	94,8	5,2	0,0	0,0	94,8	5,2	0,0	0,0
	1	98,4	1,6	0,0	0,0	98,4	1,6	0,0	0,0	93,6	6,4	0,0	0,0	93,6	6,4	0,0	0,0
Max		99,7	67,6														
Güçlendirilmiş Yapı Doğrusal Olmayan Yöntem	10	100,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	87,4	12,6	0,0	0,0	87,4	12,6	0,0	0,0
	9	100,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	93,1	6,9	0,0	0,0	93,1	6,9	0,0	0,0
	8	100,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	93,2	6,8	0,0	0,0	93,2	6,8	0,0	0,0
	7	100,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	94,0	6,0	0,0	0,0	94,0	6,0	0,0	0,0
	6	100,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	92,4	7,6	0,0	0,0	94,2	5,8	0,0	0,0
	5	100,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	94,6	5,4	0,0	0,0	94,6	5,4	0,0	0,0
	4	100,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	95,0	5,0	0,0	0,0	95,0	5,0	0,0	0,0
	3	100,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	97,4	2,6	0,0	0,0	97,4	2,6	0,0	0,0
	2	100,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	98,6	1,4	0,0	0,0	98,6	1,4	0,0	0,0
	1	100,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	99,3	0,7	0,0	0,0
Max		100,0								12,6							

Analizlerde tüm kolonlarda meydana gelen beton ve çelik donatı malzemelerinde meydana gelen şekil değiştirmeler TBDY 2018 Bölüm 5.8.1 sınır değerleri dikkate alınmıştır. İleri hasar bölgesindeki kolonların, her bir katta kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20’ nin altında olmalıdır” ve “en üst katta İleri Hasar Bölgesi’ndeki kolonların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olabilir” ifadeleri göz önüne alınmıştır. Bu durum yukarıda ki karşılaştırma tablosunda görüldüğü üzere her iki standart ve tüm durumlardaki güçlendirilmiş durumdaki yapının analiz değerlerinde karşılanmaktadır.

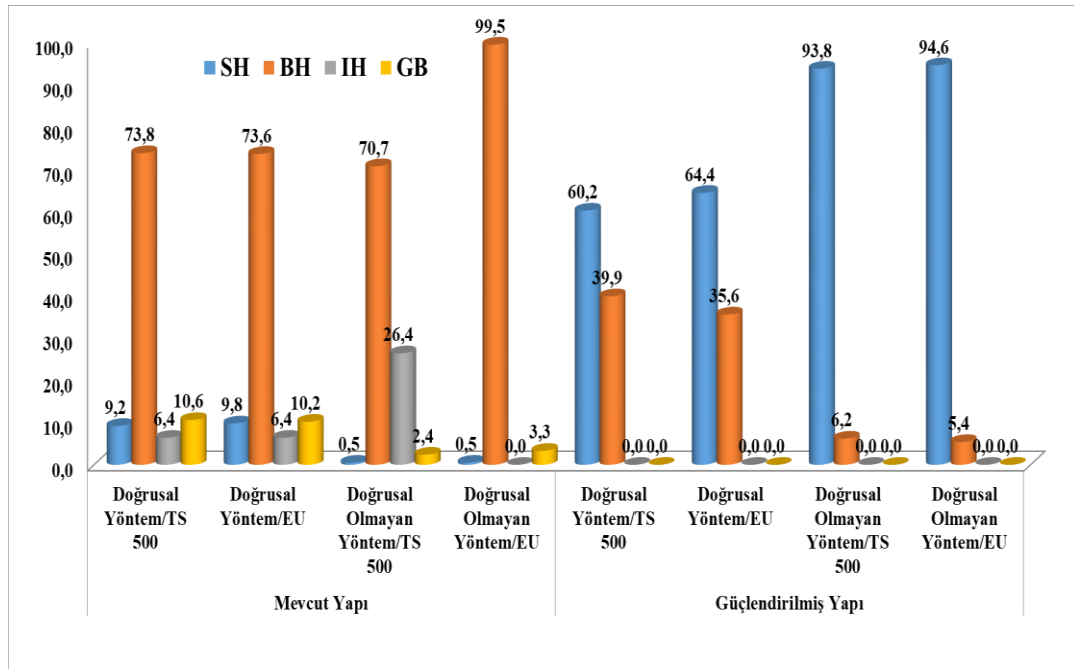
Analizler sonucu yapıdaki tüm kolon elemanlarının kesme kuvveti yüzdesel dağılımları hasar bölgelerine oranla kıyaslanması ise Şekil 99 ve Şekil 100’de grafik olarak sunulmuştur.



Şekil 99. Tüm durumlar için X yönünde kolon kesme kuvveti yüzdesel dağılımları (%)

Yukarıdaki grafiklerde mevcut durumda bulunan yapıdaki tüm kolonların X yönünde kolon kesme kuvveti yüzdesel dağılımlarını kıyaslanması sonucu; TS 500 standardı mevcut yapı doğrusal yöntemde kolonların %63,10’ u sınırlı hasar bölgesinde, %35,40’ ü belirgin hasar bölgesinde, %0,70’ i ileri hasar bölgesinde, %0,90’ ı göçme bölgesinde bulunmaktadır. Eurocode 2 standardı mevcut yapı doğrusal yöntemde kolonların %66,40’

1 sınırlı hasar bölgesinde, %32,10' u belirgin hasar bölgesinde, %0,70' i ileri hasar bölgesinde, %0,90' ı ise göçme bölgesinde bulunmaktadır. TS 500 standartı mevcut yapı doğrusal olmayan yöntemde kolonların %60,80'i sınırlı hasar bölgesinde, %39,30' ü belirgin hasar bölgesinde, ileri hasar ve göçme bölgesinde ise eleman bulunmamaktadır. Eurocode 2 standartı mevcut yapı doğrusal olmayan yöntemde kolonların %62,90' ı sınırlı hasar bölgesinde, %37,10' u belirgin hasar bölgesinde, ileri hasar ve göçme bölgesinde ise eleman bulunmamaktadır. Güçlendirilmiş durumda bulunan yapıdaki tüm kolonların X yönünde kolon kesme kuvveti yüzdesel dağılımlarını kıyaslanması sonucu ise; TS 500 standartı güçlendirilmiş yapı doğrusal yöntemdeki kolonların %61,20' si sınırlı hasar bölgesinde, %38,80' i belirgin hasar bölgesinde bulunmakta, İleri ve göçme bölgesinde kolon elemanı bulunmamaktadır. Eurocode 2 standartı güçlendirilmiş yapı doğrusal yöntemdeki kolonların %73,50' si sınırlı hasar bölgesinde, %26,50' si belirgin hasar bölgesinde bulunmakta, ileri ve göçme bölgesinde kolon elemanı bulunmamaktadır. TS 500 standartı güçlendirilmiş yapı doğrusal olmayan yöntem ve Eurocode 2 standartı güçlendirilmiş yapı doğrusal olmayan yöntemdeki kolonların %100' ü sınırlı hasar bölgesinde bulunmaktadır. Belirgin, ileri ve göçme bölgesinde kolon elemanı bulunmamaktadır.



Şekil 100. Tüm durumlar için Y yönünde kolon kesme kuvveti yüzdesel dağılımları (%)

Yukarıdaki grafiklerde mevcut durumda bulunan yapıdaki tüm kolonların Y yönünde kolon kesme kuvveti yüzdesel dağılımlarını kıyaslanması sonucu; TS 500 standardı mevcut yapı doğrusal yöntemde kolonların %9,20' si sınırlı hasar bölgesinde, %73,80' i belirgin hasar bölgesinde, %6,40' ı ileri hasar bölgesinde, %10,60' ı göçme bölgesinde bulunmaktadır. Eurocode 2 standardı mevcut yapı doğrusal yöntemde kolonların %9,80' i sınırlı hasar bölgesinde, %73,60' ı belirgin hasar bölgesinde, %6,40' ı ileri hasar bölgesinde, %10,20' si ise göçme bölgesinde bulunmaktadır. TS 500 standardı mevcut yapı doğrusal olmayan yöntemde kolonların %0,50' si sınırlı hasar bölgesinde, %70,70' i belirgin hasar bölgesinde, %26,40' ü ileri hasar bölgesinde ve %2,40' ı göçme bölgesinde bulunmaktadır. Eurocode 2 standardı mevcut yapı doğrusal olmayan yöntemde kolonların %0,50' si sınırlı hasar bölgesinde, %99,50' si belirgin hasar bölgesinde, ileri hasar ve göçme bölgesinde ise eleman bulunmamaktadır. Güçlendirilmiş durumda bulunan yapıdaki tüm kolonların Y yönünde kolon kesme kuvveti yüzdesel dağılımlarını kıyaslanması sonucu ise; TS 500 standardı güçlendirilmiş yapı doğrusal yöntemdeki kolonların %60,20' si sınırlı hasar bölgesinde, %39,90' ı belirgin hasar bölgesinde bulunmakta, İleri ve göçme bölgesinde kolon elemanı bulunmamaktadır. Eurocode 2 standardı güçlendirilmiş yapı doğrusal yöntemdeki kolonların %64,40' ı sınırlı hasar bölgesinde, %35,60' ı belirgin hasar bölgesinde bulunmakta, ileri ve göçme bölgesinde kolon elemanı bulunmamaktadır. TS 500 standardı güçlendirilmiş yapı doğrusal olmayan yöntemde kolonların %93,80' i sınırlı hasar bölgesinde, %6,20' si belirgin hasar bölgesinde bulunmakta, ileri ve göçme bölgesinde kolon elemanı bulunmamaktadır. Eurocode 2 standardı güçlendirilmiş yapı doğrusal olmayan yöntemde kolonların %94,60' ı sınırlı hasar bölgesinde, %5,40' ı belirgin hasar bölgesinde bulunmakta, ileri ve göçme bölgesinde kolon elemanı bulunmamaktadır.

X ve Y yönündeki grafikler incelendiğinde sonuç olarak her iki durum ve tüm analiz değerlerine göre güçlendirilmiş yapıdaki kolon kesme kuvvetleri yönetmelikteki sınır değerleri sağlamaktadır. Mevcut yapı ve güçlendirilmiş yapıdaki her iki yöndeki grafik değerlerine göre doğrusal olmayan yöntemle yapılan analizdeki kolon hasar yüzdeleri doğrusal yöntemlerle yapılan analizdeki kolon hasar yüzdelerine oranla hasar oranının daha düşük olduğu gözükmemektedir. TS 500 ve Eurocode 2 ile yapılan analizleri kendi aralarında kıyaslama yaptığımızda ise mevcut yapıda doğrusal yöntemde farkın az

olduğu, doğrusal olmayan yöntemle yapılan analizde Eurocode 2' e göre hasarın daha az olduğu, güçlendirilmiş yapıda ise her iki standarta göre hasar oranlarının birbirine yakın çıktığı görülmektedir.

7.3.3. Kat deprem deplasman değerleri

Binalardaki hasar durumları, yer değiştirme ve şekil değiştirme ile doğrudan ilişkilendirilebilir. Katın yaptığı deplasman, katın taban kısmına göre yanal yönde yer değiştirmesidir. Yapının her iki doğrultudaki kat deplasmanları aşağıda verilmiştir.

Tablo 11. Tüm durumlar için 10. kat deprem deplasman değerleri

Std.	Hesap Yöntemi	Kat	9.Yükleme		10.Yükleme		11.Yükleme		12.Yükleme		Deprem Yapı Salınımı	
			δx (m)	θz (rad)	δx (m)	θz (rad)	δy (m)	θz (rad)	δy (m)	θz (rad)	X (m)	Y (m)
TSS500	Mevcut Yapı Doğrusal Yöntem	10	0,0298	0,0016	0,0298	0,0016	0,031	0,0023	0,031	0,0023	0,0011	0,0011
	Mevcut Yapı Doğrusal Olmayan Yöntem	10	0,0324	0,0016	0,0324	0,0016	0,0329	0,0022	0,0329	0,0022	0,0014	0,0012
	Güçlendirilmiş Yapı Doğrusal Yöntem	10	0,0172	0,0006	0,0172	0,0006	0,0114	0,0016	0,0114	0,0016	0,0006	0,0005
	Güçlendirilmiş Yapı Doğrusal Olmayan Yöntem	10	0,018	0,0007	0,018	0,0007	0,0133	0,0017	0,0133	0,0017	0,0006	0,0005
EU	Mevcut Yapı Doğrusal Yöntem	10	0,0283	0,0015	0,0283	0,0015	0,0295	0,0022	0,0295	0,0022	0,001	0,0011
	Mevcut Yapı Doğrusal Olmayan Yöntem	10	0,0213	0,0015	0,0213	0,0015	0,0312	0,0022	0,0312	0,0022	0,0008	0,0011
	Güçlendirilmiş Yapı Doğrusal Yöntem	10	0,0169	0,0006	0,0169	0,0006	0,0122	0,0017	0,0122	0,0017	0,0006	0,0004
	Güçlendirilmiş Yapı Doğrusal Olmayan Yöntem	10	0,0175	0,0006	0,0175	0,0006	0,0127	0,0017	0,0127	0,0017	0,0006	0,0005

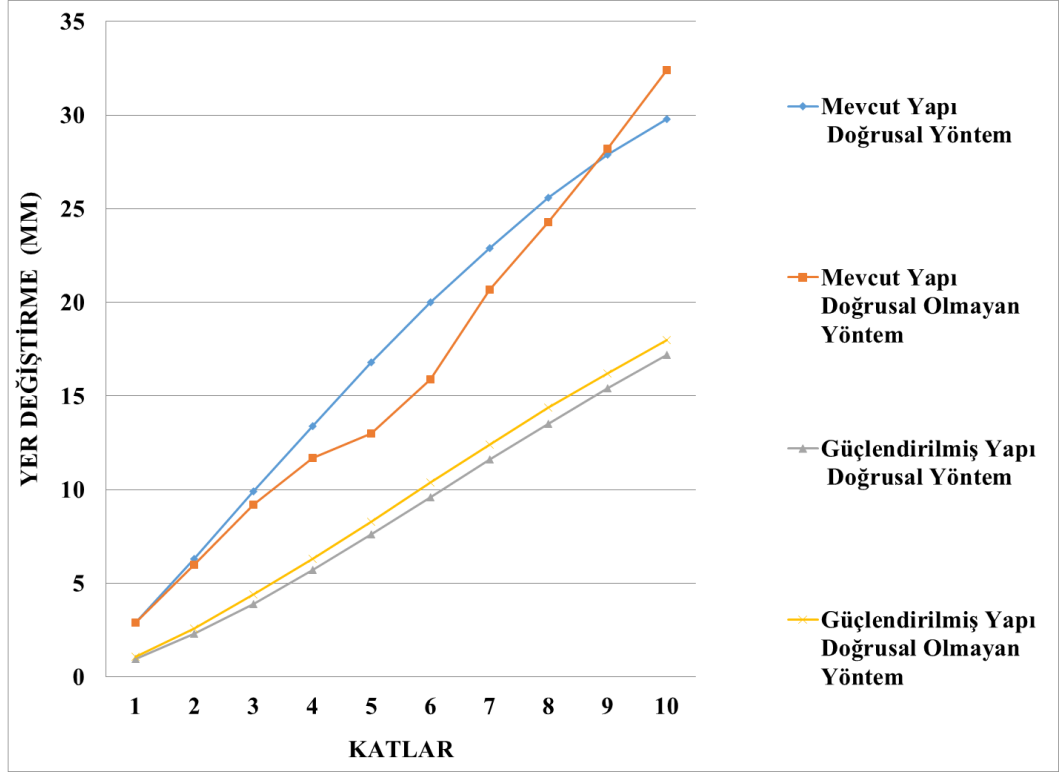
δx : Göreli kat ötelemesi, θ :Dönme açısı

Tablo 12. TS 500 standartına göre maksimum kat deplasman değerleri

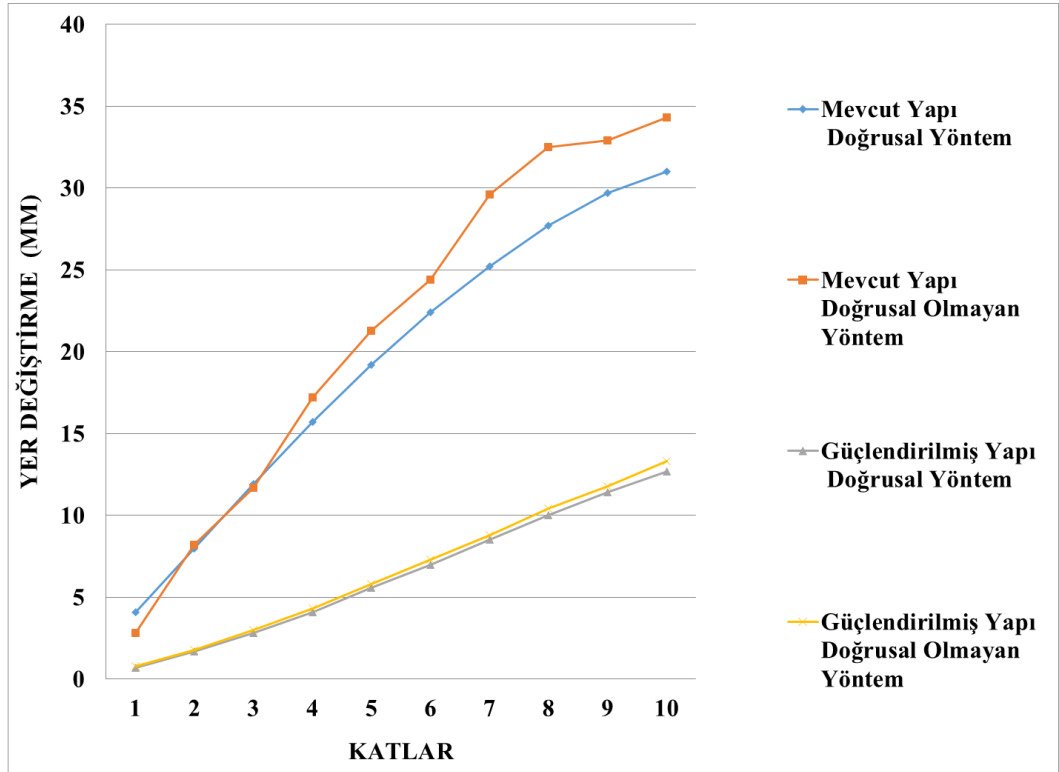
Kat	Yükseklik (m)	Mevcut Yapı Doğrusal Yöntem		Mevcut Yapı Doğrusal Olmayan Yöntem		Güçlendirilmiş Yapı Doğrusal Yöntem		Güçlendirilmiş Yapı Doğrusal Olmayan Yöntem	
		Uix (mm)	Uiy (mm)	Uix (mm)	Uiy (mm)	Uix (mm)	Uiy (mm)	Uix (mm)	Uiy (mm)
10	28,2	29,8	31	32,4	34,3	17,2	12,7	18	13,3
9	25,48	27,9	29,7	28,2	32,9	15,4	11,4	16,2	11,8
8	22,76	25,6	27,7	24,3	32,5	13,5	10	14,4	10,4
7	20,04	22,9	25,2	20,7	29,6	11,6	8,5	12,4	8,8
6	17,32	20	22,4	15,9	24,4	9,6	7	10,4	7,3
5	14,6	16,8	19,2	-	21,3	7,6	5,6	8,3	5,8
4	11,88	13,4	15,7	11,7	17,2	5,7	4,1	6,3	4,3
3	9,16	9,9	11,9	9,2	11,7	3,9	2,8	4,4	3
2	6,44	6,3	8	6	8,2	2,3	1,7	2,6	1,8
1	3,72	2,9	4,1	2,9	2,8	0,97	0,7	1,1	0,8

Tablo 13. Eurocode 2 standartına göre maksimum kat deplasman değerleri

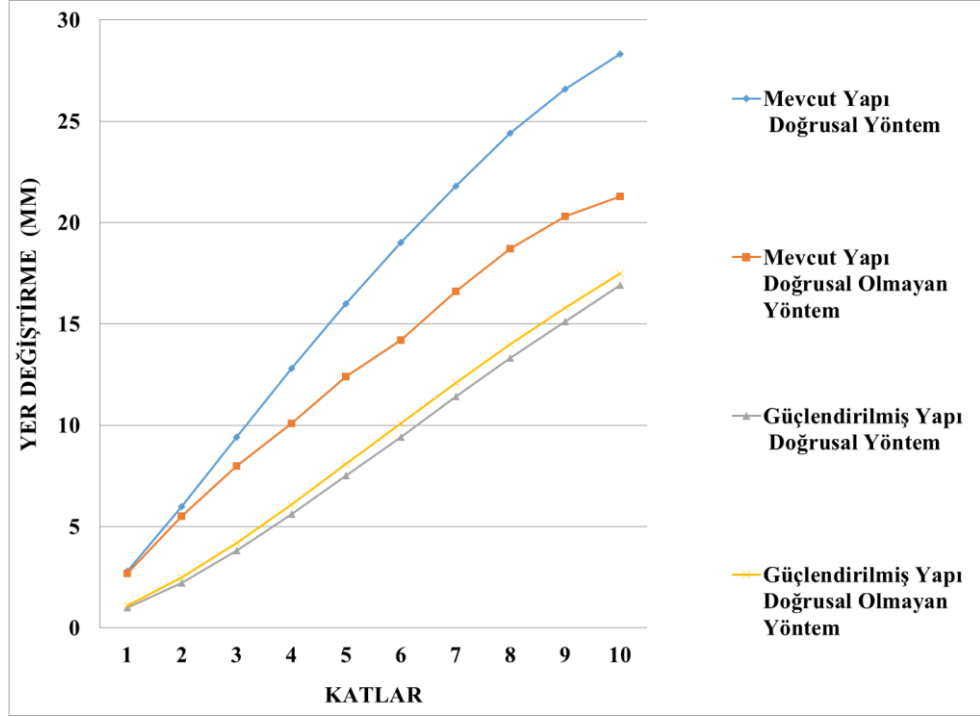
Kat	Yükseklik (m)	Mevcut Yapı Doğrusal Yöntem		Mevcut Yapı Doğrusal Olmayan Yöntem		Güçlendirilmiş Yapı Doğrusal Yöntem		Güçlendirilmiş Yapı Doğrusal Olmayan Yöntem	
		Uix (mm)	Uiy (mm)	Uix (mm)	Uiy (mm)	Uix (mm)	Uiy (mm)	Uix (mm)	Uiy (mm)
10	28,2	28,3	29,5	21,3	31,2	16,9	12,2	17,5	12,7
9	25,48	26,6	28,2	20,3	29,5	15,1	10,9	15,8	11,4
8	22,76	24,4	26,4	18,7	27,4	13,3	9,6	14	9,9
7	20,04	21,8	24	16,6	25,1	11,4	8,2	12,1	8,5
6	17,32	19	21,3	14,2	22,7	9,4	6,7	10,1	7
5	14,6	16	18,2	12,4	19,7	7,5	5,3	8,1	5,5
4	11,88	12,8	14,9	10,1	14,6	5,6	4	6,1	4,1
3	9,16	9,4	11,4	8	11,5	3,8	2,7	4,2	2,9
2	6,44	6	7,6	5,5	6,4	2,2	1,6	2,5	1,7
1	3,72	2,8	3,9	2,7	3	1	0,7	1,1	0,8



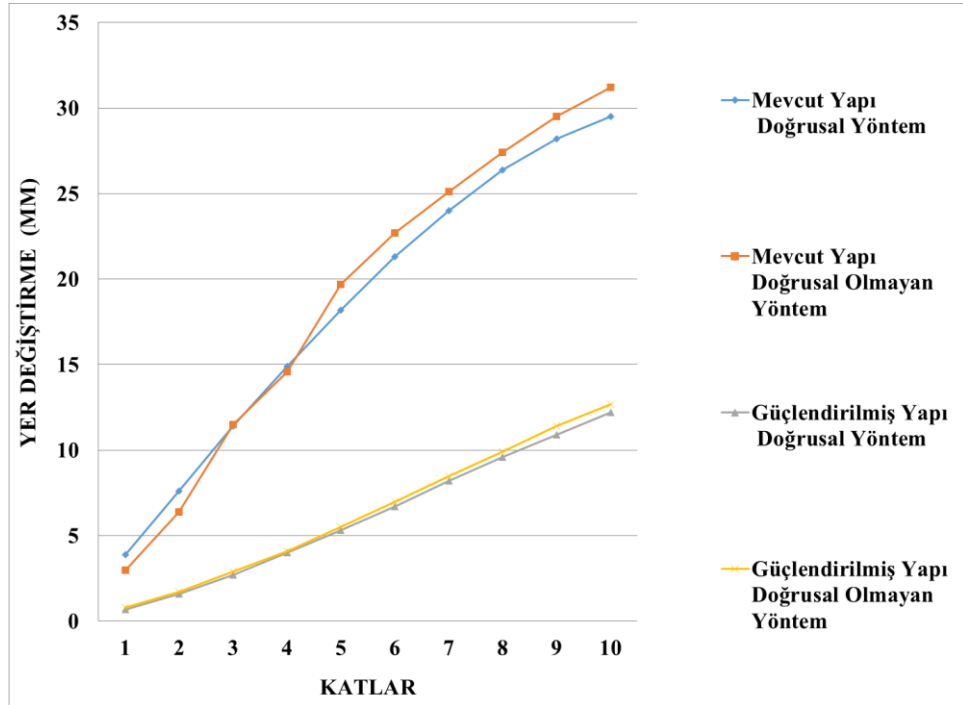
Şekil 101. TS 500 standartına göre X yönü görel kat ötelemeleri



Şekil 102. TS 500 standartına göre Y yönü görel kat ötelemeleri



Şekil 103. Eurocode 2 standartına göre X yönü görel kat ötelemeleri



Şekil 104. Eurocode 2 standartına göre Y yönü görel kat ötelemeleri

Tablo ve grafiklerdeki tüm durumlar incelendiğinde, yapıda oluşan yer değiştirmeler yapının güçlendirilmesi sonucunda her iki yönde (X, Y) de azaldığı görülmüştür. İlave

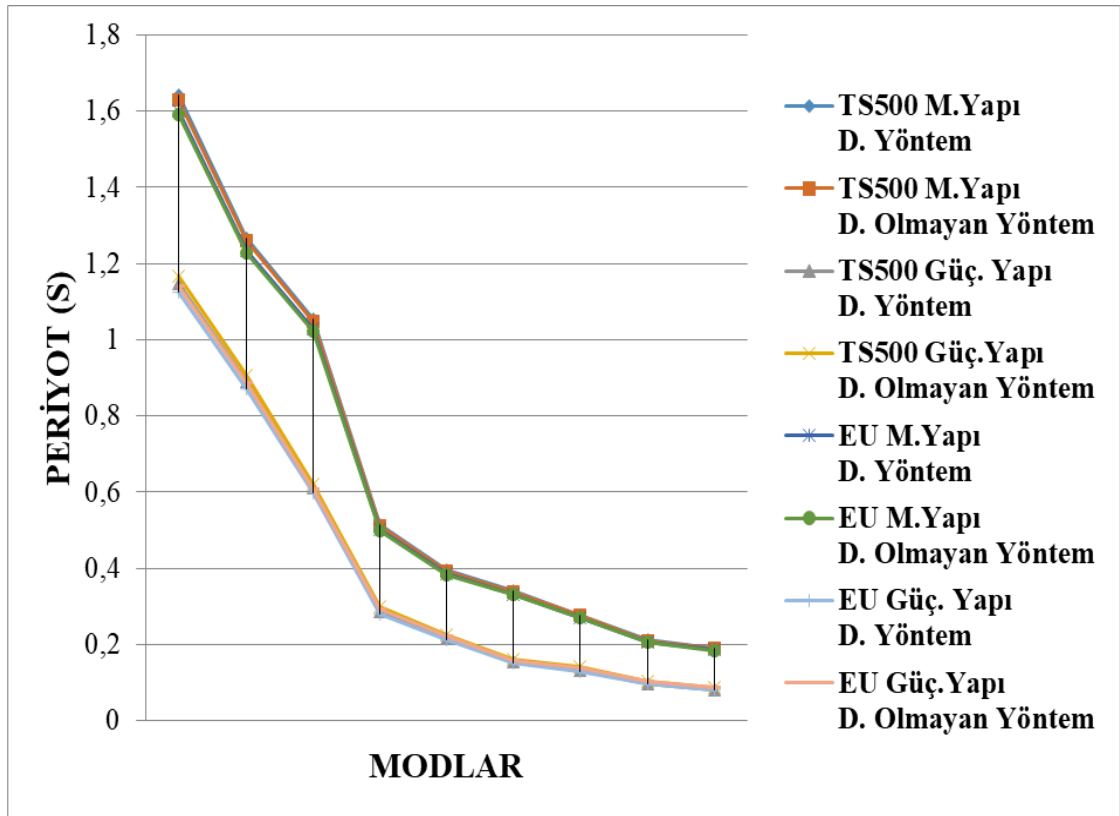
perde elemanlarla güçlendirme yapılan tasarımlarda yapının rijitliği arttıkça yer değiştirmelerin azalması beklenen bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır. Doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemlerinden çıkan analiz sonuçları kendi arasında karşılaştırıldığında ise doğrusal olmayan hesap yöntemleriyle yapılan analizlerdeki deplasman değerleri mevcut yapı durumunda yaklaşık %10 kadar daha fazla, güçlendirilmiş yapı durumunda ise deplasman değerlerindeki düşüş neticesinde aradaki farkta yaklaşık %5 kadar görülmüştür. TS 500 ve Eurocode 2 standartlarıyla yapılan analizler kendi aralarında incelendiğinde ise, Eurocode 2'e göre yapılan analizlerdeki deprem deplasman değerleri %5-10 arasında daha düşük çıktığı görülmüştür.

7.3.4. Yapı modlarının kıyaslanması

Tablo 14. Modal analiz - yapı periyod ve vektörleri karşılaştırılması

Mod		TS500				EU			
		Mevcut Yapı D. Yöntem	Mevcut Yapı D. Olmayan Yöntem	Güç. Yapı D. Yöntem	Güç.Yapı Doğrusal Olmayan Yöntem	Mevcut Yapı D. Yöntem	Mevcut Yapı D. Olmayan Yöntem	Güç. Yapı D. Yöntem	Güç.Yapı Doğrusal Olmayan Yöntem
1.Mod	w	3,83	3,85	5,47	5,38	3,92	3,95	5,59	5,5
	t	1,6417	1,6305	1,1484	1,1672	1,6014	1,5905	1,1233	1,1419
2.Mod	w	4,97	4,99	7,06	6,93	5,09	5,12	7,22	7,09
	t	1,2653	1,2581	0,8901	0,9064	1,2341	1,227	0,8706	0,8868
3.Mod	w	5,96	5,99	10,27	10,12	6,11	6,14	10,49	10,33
	t	1,0547	1,0489	0,6119	0,6209	1,0287	1,023	0,599	0,608
4.Mod	w	12,25	12,33	21,99	21,02	12,56	12,64	22,45	21,45
	t	0,5128	0,5095	0,2858	0,299	0,5002	0,497	0,2799	0,2929
5.Mod	w	15,91	16	29,2	27,8	16,32	16,4	29,81	28,37
	t	0,3948	0,3928	0,2152	0,226	0,3851	0,3831	0,2108	0,2215
6.Mod	w	18,48	18,57	40,85	39,19	18,95	19,04	41,66	39,95
	t	0,34	0,3384	0,1538	0,1603	0,3316	0,33	0,1508	0,1573
7.mod	w	22,67	22,82	47,49	44,53	23,25	23,39	48,42	45,37
	t	0,2771	0,2754	0,1323	0,1411	0,2703	0,2686	0,1298	0,1385
8.mod	w	29,77	29,93	64,55	60,47	30,52	30,68	65,79	61,59
	t	0,2111	0,21	0,0973	0,1039	0,2059	0,2048	0,0955	0,102
9.mod	w	33,13	33,24	76,87	71,6	33,97	34,08	78,32	72,91
	t	0,1897	0,1891	0,0817	0,0878	0,185	0,1844	0,0802	0,0862
Σ mxr%		95,51	95,5	96,34	96,134	95,51	95,54	96,35	96,14
Σ myr%		96,62	96,7	95,06	94,995	96,62	96,74	95,09	95,02
Σ mbr%		96,83	96,789	93,999	93,956	96,826	96,787	94,033	93,988

Burada; ω : Açısal frekans (rad/s), T: Periyot (s), M_{xr} , M_{yr} : Etkin kütle katılım oranlarıdır. Tüm durumlardaki periyot değerleri incelendiğinde güçlendirme öncesi periyot değerlerinin güçlendirme sonrası periyot değerlerine göre daha fazla olduğu görülmektedir. Rijitlik arttıkça periyodun azaldığı göz önüne alınırsa ilave perde elemanlarla güçlendirme yapılan tasarımlarda periyodun azalması beklenen bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır. Sonuçlar her ne kadar birbirine yakın olsada güçlendirme sonrası analiz sonuçları incelendiğinde doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemiyle yapılan çözümlerden elde edilen sonuçlara göre; periyot farkı daha belirgin gözükmemektedir.



Şekil 105. Tüm durumlar için yapı periyotlarının karşılaştırılması

7.3.5. Yapı düzensizliklerinin kontrolü

Tablo 15. TS 500 standartına göre X ve Y yönü için A1 (burulma düzensizliği), B2 (yumuşak kat) düzensizliklerinin kontrolü

Yöntem	Kat	(X)					(Y)				
		ΔX düst (m)	ΔX dalt (m)	ΔX ort	nbi	nki	ΔY dsol (m)	ΔY dsağ (m)	ΔY ort	nbi	nki
Mevcut Yapı Doğrusal Yöntem	10	0,0012549	0,0029603	0,0021076	1,40	0,00	0,0009898	0,0023393	0,0016646	1,41	0,00
	9	0,0015750	0,0034932	0,0025341	1,38	1,20	0,0014933	0,0031387	0,0023160	1,36	1,39
	8	0,0018466	0,0039780	0,0029123	1,37	1,15	0,0019051	0,0038207	0,0028629	1,33	1,24
	7	0,0020501	0,0043672	0,0032087	1,36	1,10	0,0022201	0,0043478	0,0032840	1,32	1,15
	6	0,0022056	0,0046604	0,0034330	1,36	1,07	0,0024788	0,0047667	0,0036228	1,32	1,10
	5	0,0023331	0,0048680	0,0036006	1,35	1,05	0,0027048	0,0051048	0,0039048	1,31	1,08
	4	0,0024416	0,0049691	0,0037054	1,34	1,03	0,0029072	0,0053565	0,0041319	1,30	1,06
	3	0,0025201	0,0048697	0,0036949	1,32	1,00	0,0030752	0,0054625	0,0042689	1,28	1,03
	2	0,0025416	0,0042849	0,0034133	1,26	0,92	0,0031200	0,0050950	0,0041075	1,24	0,96
	1	0,0025026	0,0033400	0,0029213	1,14	0,63	0,0033967	0,0049559	0,0041763	1,19	0,74
Mevcut Yapı Doğrusal Olmayan Yöntem	10	0,0043881	0,0026493	0,0035187	1,25	0,00	0,0010832	0,0024090	0,0017461	1,38	0,00
	9	0,0049659	0,0030306	0,0039983	1,24	1,14	0,0000945	0,0015203	0,0008074	1,88	0,46
	8	0,0257450	0,0278726	0,0268088	1,04	-	0,0023628	0,0042398	0,0033013	1,28	4,09
	7	0,0038840	0,0061409	0,0050125	1,23	0,19	0,0045671	0,0065519	0,0055595	1,19	1,70
	6	-	-	-	1,00	-	0,0024215	0,0046600	0,0035408	1,32	0,63
	5	-	-	-	1,00	1,00	0,0032910	0,0056505	0,0044708	1,26	1,26
	4	0,0014120	0,0038940	0,0026530	1,47	0,00	0,0046731	0,0070861	0,0058796	1,21	1,32
	3	0,0021916	0,0044938	0,0033427	1,34	1,26	0,0026786	0,0050331	0,0038559	1,31	0,66
	2	0,0023475	0,0040536	0,0032006	1,27	0,96	0,0046003	0,0065528	0,0055766	1,18	1,45
	1	0,0024406	0,0032585	0,0028496	1,14	0,65	0,0021026	0,0036558	0,0028792	1,27	0,38
Güçlendirilmiş Yapı Doğrusal Yöntem	10	0,0015031	0,0019358	0,0017194	1,13	0,00	0,0012471	0,0017949	0,0015210	1,18	0,00
	9	0,0016755	0,0019734	0,0018245	1,08	1,06	0,0013293	0,0019039	0,0016166	1,18	1,06
	8	0,0017916	0,0019703	0,0018809	1,05	1,03	0,0013787	0,0019666	0,0016726	1,18	1,03
	7	0,0018681	0,0019346	0,0019013	1,02	1,01	0,0014071	0,0019976	0,0017024	1,17	1,02
	6	0,0019120	0,0018564	0,0018842	0,99	0,99	0,0014036	0,0019852	0,0016944	1,17	1,00
	5	0,0019210	0,0017356	0,0018283	0,95	0,97	0,0013660	0,0019247	0,0016454	1,17	0,97
	4	0,0018795	0,0015645	0,0017220	0,91	0,94	0,0012857	0,0018036	0,0015446	1,17	0,94
	3	0,0017535	0,0013301	0,0015418	0,86	0,90	0,0011487	0,0016024	0,0013756	1,16	0,89
	2	0,0015049	0,0010172	0,0012611	0,81	0,82	0,0009300	0,0012823	0,0011062	1,16	0,80
	1	0,0007838	0,0011999	0,0009918	0,79	0,58	0,0007528	0,0010189	0,0008858	1,15	0,58
Güçlendirilmiş Yapı Doğrusal Olmayan Yöntem	10	0,0013781	0,0019372	0,0016577	1,17	0,00	0,0013289	0,0017945	0,0015617	1,15	0,00
	9	0,0015921	0,0019965	0,0017943	1,11	1,08	0,0014201	0,0019060	0,0016630	1,15	1,06
	8	0,0017399	0,0020126	0,0018763	1,07	1,05	0,0014726	0,0019695	0,0017210	1,14	1,03
	7	0,0018509	0,0019908	0,0019208	1,04	1,02	0,0014903	0,0019921	0,0017412	1,14	1,01
	6	0,0019328	0,0019295	0,0019311	1,00	1,01	0,0014712	0,0019699	0,0017206	1,14	0,99
	5	0,0019843	0,0018249	0,0019046	0,96	0,99	0,0014177	0,0019033	0,0016605	1,15	0,97
	4	0,0019908	0,0016688	0,0018298	0,91	0,96	0,0013263	0,0017860	0,0015561	1,15	0,94
	3	0,0019171	0,0014460	0,0016816	0,86	0,92	0,0011874	0,0016048	0,0013961	1,15	0,90
	2	0,0017150	0,0011364	0,0014257	0,80	0,85	0,0009793	0,0013210	0,0011501	1,15	0,82
	1	0,0008995	0,0013558	0,0011276	0,80	0,58	0,0007814	0,0010508	0,0009161	1,15	0,58

Güçlendirme çalışmaları mevcut burulma düzensizliklerinin iyileştirilmesi yönünde de olumlu etki etmiştir. TBDY 2018’de geçen birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görelî kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî ötelemeye oranını ifade eden burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} ’nin 1.2’ den büyük olması durumu ele alındığında, TS 500 standartında mevcut

durumda yapılan X ve Y yönlerindeki burulma oranı sınır değerlerini aştığı ve yapıda A1 düzensizlik durumu gerçekleştiği görülmektedir. Güçlendirilmiş yapıda ise her iki yöndeki durum incelendiğinde burulma katsayısı maksimum; güçlendirilmiş yapı Y yönünde doğrusal yöntemle yapılan analize göre 10.katta $\eta_{bi} = 1,18$ değerinde olduğu böylece yönetmelik sınırının altında bir değere indiği görülmektedir.

Tablo 16. Eurocode 2 standartına göre X ve Y yönü için A1 (burulma düzensizliği), B2 (yumuşak kat) düzensizliklerinin kontrolü

Yöntem	Kat	(X)					(Y)				
		ΔX düst (m)	ΔX dalt (m)	ΔX ort	nbi	nki	ΔY dsol (m)	ΔY dsağ (m)	ΔY ort	nbi	nki
Mevcut Yapı Doğrusal Yöntem	10	0,0011902	0,0028110	0,0020006	1,41	0,00	0,0009385	0,0022214	0,0015800	1,41	0,00
	9	0,0014958	0,0033197	0,0024078	1,38	1,20	0,0014184	0,0029833	0,0022009	1,36	1,39
	8	0,0017559	0,0037835	0,0027697	1,37	1,15	0,0018124	0,0036359	0,0027242	1,33	1,24
	7	0,0019502	0,0041553	0,0030528	1,36	1,10	0,0021135	0,0041397	0,0031266	1,32	1,15
	6	0,0020981	0,0044345	0,0032663	1,36	1,07	0,0023593	0,0045380	0,0034487	1,32	1,10
	5	0,0022194	0,0046323	0,0034259	1,35	1,05	0,0025737	0,0048589	0,0037163	1,31	1,08
	4	0,0023233	0,0047294	0,0035264	1,34	1,03	0,0027669	0,0050993	0,0039331	1,30	1,06
	3	0,0023989	0,0046359	0,0035174	1,32	1,00	0,0029281	0,0052022	0,0040652	1,28	1,03
	2	0,0024193	0,0040791	0,0032492	1,26	0,92	0,0029707	0,0048521	0,0039114	1,24	0,96
	1	0,0023811	0,0031786	0,0027799	1,14	0,63	0,0032321	0,0047164	0,0039743	1,19	0,74
Mevcut Yapı Doğrusal Olmayan Yöntem	10	0,0004575	0,0021103	0,0012839	1,64	0,00	0,0013590	0,0026205	0,0019898	1,32	0,00
	9	0,0009097	0,0027500	0,0018299	1,50	1,43	0,0017530	0,0032897	0,0025214	1,30	1,27
	8	0,0013452	0,0033691	0,0023572	1,43	1,29	0,0017078	0,0034947	0,0026013	1,34	1,03
	7	0,0014879	0,0036734	0,0025807	1,42	1,09	0,0017847	0,0037697	0,0027772	1,36	1,07
	6	0,0008343	0,0031407	0,0019875	1,58	0,77	0,0023228	0,0044600	0,0033914	1,32	1,22
	5	0,0013314	0,0037067	0,0025191	1,47	1,27	0,0043855	0,0066319	0,0055087	1,20	1,62
	4	0,0011556	0,0035181	0,0023369	1,51	0,93	0,0023333	0,0046306	0,0034820	1,33	0,63
	3	0,0014502	0,0036416	0,0025459	1,43	1,09	0,0042729	0,0065147	0,0053938	1,21	1,55
	2	0,0020707	0,0036948	0,0028828	1,28	1,13	0,0026509	0,0045100	0,0035805	1,26	0,66
	1	0,0022722	0,0030508	0,0026615	1,15	0,68	0,0023477	0,0038261	0,0030869	1,24	0,63
Güçlendirilmiş Yapı Doğrusal Yöntem	10	0,0014708	0,0018892	0,0016800	1,12	0,00	0,0011869	0,0017079	0,0014474	1,18	0,00
	9	0,0016371	0,0019256	0,0017813	1,08	1,06	0,0012633	0,0018097	0,0015365	1,18	1,06
	8	0,0017496	0,0019260	0,0018378	1,05	1,03	0,0013126	0,0018706	0,0015916	1,18	1,04
	7	0,0018291	0,0018879	0,0018585	1,02	1,01	0,0013374	0,0018992	0,0016183	1,17	1,02
	6	0,0018740	0,0018122	0,0018431	0,98	0,99	0,0013341	0,0018879	0,0016110	1,17	1,00
	5	0,0018830	0,0016943	0,0017887	0,95	0,97	0,0012979	0,0018302	0,0015640	1,17	0,97
	4	0,0018403	0,0015265	0,0016834	0,91	0,94	0,0012203	0,0017135	0,0014669	1,17	0,94
	3	0,0017129	0,0012962	0,0015045	0,86	0,89	0,0010878	0,0015195	0,0013037	1,17	0,89
	2	0,0014639	0,0009890	0,0012264	0,81	0,82	0,0008775	0,0012122	0,0010448	1,16	0,80
	1	0,0007559	0,0011586	0,0009572	0,79	0,58	0,0007032	0,0009545	0,0008288	1,15	0,58
Güçlendirilmiş Yapı Doğrusal Olmayan Yöntem	10	0,0013310	0,0018811	0,0016060	1,17	0,00	0,0012696	0,0017151	0,0014923	1,15	0,00
	9	0,0015411	0,0019403	0,0017407	1,11	1,08	0,0013584	0,0017151	0,0015367	1,12	1,03
	8	0,0016870	0,0019581	0,0018226	1,07	1,05	0,0014114	0,0018866	0,0016490	1,14	1,07
	7	0,0017988	0,0019365	0,0018676	1,04	1,02	0,0014286	0,0019091	0,0016688	1,14	1,01
	6	0,0018800	0,0018777	0,0018789	1,00	1,01	0,0014110	0,0018889	0,0016500	1,14	0,99
	5	0,0019314	0,0017767	0,0018540	0,96	0,99	0,0013605	0,0018259	0,0015932	1,15	0,97
	4	0,0019393	0,0016254	0,0017823	0,91	0,96	0,0012736	0,0017142	0,0014939	1,15	0,94
	3	0,0018699	0,0014094	0,0016396	0,86	0,92	0,0011415	0,0015414	0,0013415	1,15	0,90
	2	0,0016749	0,0011086	0,0013917	0,80	0,85	0,0009426	0,0012698	0,0011062	1,15	0,82
	1	0,0008806	0,0013258	0,0011032	0,80	0,58	0,0007541	0,0010120	0,0008831	1,15	0,58

Eurocode 2 standartında mevcut durumda yapılan X ve Y yönlerindeki burulma oranı sınır değerlerini aştığı ve yapıda A1 düzensizlik durumu gerçekleştiği görülmektedir.

Güçlendirilmiş yapıda ise her iki yöndeki durum incelendiğinde burulma katsayısı maksimum; güçlendirilmiş yapı Y yönünde doğrusal yöntemle yapılan analize göre 10. katta $\eta_{bi} = 1,18$ değerinde olduğu böylece yönetmelik sınırının altında bir değere indiği görülmektedir.

Her iki tablodaki η_{ki} değerleri ise TBDY 2018’ de komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat) olarak tanımlanır ve yönetmelikte B2 tipi düzensizlik durumu diye belirtilmektedir. Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, bodrum katlar dışında, herhangi bir i’ inci kattaki ortalama görece kat ötelemesi oranına bölünmesi ile tanımlanan rijitlik düzensizliği katsayısı η_{ki} ’nin 2.0’ den fazla olması durumu olarak ifade edilir. Buna göre her iki standart ve tüm durumlar için yapıda B2 tipi düzensizlik görülmemektedir.

7.3.6. Deprem perdeleri taban moment kontrolü

Betonarme perdeler, yapı etkiyen deprem kuvvetlerinin ve bu kuvvetler neticesinde oluşan momentlerin önemli kısmını karşılamaktadır. Bu bölümde TS 500 ve Eurocode 2 beton elastisite modülüne göre mevcut yapının ve ilave betonarme perde elemanlarla güçlendirilmiş yapının doğrusal hesap yöntemi ve doğrusal olmayan hesap yöntemiyle elde edilen analiz sonuçları; yapıya gelen taban momentlerine karşılık perde elemanların yüzdesel olarak karşıladığı miktarlar incelenecektir.

7.3.6.1. Tüm durumlar için kat deprem yük momenti ile perde taban momenti analizi

Tablo 17. TS 500 standartına göre mevcut yapının doğrusal hesap yöntemi ile kat deprem yük ve momenti (tm)

Kat	H (m)	F _x	F _x .H	H (m)	F _y	F _y .H
10	28,20	15,12	426,51	28,20	12,74	359,17
9	25,48	8,78	223,75	25,48	9,04	230,29
8	22,76	5,64	128,41	22,76	6,12	139,23
7	20,04	3,94	78,90	20,04	4,56	91,29
6	17,32	3,16	54,81	17,32	3,90	61,60
5	14,60	3,01	44,00	14,60	3,54	51,71
4	11,88	3,27	38,90	11,88	3,25	38,63
3	9,16	3,71	33,98	9,16	3,25	29,75
2	6,44	3,87	24,95	6,44	3,62	23,28
1	3,72	3,68	13,67	3,72	4,19	15,58
Toplam		54,20	1067,88		54,20	1046,55

Tablo 18. TS 500 standartına göre mevcut yapının doğrusal hesap yöntemi ile perde taban momenti (tm)

Perde	Mx	Σ Mxk	Σ Mxr	M/Mo<1/3	My	Σ Myk	Σ Myr	M/Mo<1/3
SZ12	79,29	78,21	157,51	0,147	-	-	-	-
Toplam			157,51				0,00	

Perde taban moment oranı:

$$X \text{ yönü } \alpha_m = 157,51 / 1067,88 = 0,15$$

$$Y \text{ yönü } \alpha_m = 0 / 1046,55 = 0,00$$

Tablo 19. TS 500 standartına göre mevcut yapının doğrusal olmayan hesap yöntemi ile kat deprem yük ve momenti (tm)

Kat	H (m)	Fx	Fx.H	H (m)	Fy	Fy.H
10	28,20	17,52	493,93	28,20	12,90	363,91
9	25,48	7,08	180,33	25,48	8,80	224,21
8	22,76	4,91	111,84	22,76	5,89	134,14
7	20,04	3,78	75,77	20,04	4,52	90,50
6	17,32	3,23	56,02	17,32	3,92	67,85
5	14,60	3,02	44,16	14,60	3,63	53,04
4	11,88	3,06	36,40	11,88	3,38	40,20
3	9,16	3,23	29,62	9,16	3,14	28,78
2	6,44	3,45	22,23	6,44	3,16	20,37
1	3,72	4,90	18,23	3,72	4,85	18,02
Toplam		54,20	1068,53		54,20	1041,01

Tablo 20. TS 500 standartına göre mevcut yapının doğrusal olmayan hesap yöntemi ile perde taban momenti (tm)

Perde	Mx	Σ Mxk	Σ Mxr	M/Mo<1/3	My	Σ Myk	Σ Myr	M/Mo<1/3
SZ12	78,71	80,28	158,99	0,149	0,15	-	-	-
Toplam	158,99		158,99				0,00	

Perde taban moment oranı:

$$X \text{ yönü } \alpha_m = 158,51 / 1068,53 = 0,15$$

$$Y \text{ yönü } \alpha_m = 0 / 1041,01 = 0,00$$

Tablo 21. TS 500 standartına göre güçlendirilmiş yapının doğrusal hesap yöntemi ile kat deprem yük ve momenti (tm)

Kat	H (m)	Fx	Fx.H	H (m)	Fy	Fy.H
10	28,20	187,92	5299,26	28,20	158,37	4466,01
9	25,48	114,07	2906,51	25,48	104,74	2668,75
8	22,76	61,13	1391,26	22,76	66,72	1518,56
7	20,04	33,54	672,14	20,04	42,67	855,09
6	17,32	28,96	501,51	17,32	34,25	593,15
5	14,60	39,64	578,79	14,60	38,13	556,63
4	11,88	54,61	648,77	11,88	47,24	561,16

Tablo 21. (Devam)

3	9,16	63,39	580,63	9,16	55,37	507,22
2	6,44	57,98	373,39	6,44	52,68	339,28
1	3,72	44,33	164,93	3,72	42,86	159,45
Toplam		685,57	13117,18		643,02	12225,29

Tablo 22. TS 500 standartına göre güçlendirilmiş yapının doğrusal hesap yöntemi ile perde taban momenti (tm)

Perde	Mx	∑ Mxk	∑ Mxr	M/Mo<1/3	My	∑ Myk	∑ Myr	M/Mo<1/3
SZ12	255,45	434,93	690,38	0,053	-	-	-	-
PZ40	-	-	-	-	1031,48	363,23	1394,72	0,114
PZ44	-	-	-	-	967,82	206,21	1174,03	0,096
PZ41	899,94	456,69	1356,63	0,103	-	-	-	-
PZ42	1025,40	433,11	1458,51	0,111	-	-	-	-
Toplam			3505,52					2568,75

Perde taban moment oranı:

$$X \text{ yönü } \alpha_m = 3505,52 / 13117,18 = 0,27$$

$$Y \text{ yönü } \alpha_m = 2568,75 / 12225,29 = 0,21$$

Tablo 23. TS 500 standartına göre güçlendirilmiş yapının doğrusal olmayan hesap yöntemi ile kat deprem yük ve momenti (tm)

Kat	H (m)	Fx	Fx.H	H (m)	Fy	Fy.H
10	28,20	236,24	6662,02	28,20	168,92	4763,54
9	25,48	113,15	2883,00	25,48	91,77	2338,30
8	22,76	44,86	1020,92	22,76	55,25	1257,49
7	20,04	24,30	486,99	20,04	35,74	716,23
6	17,32	24,65	426,91	17,32	27,67	479,24
5	14,60	36,33	530,39	14,60	30,46	444,72
4	11,88	54,33	645,39	11,88	40,49	481,02
3	9,16	68,50	627,42	9,16	56,87	520,93
2	6,44	75,85	488,49	6,44	65,85	424,07
1	3,72	74,59	277,48	3,72	68,30	254,08
Toplam		752,79	14049,01		641,32	11679,64

Tablo 24. TS 500 standartına göre güçlendirilmiş yapının doğrusal olmayan hesap yöntemi ile perde taban momenti (tm)

Perde	Mx	∑ Mxk	∑ Mxr	M/Mo<1/3	My	∑ Myk	∑ Myr	M/Mo<1/3
SZ12	78,71	500,46	789,53	0,056	-	-	-	-
PZ40	-	-	-	-	1098,12	423,28	1521,40	0,13
PZ44	-	-	-	-	1024,98	351,84	1376,81	0,118
PZ41	1063,2	691,57	1754,77	0,125	-	-	-	-
PZ42	1218,8	592,53	1811,33	0,129	-	-	-	-
		4355,63					2898,21	

Perde taban moment oranı:

X yönü $\alpha_m = 4355,63 / 14049,01 = 0,31$ ve Y yönü $\alpha_m = 2898,21 / 11679,64 = 0,25$

Tablo 25. Eurocode 2 standartına göre mevcut yapının doğrusal hesap yöntemi ile kat deprem yük ve momenti (tm)

Kat	H (m)	F _x	F _x .H	H (m)	F _y	F _y .H
10	28,20	15,02	423,69	28,20	12,67	357,25
9	25,48	8,83	225,06	25,48	9,06	230,84
8	22,76	5,70	129,82	22,76	6,18	140,59
7	20,04	3,95	79,21	20,04	4,58	91,88
6	17,32	3,14	54,45	17,32	3,89	67,30
5	14,60	3,00	43,82	14,60	3,52	51,36
4	11,88	3,30	39,19	11,88	3,27	38,80
3	9,16	3,75	34,32	9,16	3,29	30,14
2	6,44	3,87	24,95	6,44	3,63	23,35
1	3,72	3,62	13,46	3,72	4,12	15,33
Toplam		54,18	1067,97		54,20	1046,84

Tablo 26. Eurocode 2 standartına göre mevcut yapının doğrusal hesap yöntemi ile perde taban momenti (tm)

Perde	M _x	∑ M _{xk}	∑ M _{xr}	M/Mo<1/3	M _y	∑ M _{yk}	∑ M _{yr}	M/Mo<1/3
SZ12	79,32	78,22	157,54	0,148	-	-	-	-
Toplam			157,54				0,00	

Perde taban moment oranı:

X yönü $\alpha_m = 157,54 / 1067,97 = 0,15$

Y yönü $\alpha_m = 0 / 1046,84 = 0,00$

Tablo 27. Eurocode 2 standartına göre mevcut yapının doğrusal olmayan hesap yöntemi ile kat deprem yük ve momenti (tm)

Kat	H (m)	F _x	F _x .H	H (m)	F _y	F _y .H
10	28,20	17,42	494,29	28,20	12,87	363,06
9	25,48	7,14	181,85	25,48	8,81	224,53
8	22,76	4,95	112,67	22,76	5,92	134,74
7	20,04	3,79	75,92	20,04	4,53	90,73
6	17,32	3,23	55,93	17,32	3,91	67,76
5	14,60	3,02	44,12	14,60	3,62	52,90
4	11,88	3,08	36,54	11,88	3,38	40,21
3	9,16	3,26	29,83	9,16	3,16	28,91
2	6,44	3,46	22,30	6,44	3,18	20,46
1	3,72	4,85	18,05	3,72	4,81	17,89
Toplam		54,20	1068,51		54,20	1041,19

Tablo 28. Eurocode 2 standartına göre mevcut yapının doğrusal olmayan hesap yöntemi ile perde taban momenti (tm)

Perde	M _x	∑ M _{xk}	∑ M _{xr}	M/Mo<1/3	M _y	∑ M _{yk}	∑ M _{yr}	M/Mo<1/3
SZ12	78,73	80,28	159,01	0,149	-	-	-	-
Toplam			159,01				0,00	

Perde taban moment oranı:

X yönü $\alpha_m = 159,01 / 1068,51 = 0,15$ ve Y yönü $\alpha_m = 0 / 1041,19 = 0,00$

Tablo 29. Eurocode 2 standartına göre güçlendirilmiş yapının doğrusal hesap yöntemi ile kat deprem yük ve momenti (tm)

Kat	H (m)	F _x	F _x .H	H (m)	F _y	F _y .H
10	28,20	191,92	5412,12	28,20	157,58	4443,64
9	25,48	117,44	2992,35	25,48	104,92	2673,28
8	22,76	64,22	1461,65	22,76	67,70	1540,91
7	20,04	36,41	729,71	20,04	44,05	882,77
6	17,32	31,81	551,00	17,32	35,79	619,81
5	14,60	41,83	610,72	14,60	39,07	570,41
4	11,88	55,77	662,52	11,88	47,14	559,96
3	9,16	63,86	584,98	9,16	54,27	497,09
2	6,44	58,06	373,94	6,44	51,18	329,60
1	3,72	44,07	163,95	3,72	41,34	153,79
Toplam		705,40	13542,93		643,02	12271,27

Tablo 30. Eurocode 2 standartına göre güçlendirilmiş yapının doğrusal hesap yöntemi ile perde taban momenti (tm)

Perde	M _x	∑ M _{xk}	∑ M _{xr}	M/M _{0<1/3}	M _y	∑ M _{yk}	∑ M _{yr}	M/M _{0<1/3}
SZ12	258,55	445,53	704,08	0,052	-	-	-	-
PZ40	-	-	-	-	1055,23	377,89	1433,12	0,117
PZ44	-	-	-	-	989,76	182,23	1171,99	0,096
PZ41	949,92	478,83	1428,75	0,105	-	-	-	-
PZ42	1081,37	419,45	1500,82	0,111	-	-	-	-
Toplam			3633,65				2605,11	

Perde taban moment oranı:

X yönü $\alpha_m = 3633,65 / 13542,93 = 0,27$

Y yönü $\alpha_m = 2605,11 / 12271,27 = 0,21$

Tablo 31. Eurocode 2 standartına göre güçlendirilmiş yapının doğrusal olmayan hesap yöntemi ile kat deprem yük ve momenti (tm)

Kat	H (m)	F _x	F _x .H	H (m)	F _y	F _y .H
10	28,20	239,19	6745,15	28,20	168,25	4744,58
9	25,48	115,66	2947,13	25,48	92,35	2353,03
8	22,76	47,41	1078,99	22,76	56,88	1294,64
7	20,04	25,49	510,90	20,04	36,39	729,17
6	17,32	25,39	439,77	17,32	28,14	487,35
5	14,60	37,10	541,72	14,60	30,70	448,25
4	11,88	55,14	655,04	11,88	40,44	480,39
3	9,16	70,40	644,85	9,16	57,35	525,32
2	6,44	76,59	493,24	6,44	65,32	420,64
1	3,72	74,69	277,84	3,72	67,22	250,05
Toplam		767,07	14334,64		643,02	11733,42

Tablo 32. Eurocode 2 standartına göre güçlendirilmiş yapının doğrusal olmayan hesap yöntemi ile perde taban momenti (tm)

Perde	Mx	Σ Mxk	Σ Mxr	M/Mo<1/3	My	Σ Myk	Σ Myr	M/Mo<1/3
SZ12	297,30	512,77	810,07	0,057	-	-	-	-
PZ40	-	-	-	-	1093,92	422,94	1516,87	0,129
PZ44	-	-	-	-	1020,29	355,08	1375,37	0,117
PZ41	1073,63	706,5	1780,13	0,124	-	-	-	-
PZ42	1231,83	607,34	1839,17	0,128	-	-	-	-
Toplam			4429,37				2892,24	

Perde taban moment oranı:

$$X \text{ yönü } \alpha_m = 429,37 / 14334,64 = 0,31$$

$$Y \text{ yönü } \alpha_m = 2892,24 / 11733,42 = 0,25$$

7.3.6.2. Taban momenti oranlarının kıyaslaması

TS 500 standartına göre yapılan analizlerin her iki yön içinde perdelerin karşılayacağı toplam taban moment, yapıya gelen deprem momenti ve buna bağlı kapasite oranları aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

Tablo 33. TS 500 standartına göre perde taban momenti oranları

	Mevcut Bina Doğrusal Yöntem		Mevcut Bina Doğrusal Olmayan Yöntem		Güçlendirilmiş Bina Doğrusal Yöntem		Güçlendirilmiş Bina Doğrusal Olmayan Yöntem	
	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü
Toplam Perde Taban Momenti	157,5	0,0	158,5	0,0	3505,52	2568,75	4355,6	2898,2
Toplam Kat Deprem Momenti	1067,9	1046,6	1068,5	1041,0	13117,18	12225,29	14049,0	11679,6
Perde Taban Momenti Oranı	0,15	0,0	0,15	0,0	0,27	0,21	0,31	0,25

Mevcut durumdaki yapıda Y yönünde tüm kuvvetler kolon elemanların üzerinde iken güçlendirme perdeleri eklenmesi sonrası perde taban moment oranları güçlendirilmiş bina doğrusal yöntemde %21' e, doğrusal olmayan yöntemde ise %25' e kadar yükselmiştir.

Tablodaki diğer değerler incelendiğinde toplam kat deprem moment değerleri güçlendirilmiş yapıda mevcut yapıya oranla 11 ile 13 kat arası arttığı görülmektedir.

Güçlendirilmiş yapı doğrusal olmayan yöntemde perde taban momenti oranı güçlendirilmiş bina doğrusal olmayan yöntemde göre %13-15 arası fazla değerdedir.

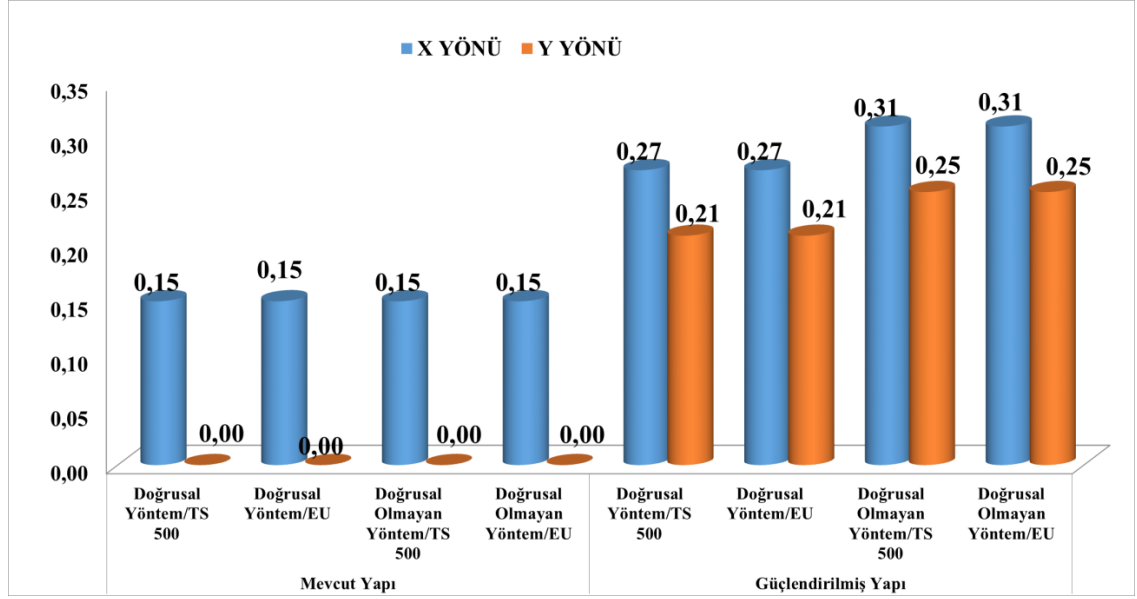
Eurocode 2 standartına göre yapılan analizlerin her iki yön içinde perdelerin karşılayacağı toplam taban moment, yapıya gelen deprem momenti ve buna bağlı kapasite oranları aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

Tablo 34. Eurocode 2 standartına göre perde taban momenti oranı

	Mevcut Bina Doğrusal Yöntem		Mevcut Bina Doğrusal Olmayan Yöntem		Güçlendirilmiş Bina Doğrusal Yöntem		Güçlendirilmiş Bina Doğrusal Olmayan Yöntem	
	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü	X Yönü	Y Yönü
Toplam Perde Taban Momenti	157,5	0,0	159,0	0,0	3633,7	2605,1	429,4	2892,2
Toplam Kat Deprem Momenti	1068,0	1046,8	1068,5	1041,2	13542,9	12271,3	14334,6	11733,4
Perde Taban Momenti Oranı	0,15	0,00	0,15	0,00	0,27	0,21	0,31	0,25

Analiz sonuçlarına göre yapıya eklenen betonarme perdeler yapıya etkileyen deprem kuvvetlerinin ve bu kuvvetler neticesinde oluşan momentlerin önemli kısmını karşılamaktadır. Özellikle mevcut durumdaki yapıda Y yönünde tüm kuvvetler kolon elemanların üzerinde iken güçlendirme perdeleri eklenmesi sonrası perde taban moment oranları güçlendirilmiş bina doğrusal yöntemde %21' e, doğrusal olmayan yöntemde ise %25' e kadar yükselmiştir.

Her iki standarttaki analizlerden elde edilen perde taban moment oranları aşağıda grafik şeklinde sunulmuştur.



Şekil 106. Perde taban momenti oranları (α_m)

Mevcut yapıdaki perde taban moment oranları doğrusal ve doğrusal olmayan analiz sonuçlarına göre her TS 500 ve Eurocode 2' ye göre farklılık göstermemiştir. Güçlendirilmiş yapıda ise TS 500 ve Eurocode 2 doğrusal yöntemde X yönünde perde taban moment oranı %27, Y yönünde %21 değerindedir. TS 500 ve Eurocode 2 doğrusal olmayan analiz sonucuna göre X yönünde %31, Y yönünde %25' e kadar bu oran yükselmiştir.

8. SONUÇ

8.1. Sonuçların Değerlendirilmesi

Bu çalışmada 2007 Deprem Yönetmeliği'ne göre inşa edilmiş, İzmir'de bulunan mevcut bir yapı TBDY 2018' de belirtilen hesap yöntemlerinden; doğrusal hesap yöntemi; mod birleştirme ve doğrusal olmayan hesap yöntemi; çok modlu itme yöntemi kullanılarak Sta4-CAD 14.1 versiyonu paket programıyla performans analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda yapının gerekli performans düzeylerini sağlamadığı tespit edilmiştir. Daha sonra binanın mimari planı göz önüne alınarak x yönünde 1 adet 2,50/0,30 mt, 1 adet 2,55/0,30 mt ilave perde eleman, y yönünde ise 1 adet 3,20/0,30 mt, 1 adet 2,50/0,30 mt ölçülerinde ilave betonarme perde elemanlar ile zemin kattan son kata kadar devam ettirilmesi suretiyle yapı güçlendirilmiş ve analizler aynı şekilde tekrarlanmıştır. Çalışmada betonun elastisite modülü Eurocode 2 ve TS 500 yönetmeliklerine göre hesaplanıp programa tanımlanmış ve iki farklı elastisite modülü üzerinden güçlendirme öncesi ve güçlendirme sonrası durumları doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleriyle kombine edilerek toplamda 8 adet analiz yapılmıştır. Yapının deprem etkisi altındaki davranışı ile taşıyıcı elemanlarda oluşan hasar durumları tüm analizler için ayrı ayrı değerlendirilerek kıyaslanmıştır. Analizler sonucunda yapı modlarının kıyaslanması, kiriş hasar yüzdeleri, kolon kesme kuvveti dağılımı, yapı düzensizliklerinin kontrolü, kat deprem deplasman değerleri ile görelî kat ötelemelerinin kıyaslanması, deprem perdeleri taban moment kontrolü karşılaştırmaları yapılmıştır.

Tüm durumlardaki periyot değerleri incelendiğinde güçlendirilmiş durumdaki yapının periyot değerleri, mevcut durumdaki yapının periyot değerlerine oranla yaklaşık %30 daha azaldığı görülmektedir. Rijitlik arttıkça periyodun azaldığı göz önüne alınırsa ilave perde elemanlarla güçlendirme yapılan tasarımlarda periyodun azalması beklenen bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır. Doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemler kendi arasında kıyaslandığında ise değerlerin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.

Kirişlerde oluşan hasarlar ele alındığında, X ve Y doğrultusundaki deprem etkileri sonucu mevcut durumdaki yapıda her iki yönde ileri hasar ve göçme bölgesinde kiriş elemanı bulunduğu görülmektedir. Betonarme perdelerle güçlendirilmiş yapıda her iki yönde doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemlerinden elde edilen analiz sonucuna göre

bütün kirişlerin sınırlı hasar ve belirgin hasar bölgesinde kalmasıyla kontrollü hasar performans düzeyini sağlayarak yönetmeliğin verdiği sınır içinde kaldığı görülmektedir. Doğrusal olmayan yöntemle yapılan analizlere göre kiriş hasar yüzdeleri doğrusal yöntemle yapılan analizlerdeki kiriş hasar yüzdelerine oranla hasar oranının daha düşük olduğu görülmüştür. TS 500 ve Eurocode 2 standartlarına göre analizler incelendiğinde ise mevcut yapıda Eurocode 2 standardı ile yapılan analizlerde hasar oranlarının daha düşük çıktığı görülmektedir. Güçlendirilmiş yapıda ise herhangi bir fark görülmemektedir.

Kolonlarda oluşan hasarlar ele alındığında, X ve Y doğrultusundaki deprem etkileri sonucu mevcut durumdaki yapıda X yönündeki doğrusal olmayan hesap yöntemiyle yapılan analizler hariç diğer durumlarda ileri hasar ve göçme bölgesinde kolon elemanı bulunduğu görülmektedir. Güçlendirilmiş yapıda ise her iki yönde tüm durumlarda kolon elemanların sınırlı hasar ve belirgin hasar bölgesinde kaldığı görülmektedir. Doğrusal olmayan yöntemle yapılan analizlerde kolon hasar yüzdeleri doğrusal yöntemle yapılan analizlerdeki kolon hasar yüzdelerine oranla hasar oranının daha düşük olduğu gözükmemektedir. TS 500 ve Eurocode 2 standartlarına göre analizler incelendiğinde ise mevcut yapıda Eurocode 2 ile yapılan analizlerde hasar oranlarının daha düşük çıktığı görülmektedir.

Analiz sonuçlarına göre yapıya eklenen betonarme perdeler, deprem kuvvetlerinin ve bu kuvvetler neticesinde oluşan momentlerin önemli kısmını karşılamaktadır. Özellikle mevcut durumdaki yapıda Y yönünde tüm kuvvetler kolon elemanların üzerinde iken güçlendirme perdeleri eklenmesi sonrası perde taban moment oranları güçlendirilmiş yapı doğrusal yöntemde %21'e, doğrusal olmayan yöntemde ise %25'e kadar yükselmiştir. Doğrusal ve doğrusal olmayan analizler kıyaslandığında ise mevcut durumdaki yapıda herhangi bir farklılık oluşmadığı, güçlendirilmiş yapıdaki durumda ise doğrusal olmayan yöntemdeki perde taban moment oranlarının doğrusal yöntemle kıyasla X yönünde yaklaşık %15 fazla, Y yönünde ise yaklaşık %19 oranında fazla çıktığı görülmektedir.

Güçlendirme çalışmaları mevcut burulma düzensizliklerinin iyileştirilmesi yönünde de olumlu etki etmiştir. Mevcut durumdaki yapının X ve Y yönlerindeki analiz sonuçlarına göre burulma oranı $\eta_{bi}=1,64$ olarak sınır değerleri aştığı ve yapıda A1 düzensizlik

durumu gerekleŖtiđi görülmektedir. GlendirilmiŖ yapıda ise her iki yöndeki durum incelendiğinde burulma katsayısı, glendirilmiŖ yapı Y yönünde doğrusal yöntemle yapılan analize göre maksimum $\eta_{bi} = 1,18$ değerinde olduğu böylece yönetmelik sınırının altında bir değere indiği görülmektedir.

Göreli kat öteleme değerleri incelendiğinde ise mevcut durumdaki yapının öteleme değerlerinin glendirilmiŖ yapıdaki öteleme değerlerine oranla yaklaşık %50 fazla olduğu görülmektedir. Doğrusal olmayan hesap yöntemiyle yapılan analizlerdeki göreli kat ötelemeleri doğrusal hesap yöntemiyle yapılan değerlere göre daha fazla olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak bu tez kapsamında yapıya betonarme perde elemanlarının ilave edilmesiyle binanın yatay rijitliğinin artığı, yer deđiŖtirmelerin azaldığı, taban kesme kuvvetinin bir kısmının ilave edilen perdeler tarafından karŖılanmasıyla kolon ve kiriŖ elemanların daha küçük yüklemelere maruz kaldığı ve kesitlerinin daha az hasara uğradığı grlmŖtir. Perde eklenmesi sonucu mevcut yapının performans seviyesinin arttığı ve hasar seviyelerinin azaldığı, A1 burulma düzensizliğinin güçlendirilme sonrasında olmadığı grlmŖtir. Doğrusal ve doğrusal olmayan analizler genel olarak değerlendirildiğinde ise kolon ve kiriŖlerdeki hasar oranları doğrusal olmayan hesap yöntemiyle yapılan analizlerde daha dŖk çıkmıŖtır. Yine doğrusal olmayan hesap yöntemiyle yapılan analizlerdeki göreli kat ötelenmesi değerleri doğrusal hesap yöntemiyle yapılan analizlerdeki sonuçlara göre daha yüksek çıkmıŖtır.

8.2. neriler

Planda burulma rijitliklerinin istenen seviyede sağlanması için betonarme perde elemanların olabildiğince planın dıŖ çevresine yerleŖtirilmesi ve perde elemanların kat planı içinde bir bölgede yođunlaŖtırılmadan kat planı içinde dağıtılması daha uygun olabilir. Küçük bir bölgede yođunlaŖmıŖ deprem yk etkilerinin temel sistemine aktarılması zorlaŖabilir. Bu sebeple mevcut yapılardaki mimari planlar iyi irdelenerek güçlendirme perdeleri planda en uygun bölgelere yerleŖtirilmelidir.

KAYNAKLAR

- AFAD, 2018. *Türkiye deprem tehlike haritası*. Erişim adresi: <https://www.afad.gov.tr>. Erişim tarihi: 01 Mayıs 2023
- Afyon Kocatepe Üniversitesi Deprem Uygulama ve Araştırma Merkezi. Erişim adresi: <https://deprem.aku.edu.tr/depremlerin-olusumu-ve-turleri/>. Erişim tarihi: 06 Nisan 2023
- Ahıskalı, H. (2021). *Betonarme Yapılarda Güçlendirme Yöntemlerinin Tbdy'ye Göre İrdelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Maltepe Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yapı-Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Deprem Mühendisliği, İstanbul.
- Anadolu'yu çevreleyen levhalar ve yönleri*. Erişim adresi: <https://jeogenc.net/turkiyenin-levha-yapisi.html>. Erişim tarihi: 17 Temmuz 2023
- Arıtan, E. (2023). *2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine Göre Betonarme Binalarda Yapısal Derzlerden Oluşan Sorunların Düzenlenmesinin, Ülkemiz Yapı Stoku Geleceğine Katkısının İrdelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, KTO Karatay Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.
- Atmaca, M. (2013). *Betonarme Yapılarda Performans Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Bilim Dalı, Eskişehir.
- Aykaç, S., Aykaç, B., Ekinci, Y. (2011). BA Yapılarda Konsol Kirişlere Aktarılan İlave Yükler. *İMO Teknik Dergi*, 5549-5462-351.
- Batmacı, H. (2011). *Depremde hasar gören bir binanın mantolama, perde ilavesi ve kat azaltılması yöntemi ile güçlendirilmelerinin karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Can, H. (1995). Betonarme kolonların komşu iki yüzünden manto ile onarımı ve güçlendirilmesi. *Teknik Dergi*, 6(1), 903 - 918.
- Can, H. (2020). *Deprem Mühendisliğine Giriş Ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı Yüksek Lisans Ders Notları*.
- Celep, Z., Kumbasar, N. (2000). *Deprem Mühendisliğine Giriş Ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı*. İstanbul.
- Celep, Z. (2018). *Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı*. İstanbul.
- Ceritli, S. (2006). *Depremde hasar görmüş yapıların mantolama ve perdelerle güçlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Çavdar, Ö., Çelik, H.İ. (2022). Yüksek Bir Binanın Deprem Performansına Dış Destek Kirişlerin Etkisinin Doğrusal Ve Doğrusal Olmayan Yöntemlerle İncelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 27(1), 271-290.

- Çekiçleme etkisi*. Erişim adresi: https://www.devalt.org/newsletter/sep03/of_2.htm. Erişim tarihi: 17 Temmuz 2023
- Çırak, İ.F. (2011). Yığma Yapılarda Oluşan Hasarlar, Nedenleri Ve Öneriler. *SDÜ Uluslararası Teknolojik Bilim Dergisi*, 3(2), 55-60.
- DBYBHY, (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.
- Demir, F., Erkan, K.T., Dilmaç, H. & Tekeli, H. (2013). Mevcut Betonarme Binaların Doğrusal Elastik Ve Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemleri İle İncelenmesi Üzerine Bir Değerlendirme. 2. *Türkiye DepremMühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, 25-27 Eylül 2013. Mustafa Kemal Üniversitesi-Hatay.
- Demirkan, D. (2014). *Betonarme Yapılarda Onarım Ve Güçlendirme Yöntemleri*, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Aksaray.
- Deprem dalgaları, Rayleigh ve love dalgaları*. Erişim adresi: <https://www.fizik.net.tr/site/deprem-dalgaları/>. Erişim tarihi: 17 Temmuz 2023
- Diri fay haritası*. Erişim adresi: <http://mta.gov.tr>. Erişim tarihi: 01 Mayıs 2023
- Doğangün, A. (2019). *Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı*, İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Doğru-atomlu faylar, Normal faylar, Ters faylar, Oblik atomlu faylar*. Erişim adresi: <http://tag.eng.ankara.edu.tr/deprem.htm>. Erişim tarihi: 17 Temmuz 2023
- Dünya üzerindeki levhalar*. Erişim adresi: <https://erhananadol.com/5-harita-calismalari/>. Erişim tarihi: 17 Temmuz 2023
- Düzgünlü, O. (2019). *Çelik Levhalarla Kesmeye Karşı Güçlendirilen Betonarme Kirişlerin Analitik Olarak Modellenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya.
- Elbruz, K. (2005). *Betonarme Yapıların Onarımı, Güçlendirilmesi ve Lifle Güçlendirilmiş Polimerler*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Epoksi reçinesi ile onarım*. Erişim adresi: <https://www.sanalsantiye.com/epoksi-epoxy-ile-onarim-yontemleri/>. Erişim tarihi: 17 Temmuz 2023
- Ergünay, O. (2007). *Tmmob Afet Sempozyumu*, 05-07 Aralık 2007. Ankara, Türkiye.
- Farklı zemin türlerinde gerçekleşen oturma sonucu yapısal hasar*. Erişim adresi: <https://www.sanalsantiye.com/tbdy-2018e-gore-ornek-bir-konsolidasyon-oturmasi-hesabi/>. Erişim tarihi: 17 Temmuz 2023
- Işık, M.E., Kuruşcu, A.O. (2018). Yapısal Titreşimlerin Kullanıcı Konforuna Etkisinin İncelenmesi. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 01, 20-34.
- İki yüzey arasındaki aderansı artırmak için epoksi sürülmesi*. Erişim adresi: <https://vnm.sika.com/en/construction/concrete-repair/bonding-primer.html>. Erişim tarihi: 17 Temmuz 2023

- Karaca, N. (2022). *Mevcut Betonarme Bir Okul Binasının Deprem Güvenliğinin İncelenmesi Ve Tbdy-2018'e Göre Alternatif Güçlendirme Yöntemlerinin Araştırılması Ve Çözüm Önerileri*, Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.
- Karal, K. (2021). *Mevcut Betonarme Bir Binanın Tbdy-2018'e Göre Deprem Performansının İncelenmesi Ve Güçlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Bilim Dalı, Manisa.
- Kaya, M. (2017). *Betonarme Bir Okul Binasının 2007 Deprem Yönetmeliğine Göre Performansının Belirlenmesi ve Güçlendirme Alternatiflerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Küçükaslan, N., Altan, F.M. (2021). Güçlendirilen Mevcut Bir Yapının TDY 2007 ile 2018 Yeni Türkiye Bina, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Uluslararası Mühendislik Teknolojileri ve Uygulamalı Bilimler Dergisi*, 4(1), 18-36s.
- Kısa kolon oluşumu*. Erişim adresi: <https://insapedia.com/kisa-kolon-nedir-nasil-olusur-ne-onlem-alinir/>. Erişim tarihi: 17 Temmuz 2023
- Kirişlerin 3 taraflı kesit büyütülmesi ile güçlendirilmesi*. Erişim adresi: <https://ask.hilti.com.tr/>. Erişim tarihi: 17 Temmuz 2023
- Kirişsiz Döşemede Zımbalama Hasarı*. Erişim adresi: <https://www.sanalsantiye.com/kirissiz-dosemeler-ve-zimbalama-etkisi-2/> Erişim tarihi: 28 Mayıs 2023
- Koçak, A. (2021). *Betonarme Binalarda Donatı Yerleştirme İlkeleri Ders Notları*. Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Anabilim Dalı, İstanbul.
- Koç, V. (2022). *Güçlendirme Ders Notları*. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği. Samsun
- Kolonda kesme hasarı, Kolonda basınç kırılması aşamaları*. Erişim adresi: <https://www.sanalsantiye.com/kolon-catlamasi-nedir/>. Erişim tarihi: 17.07.2023
- Körükcü, İ. (2021). *Mevcut Ve Güçlendirilmiş Betonarme Bir Binanın Doğrusal Olmayan Yöntemler İle Deprem Performans Analizi Ve Maliyet Hesabı*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Köse, M., Özgen, K. (2003). Betonarme elemanların çelik lamalarla güçlendirilmesi. *İTÜ Dergisi*, 2(1), 41-50.
- Meral, E. (2021). Betonarme Binaların Doğrusal Elastik ve Doğrusal Elastik Olmayan Zaman Tanım Alanında Analizlerinden Elde Edilen Sismik Taleplerin Karşılaştırılması. *Avurap Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 32, 183-190.
- Onur, H. (2006). *Betonarme Binaların Taşıyıcı Eleman ve Sistem İlave Edilerek İyileştirilmesi ve Güçlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- S ve P dalgaları, Alp-Himalaya deprem kuşağı.* Erişim adresi: <https://acikders.ankara.edu.tr>. Erişim tarihi: 17 Temmuz 2023
- Sağlıyan, S. (2018). Dolgu Duvarların Modellenme Yaklaşımlarının Betonarme Çerçeve Davranışına Etkisi. *Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi*, 30(2), 165-174.
- Soydan, S. (2019). *Doğrusal Analiz Yöntemi ile Mevcut Bir Betonarme Yapının Performans Değerlendirilmesi ve Güçlendirme Tahkiklerinin Yapılması*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Sta4-Cad, 2000 - Structural Analysis For Computer Aided Design, Version 14.1, Serdar Amasralı - Sta Müh. Müş. Ltd. Şti.
- Şirin, C. (2006). *Yapılarda Oluşan Hasar Biçimleri ve Nedenleri ve Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi Teknikleri ile Bir Yapının Güçlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- TBDY, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. (2018). T. C. Resmi Gazete, 30364, 18 Mart 2018.
- Temelde oturma.* Erişim adresi: <https://www.insaport.com/makale/ahmet-das/izmirde-dolgu-zemine-oturan-binalar-icin-yikim-karari/>. Erişim tarihi: 17 Temmuz 2023
- Topçu, A. (2019). *Betonarme 2 Ders Notları*.
- Tosun, M. (2009). *Perde duvarlı betonarme karkas binanın yapımı sırasında malzemelerinin mekanik özelliklerinin betonun dayanımına etkisi, kat perdesi deprem süresince hasar oluşmuş perde karkas şemalı bir binanın depreme dayanıklılığının ve güçlendirme metotlarının incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- TS 500, (2000). *Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları*, Türk Standartları Enstitüsü Ankara.
- Turna, Ç. İ. (2021). *Kat Adetleri Farklı İki Adet Betonarme Yapının Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizine Göre Tasarım Sonuçlarının Tbdy 2019 Kapsamında Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Aydın Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Tutkal, V. (2018). *Kat Adetleri Farklı Bina Türü Yapıların Deprem Performanslarının Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemleri İle İrdelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Elazığ.
- Uyan, B. (2021). *Planda ve Düşeyde Düzensiz Mevcut Betonarme Binaların Doğrusal Olmayan Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Bilim Dalı, Manisa.
- Yağlıkçı, S. (2020). *Betonarme Binaların Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri İle Analizi Üzerine Bir Çalışma*, Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.
- Yer kabuğu katmanı.* Erişim adresi: <https://erhananadol.com/yerin-dunyanin-yapisi/>. Erişim Tarihi: 17 Temmuz 2023

- Yıldırım, M. (2008). *Deprem Etkisindeki Betonarme Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay.
- Yılmaz, G., Umut, S.U. (2017). *Yapılarda Hasar ders notları*.
- Yüksel, İ. (2008). Betonarme Binaların Deprem Sonrası Acil Hasar Değerlendirmeleri, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 24(1-2), 260-276.
- Zolmaz, Y. (2019). *Mevcut Betonarme Bir Binanın Perdelerle Güçlendirilmesi ve Yapısal Performansının TB DY-2018'e Göre Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Buğra ÇELTİK

EĞİTİM DURUMU

Lisans Öğrenimi : 2014, Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği

Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

İŞ DENEYİMİ

Stajlar : Ulubol İnşaat - Kuzey Ankara Kentsel Dönüşüm Projesi

Çalıştığı Kurumlar : 2020-devam ediyor, İş Güvenliği Uzmanı, EGO/ABB

2019-2019, İnşaat Mühendisi, Alarko Holding

2018-2019, İnşaat Mühendisi, MFA

2016-2018, İnşaat Mühendisi, Batisöke Çimento A.Ş.

2014-2015, İnşaat Mühendisi, BriSA

Tarih: 14 Temmuz 2023