KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI YÜKSEKLİĞE SAHİP BOŞLUKLU PERDELİ BETONARME YAPILARIN DEPREM ETKİSİNDEKİ DAVRANIŞLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

MUHAMMET FATİH ÇAKIR

KOCAELİ 2019

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI YÜKSEKLİĞE SAHİP BOŞLUKLU PERDELİ BETONARME YAPILARIN DEPREM ETKİSİNDEKİ DAVRANIŞLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

MUHAMMET FATİH ÇAKIR

Dr. Öğr. Üyesi Erkan AKPINAR
Danışman, Kocaeli Üniversitesi .....

Doç. Dr. Seval PINARBAŞI ÇUHADAROĞLU
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi .....

Prof. Dr. Yasin FAHJAN
Jüri Üyesi, Gebze Teknik Üniversitesi .....

Tezin Savunulduğu Tarih: 18.12.2018

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Tez çalışması kapsamında, 12 ve 18 katlı betonarme bağ kirişli perdeli yapılarla, 24 katlı betonarme ve çelik bağ kirişli perdeli yapıların doğrusal ve doğrusal olmayan davranışları Türk Bina Deprem Yönetmeliği 2018 kullanılarak incelendi.

Bu çalışmada, desteğini ve zamanını esirgemeyen değerli tez danışmanım Dr. Erkan Akpınar'a teşekkür ederim.

Hayatımın her döneminde maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen kıymetli aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Ocak - 2019 Muhammet Fatih ÇAKIR

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ v
TABLOLAR DİZİNİ viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ x
ÖZET xv
ABSTRACT xvi
GİRİŞ 1
1. BAĞ KİRİŞLİ PERDELİ BETONARME YAPILAR 3
1.1. Betonarme Bağ Kirişler 3
1.2. Çelik Bağ Kirişler 5
1.3. Literatür Araştırması 7
1.3.1. Betonarme bağ kiriş çalışmaları 7
1.3.2. Çelik bağ kiriş çalışmaları 9
2. DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMI KURAMI 13
2.1. Kapasite Tasarımı Yaklaşımı 13
2.2. Performansa Dayalı Tasarım Yaklaşımı 13
2.2.1. Performansa dayalı tasarımda doğrusal olmayan davranışın idealleştirilmesi 14
2.2.2. Plastik mafsal hipotezi 19
2.3. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi 22
3. 2018 TÜRK BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE DOĞRUSAL TASARIM YAKLAŞIMI 23
3.1. Deprem Yer Hareketi Düzeyleri 23
3.2. Deprem Etkisi Altındaki Yapılarda Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayıları 23
3.3. Deprem Tasarım Sınıfları 24
3.4. Bina Yüksekliği ve Bina Yükseklik Sınıfları 25
3.5. Deprem Etkisi Altında Düzensiz Binalar 25
3.6. Deprem Etkisi Altında Binaların Dayanıma Göre Tasarımı İçin Hesaplar 27
3.6.1. Deprem yükü azaltma katsayısı 27
3.6.2. Yapı davranış katsayısı ve dayanım fazlalığı katsayısı 27
3.6.3. Doğrusal tasarımda uygulanması gereken genel kurallar 29
3.6.4. Tezde kullanılan malzeme özellikleri, yükler ve birleşimleri 30
3.6.5. Doğrusal hesap yönteminin seçilmesi 32
3.6.5.1. Eşdeğer deprem kuvveti eşitlenmesi 32
3.6.6. Göreli kat ötelenmelerinin sınırlandırılması ve ikinci mertebe etkisi 33
3.7. Deprem Etkisi Altında Yerinde Dökme Betonarme Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarımı 34
3.7.1. Süneklik düzeyi yüksek kolonların tasarımı 34
3.7.2. Süneklik düzeyi yüksek kirişlerin tasarımı 35
3.7.3. Süneklik düzeyi yüksek perdelerin tasarımı 36

3.7.3.1. Süneklik düzeyi yüksek perdelerin en kesit koşulları 36
3.7.3.2. Süneklik düzeyi yüksek perdelerin tasarım eğilme momentleri ve kesme kuvvetleri 38
3.7.3.3. Bağ kirişli (boşluklu) perdelere ilişkin kurallar 40
4. 2018 TÜRK BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE DOĞRUSAL OLMAYAN TASARIM YAKLAŞIMI 42
4.1. Şekil Değiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım Yaklaşımı 42
4.1.1. Performans hedefleri 42
4.1.2. Doğrusal olmayan davranış modelleri 43
4.1.2.1. Yığılı plastik davranış modeli 43
4.1.2.2. Yayılı plastik davranış modeli 43
4.1.3. Doğrusal olmayan hesapta taşıyıcı sistem modellemesine ilişkin genel kurallar 44
4.1.3.1. Genel modelleme kuralları 44
4.1.3.2. Betonarme taşıyıcı sistemlerde etkin kesit rijitliğinin hesabı 45
4.1.4. Doğrusal olmayan hesap yöntemleri 45
4.1.4.1. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi 45
4.1.5. Şekil değiştirme ve iç kuvvetlerin değerlendirilmesi 46
4.2. Deprem Etkisi Altında Yüksek Bina Tasarımı İçin Özel Kurallar 48
4.2.1. Yüksek yapılarda performans hedefleri ve tasarım aşamaları 48
4.2.1.1. Tasarım aşaması I 48
4.2.1.2. Tasarım aşaması II 49
4.2.1.3. Tasarım aşaması III 51
5. İNCELENEN YAPILARIN DOĞRUSAL ANALİZ İLE TASARIMI VE DEĞERLENDİRİLMESİ 52
5.1. Yapıya Ait Genel Bilgiler 52
5.1.1. Yapı geometrisi ve taşıyıcı sistem bilgileri 52
5.1.2. Yapı tasarımında kullanılan deprem parametreleri 57
5.1.3. Yapı tasarımında kullanılan yükler 57
5.1.4. Yapı tasarımında kullanılan malzeme özellikleri 58
5.2. Doğrusal Tasarımda Sayısal İncelemeler 58
5.2.1. Yapı model görünüşleri 59
5.2.2. Deprem yer hareketi spektrumunun belirlenmesi 59
5.2.3. Bina kullanım sınıfı, bina önem katsayısı, deprem tasarım sınıfı ve bina yükseklik sınıfının belirlenmesi 60
5.2.4. Bina performans hedefinin seçilmesi 61
5.2.5. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı ve dayanım fazlalığı katsayısı 61
5.2.6. Deprem yükü azaltma katsayısının seçimi 62
5.2.7. Binalarda düzensizlik kontrolleri 63
5.2.7.1. Göreli öteleme kontrolleri 64
5.2.7.2. A1 burulma düzensizliği ve B2 komşu katlar arası rijitlik düzensizliği kontrolü 65
5.2.7.3. A2 döşeme süreksizliği ve A3 planda çıkıntı bulunması durum kontrolü 67
5.2.7.4. B1 zayıf kat ve B3 taşıyıcı sistem düşey eleman süreksizliği kontrolü 68
5.2.7.5. İkinci mertebe etkisi kontrolü 68

5.2.8. Doğrusal tasarım esasları ve deprem yüklerinin belirlenmesi 70
5.2.8.1. Binaların modal analiz sonuçları ve kat kütleleri 70
5.2.8.2. Kat kesme kuvvetleri ve eşdeğer deprem yükü kontrolü 71
5.2.9. Etkin kesit rijitlikleri 74
5.2.10. Betonarme kolon kesit hesabı 75
5.2.11. Betonarme kiriş kesit hesabı 80
5.2.12. Betonarme perde kesit hesabı 81
5.2.13. Betonarme bağ kiriş kesit hesabı 89
6. İNCELENEN YAPILARIN DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZLERLE DEĞERLENDİRİLMESİ 94
6.1. Yapı Modelinin Oluşturulması 94
6.2. Deprem Etkisinin Tanımlanması ve Ölçeklendirme 95
6.3. Yapı Performans Hedefi 97
6.4. Yapı Malzeme Özellikleri ve Diğer Parametreleri 97
6.4.1. Yapı malzeme özellikleri 98
6.4.2. Sönüm modeli 99
6.4.3. Etkin kesit rijitliği hesabı 100
6.5. Kesit Tanımlamaları ve Sınır Değerler 101
6.5.1. Kolonların modellenmesi ve sınır değerler 101
6.5.2. Kirişlerin modellenmesi ve sınır değerler 103
6.5.3. Perdelerin modellenmesi ve sınır değerler 104
6.5.4. Bağ kirişlerin modellenmesi ve sınır değerler 106
6.5.4.1. Betonarme bağ kirişlerin modellenmesi ve sınır değerler 106
6.5.4.2. Çelik bağ kirişlerin modellenmesi ve sınır değerler 108
6.6. Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçları 110
6.6.1. Mod şekilleri ve kütle katılımları 110
6.6.2. Göreli kat ötelemesi kontrolü ve karşılaştırmaları 111
6.6.3. Kiriş dönme kontrolleri ve karşılaştırmaları 116
6.6.4. Kolon dönme kontrolleri ve karşılaştırmaları 119
6.6.5. Perde kontrolleri ve karşılaştırmaları 122
6.6.5.1. Perde kesme kapasitesi kontrolü ve karşılaştırmaları 122
6.6.5.2. Perde birim şekildeğiştirme kontrolü ve karşılaştırmaları 126
6.6.6. Bağ kiriş kontrolleri ve karşılaştırmaları 129
6.6.7. Enerji diyagramları 134
7. SONUÇ VE ÖNERİLER 140
KAYNAKLAR 144
EKLER 147
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER 163
ÖZGEÇMİŞ 164

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Diyagonal donatı düzenli betonarme bağ kiriş 4
Şekil 1.2. Uygulamada diyagonal donatı düzenli betonarme bağ kiriş 4
Şekil 1.3. Ara plakalı çelik bağ kiriş örneği ve bağlantısı 5
Şekil 1.4. Farklı betonarme perde-çelik bağ kiriş bağlantıları 6
Şekil 1.5. Çelik bağ kirişin dönme açısının belirlenmesi 6
Şekil 1.6. Örnek numunelerin özellikleri 7
Şekil 1.7. Döşeme donatı düzeni 9
Şekil 1.8. Betonarme bağ kirişli perde duvar örneği 9
Şekil 1.9. Çalışmada kullanılan çelik profil-perde duvar örneği 10
Şekil 1.10. Çalışmada kullanılan çelik profilin deneysel ve analitik modeli 11
Şekil 1.11. Çalışmada kullanılan çelik profilin azaltılmış bölge temsili 12
Şekil 2.1. Kesit hasar sınırları ve bölgeleri 14
Şekil 2.2. Şematik yük-şekildeğiştirme diyagramı 15
Şekil 2.3. İdeal malzeme modelleri 15
Şekil 2.4. Kesitlerdeki sargı etkisi 16
Şekil 2.5. Kolonlardaki sargı donatısının sünekliğe etkisi 16
Şekil 2.6. Sargılı ve sargısız beton gerilme-birim şekildeğiştirme grafiği 17
Şekil 2.7. Donatı çeliği gerilme-birim şekildeğiştirme grafiği 18
Şekil 2.8. Donatı çeliği için ideal gerilme-birim şekildeğiştirme grafiği 18
Şekil 2.9. Birinci ve ikinci mertebe etkileri 19
Şekil 2.10. Bağ kirişlerde plastik mafsal yerleri 20
Şekil 2.11. Moment-eğrilik diyagramı 21
Şekil 2.12. Doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler 21
Şekil 3.1. Perde uç bölgesi ve donatı düzeni hakkında genel kurallar 38
Şekil 3.2. Perde tasarım eğilme momenti ve kesme kuvveti grafiği 39
Şekil 3.3. Bağ kiriş genel donatı düzeni 41
Şekil 4.1. Yığılı plastik modeli 43
Şekil 4.2. Yayılı plastik modeli 44
Şekil 5.1. 12 katlı binanın kalıp planı 53
Şekil 5.2. 18 katlı binanın kalıp planı 54
Şekil 5.3. 24 katlı betonarme bağ kirişli binanın kalıp planı 55
Şekil 5.4. 24 katlı çelik bağ kirişli binanın kalıp planı 56
Şekil 5.5. Binalarda kullanılan deprem parametreleri 57
Şekil 5.6. 12, 18, 24 katlı binaların ETABS programında 3D görünüşleri 59
Şekil 5.7. DD2 deprem düzeyi için tasarım spektrumu 60
Şekil 5.8. Deprem yükü azaltma katsayısı 63
Şekil 5.9. DD2-ZB deprem düzeyi için azaltılmış ivme tasarım spektrumu 63
Şekil 5.10. Çerçeve kirişlerde kullanılan eğilme ve kesme donatıları 80
Şekil 5.11. Kritik çerçeve kirişi 81
Şekil 5.12. Bina perde isimleri 82
Şekil 5.13. P13 perdesi kesme kontrolü 85
Şekil 5.14. P13 perdesi sürtünme kesmesi kontrolü 87
Şekil 5.15. 24 katlı binada P01 perdesi P-M-M kontrolü 88
Şekil 5.16. 24 katlı binada P13 perdesi P-M-M kontrolü 88

Şekil 5.17. 24 katlı binada P17 perdesi P-M-M kontrolü 89
Şekil 5.18. Bağ kiriş detayı 93
Şekil 6.1. 24 katlı binanın PERFORM 3D programındaki üç boyut ve kesit görünüşü 94
Şekil 6.2. 24 katlı bina için hedef spektrumu 96
Şekil 6.3. Seçilen deprem kayıtlarının hedef spektrumu ile ölçeklendirilmesi 96
Şekil 6.4. Binalarda kullanılan ortalama donatı çeliği σ-ε grafiği 98
Şekil 6.5. 24 katlı binada kullanılan sargısız beton modeli σ-ε grafiği 99
Şekil 6.6. 24 katlı binada kullanılan sargılı beton modeli σ-ε grafiği 99
Şekil 6.7. Sönüm parametreleri 99
Şekil 6.8. Rayleigh sönüm oranı 100
Şekil 6.9. Plastik mafsal bölgeleri 102
Şekil 6.10. Moment eğrilik grafiği 102
Şekil 6.11. 110x110 kolonunun moment-dönme ve eksenel kuvvet grafiği 103
Şekil 6.12. 60x60 kirişinin kuvvet-deformasyon ilişkisi grafiği 104
Şekil 6.13. P01 perdesi PERFORM 3D programında hücre kesiti tanımı 105
Şekil 6.14. P01 perdesi PERFORM 3D programında fiber modeli 105
Şekil 6.15. ASCE 41-13'e göre bağ kiriş model parametreleri 107
Şekil 6.16. 12, 18, 24 katlı binada betonarme bağ kiriş için kullanılan σ-ε mafsal modeli 108
Şekil 6.17. Çelik bağ kiriş dönme sınırları 109
Şekil 6.18. HE450B çelik bağ kirişinin moment-dönme grafiği 110
Şekil 6.19. Binalardaki 1.mod şekilleri 110
Şekil 6.20. 12 katlı binanın x yönü için göreli kat öteleme oranı kontrolü 111
Şekil 6.21. 12 katlı binanın y yönü için göreli kat öteleme oranı kontrolü 112
Şekil 6.22. 18 katlı binanın x yönü için göreli kat öteleme oranı kontrolü 112
Şekil 6.23. 18 katlı binanın y yönü için göreli kat öteleme oranı kontrolü 113
Şekil 6.24. 24 katlı betonarme bağ kirişli binanın x yönü için göreli kat öteleme oranı kontrolü 113
Şekil 6.25. 24 katlı betonarme bağ kirişli binanın y yönü için göreli kat öteleme oranı kontrolü 114
Şekil 6.26. 24 katlı çelik bağ kirişli binanın x yönü için göreli kat öteleme oranı kontrolü 114
Şekil 6.27. 24 katlı çelik bağ kirişli binanın y yönü için göreli kat öteleme oranı kontrolü 115
Şekil 6.28. 24 katlı binaların x yönü için göreli kat öteleme oranları karşılaştırmaları 115
Şekil 6.29. 24 katlı binaların y yönü için göreli kat öteleme oranları karşılaştırmaları 116
Şekil 6.30. 12 katlı binanın kiriş dönme değerleri 117
Şekil 6.31. 18 katlı binanın kiriş dönme değerleri 117
Şekil 6.32. 24 katlı B.B.K. binanın kiriş dönme değerleri 118
Şekil 6.33. 24 katlı Ç.B.K. binanın kiriş dönme değerleri 118
Şekil 6.34. 24 katlı binalardaki kiriş dönme değerleri karşılaştırması 119
Şekil 6.35. 12 katlı binanın kolon dönme değerleri 120
Şekil 6.36. 18 katlı binanın kolon dönme değerleri 120
Şekil 6.37. 24 katlı B.B.K. binanın kolon dönme değerleri 121
Şekil 6.38. 24 katlı Ç.B.K. binanın kolon dönme değerleri 121

Şekil 6.39. 24 katlı binalardaki kolon dönme değerleri karşılaştırması 122
Şekil 6.40. 12 katlı binanın perde kesme kapasitesi kontrolü 123
Şekil 6.41. 18 katlı binanın perde kesme kapasitesi kontrolü 123
Şekil 6.42. 24 katlı B.B.K. binanın perde kesme kapasitesi kontrolü 124
Şekil 6.43. 24 katlı Ç.B.K. binanın perde kesme kapasitesi kontrolü 124
Şekil 6.44. 24 katlı binalardaki perdenin kesme kapasitesi karşılaştırması 125
Şekil 6.45. Betonarme bağ kirişli perdede beton basınç birim şekildeğiştirme kontrolü 126
Şekil 6.46. Betonarme bağ kirişli perdenin donatı çeliğinde birim şekildeğiştirme kontrolü 127
Şekil 6.47. Çelik bağ kirişli perdenin beton basınç birim şekildeğiştirme kontrolü 127
Şekil 6.48. Çelik bağ kirişli perdenin donatı çeliği birim şekildeğiştirme kontrolü 128
Şekil 6.49. 24 katlı binaların beton birim şekildeğiştirme kontrolü 128
Şekil 6.50. 24 katlı binaların donatı çeliğindeki birim şekildeğiştirme kontrolü 129
Şekil 6.51. 12 katlı binanın x yönü bağ kirişlerindeki dönme değerleri 130
Şekil 6.52. 12 katlı binanın y yönü bağ kirişlerindeki dönme değerleri 130
Şekil 6.53. 18 katlı binanın x yönü bağ kirişlerindeki dönme değerleri 131
Şekil 6.54. 18 katlı binanın y yönü bağ kirişlerindeki dönme değerleri 131
Şekil 6.55. 24 kat B.B.K. binanın x yönü bağ kirişlerindeki dönme değerleri 132
Şekil 6.56. 24 kat B.B.K. binanın y yönü bağ kirişlerindeki dönme değerleri 132
Şekil 6.57. 24 kat Ç.B.K. binanın x yönü bağ kirişlerindeki dönme değerleri 133
Şekil 6.58. 24 kat Ç.B.K. binanın y yönü bağ kirişlerindeki dönme değerleri 133
Şekil 6.59. DM kaydı altında kolonlar tarafından tüketilen enerji oranı (y ekseni)-zaman grafiği (x ekseni) 134
Şekil 6.60. DM kaydı altında kirişler tarafından tüketilen enerji oranı (y ekseni)-zaman grafiği (x ekseni) 135
Şekil 6.61. DM kaydı altında perdeler tarafından tüketilen enerji oranı (y ekseni)-zaman grafiği (x ekseni) 135
Şekil 6.62. DM kaydı altında x yönü bağ kirişler tarafından tüketilen enerji oranı (y ekseni)-zaman grafiği (x ekseni) 136
Şekil 6.63. DM kaydı altında y yönü bağ kirişler tarafından tüketilen enerji oranı (y ekseni)-zaman grafiği (x ekseni) 136
Şekil 6.64. DM kaydı altında kolonlar tarafından tüketilen enerji oranı (y ekseni)-zaman grafiği (x ekseni) 137
Şekil 6.65. DM kaydı altında kirişler tarafından tüketilen enerji oranı (y ekseni)-zaman grafiği (x ekseni) 137
Şekil 6.66. DM kaydı altında perdeler tarafından tüketilen enerji oranı (y ekseni)-zaman grafiği (x ekseni) 138
Şekil 6.67. DM kaydı altında x yönü bağ kirişler tarafından tüketilen enerji oranı (y ekseni)-zaman grafiği (x ekseni) 138
Şekil 6.68. DM kaydı altında y yönü bağ kirişler tarafından tüketilen enerji oranı (y ekseni)-zaman grafiği (x ekseni) 139

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 3.1. Deprem yer hareket düzeyleri 23
Tablo 3.2. Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları..... 24
Tablo 3.3. Deprem tasarım sınıfları..... 24
Tablo 3.4. Bina yükseklik sınıfları 25
Tablo 3.5. Düzensizlik tanımları 26
Tablo 3.6. Bina taşıyıcı sistem parametreleri 28
Tablo 3.7. Etkin kesit rijitliği çarpanları..... 29
Tablo 3.8. Hareketli yük katılım katsayıları 30
Tablo 3.9. Beton sınıfları ve özellikleri..... 30
Tablo 3.10. Donatı çelikleri ve özellikleri..... 30
Tablo 3.11. Hareketli yük değerleri..... 31
Tablo 4.1. Deprem yer hareketi düzeylerine göre performans hedefleri..... 42
Tablo 4.2. Beklenen malzeme dayanımı..... 44
Tablo 4.3. II. aşama için etkin kesit rijitlik çarpanları 50
Tablo 5.1. 12, 18, 24 katlı binaların taşıyıcı sistem boyutları 57
Tablo 5.2. 12, 18, 24 katlı binaların deprem ve yapı parametreleri..... 60
Tablo 5.3. 12 katlı binanın göreli öteleme kontrolü 64
Tablo 5.4. 18 katlı binanın göreli öteleme kontrolü 64
Tablo 5.5. 24 katlı binanın göreli öteleme kontrolü 65
Tablo 5.6. 12 katlı binanın A2 ve B2 düzensizlik kontrolleri 66
Tablo 5.7. 18 katlı binanın A2 ve B2 düzensizlik kontrolleri 66
Tablo 5.8. 24 katlı binanın A2 ve B2 düzensizlik kontrolleri 67
Tablo 5.9. 12 katlı binanın ikinci mertebe etkisi kontrolü 68
Tablo 5.10. 18 katlı binanın ikinci mertebe etkisi kontrolü 69
Tablo 5.11. 24 katlı binanın ikinci mertebe etkisi kontrolü 69
Tablo 5.12. 12, 18, 24 katlı binaların sırayla kütle katılım oranı tablosu 71
Tablo 5.13. 12 katlı binanın kat kesme kuvvetleri 71
Tablo 5.14. 18 katlı binanın kat kesme kuvvetleri 72
Tablo 5.15. 24 katlı binanın kat kesme kuvvetleri 72
Tablo 5.16. 12 katlı binanın binanın eşdeğer artım katsayısı 73
Tablo 5.17. 18 katlı binanın binanın eşdeğer artım katsayısı 74
Tablo 5.18. 24 katlı binanın binanın eşdeğer artım katsayısı 74
Tablo 5.19. Etkin kesit rijitlikleri 75
Tablo 5.20. 12 katlı yapıda eksenel yük ve enine donatı kontrolü 76
Tablo 5.21. 12 katlı yapıda boyuna donatı oranları 76
Tablo 5.22. 18 katlı yapıda eksenel yük ve enine donatı kontrolü 77
Tablo 5.23. 18 katlı yapıda boyuna donatı oranları 78
Tablo 5.24. 24 katlı yapıda eksenel yük ve enine donatı kontrolü 79
Tablo 5.25. 24 katı yapıda boyuna donatı oranları 79
Tablo 5.26. 12, 18, 24 katlı binalarda çerçeve kiriş donatıları 80
Tablo 5.27. 24 katlı yapıda perde eksenel yük konrolü..... 82
Tablo 5.28. Perdelerde kullanılan boyuna donatılar ve yatay donatılar 86
Tablo 5.29. Bağ kirişlerde kullanılan donatılar 93
Tablo 6.1. Kullanılan depremler ve özellikleri 97

Tablo 6.2. Kolon dönme sınırları 103
Tablo 6.3. Çelik bağ kiriş rijitliği 109
Tablo 6.4. 12, 18, 24 katlı binalarda doğrusal olmayan tasarımda kullanılan doneler 125
Tablo 7.1. 12, 18, 24 katlı binaların doğrusal olmayan sonuçlarının karşılaştırmaları 143

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A_c : Kolon veya perde uç bölgesinin brüt enkesit alanı
A_{ck} : Sargı donatısının dışından alınan ölçü içinde kalan çekirdek beton alanı
A_e : Bir katta gözönüne alınan deprem doğrultusundaki etkili kesme alanı
A_s : Boyuna donatı alanı
A_{sh} : Enine donatı alanı
A_w : Kolon enkesiti etkin gövde alanı
A_{sd} : Bağ kirişinde çapraz donatı demetinin her birinin toplam alanı
a_i : Yatayda bir etriye kolu veya çiroz tarafından mesnetlenen boyuna donatıların eksenleri arasındaki uzaklık
b_0 : Betonu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boyutu
b_k : Birbirine dik yatay doğrultuların her biri için kolon veya perde uç bölgesi çekirdeğinin enkesit boyutu
c : Bağ kirişli perde parçalarının enkesit ağırlık merkezleri arasındaki uzaklık
D : Dayanım fazlalığı katsayısı
d : Kirişin faydalı yüksekliği
d_b : Boyuna donatı çapı
E_c : Betonun elastisite modülü
$E_d^{(X)}$: (X) doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi
$E_d^{(Y)}$: (Y) doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi
$E_d^{(Z)}$: (Z) doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi
E_s : Donatı elastisite modülü
EI_e : Yığılı plastik davranışa göre modellenen kolon, kiriş, bağ kiriş veya perdenin etkin kesit rijitliği
F_s : Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
F_1 : 1,0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı
f_c : Sargılı betonda beton basınç gerilmesi
f_{cc} : Sargılı beton dayanımı
f_{cd} : Betonun tasarım basınç dayanımı
f_{ce} : Betonun ortalama (beklenen) basınç dayanımı
f_{ck} : Betonun karakteristik silindir basınç dayanımı
f_{co} : Sargısız betonun basınç dayanımı
f_{ctd} : Betonun tasarım çekme dayanımı
f_e : Etkili sargılama basıncı
f_y : Donatı çeliği akma dayanımı
f_{yd} : Boyuna donatının tasarım akma dayanımı
f_{ye} : Çeliğin ortalama (beklenen) akma dayanımı

f_{yk} : Boyuna donatı karakteristik akma dayanımı
f_{ywd} : Enine donatının tasarım akma dayanımı
f_{ywk} : Enine donatının karakteristik akma dayanımı
f_{ywe} : Enine donatının ortalama (beklenen) akma dayanımı
G : Sabit yük etkisi
G : Kayma modülü
g : Yerçekimi ivmesi
H_{cr} : Perde kritik yüksekliği
H_N : Bina toplam yüksekliği
H_w : Perde yüksekliği
h : Kolonun gözönüne alınan deprem doğrultusundaki enkesit boyutu
h_i : Binanın i'inci katının yüksekliği
h_k : Kiriş yüksekliği
I : Bina önem katsayısı
I_{cr} : Çatlamış kesit atalet momenti
I_e : Etkin kesit atalet momenti
L : Hareketli yük
L_p : Plastik mafsal boyu
L_s : Kesme açıklığı
M_{DEV} : Betonarme perdenin veya çaprazlı çerçevenin tabanında deprem yüklerinden meydana gelen devrilme momenti
M_0 : Binanın tümü için deprem yüklerinden tabanda meydana gelen toplam devrilme momenti
M_y : Etkin akma momenti
m_i : i'inci katın toplam kütlesi
N : Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölümdeki toplam kat sayısı
N_V : Deprem etkisinde bağ kirişli perdenin bağ kirişlerinde oluşan kesme kuvvetlerinin tüm perde yüksekliği boyunca toplamı olarak perde parçalarının tabanında oluşan birbirine eşit çekme ve basınç eksenel kuvvetleri
n : Hareketli yük katılım katsayısı
P_n : Eleman basınç dayanımı
R : Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
S : Kar yükü etkisi
$S_{ae}(T)$: Yatay elastik tasarım spektral ivmesi
$S_{aR}(T)$: Azaltılmış tasarım spektral ivmesi
S_{DS} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
S_{D1} : 1,0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı
S_1 : Zemin etkilerine uyarlanmış 1,0 saniye periyot için spektral ivme katsayısı
S_S : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı
s : Sargı donatısı aralığı
T : Doğal titreşim periyodu

T_a : Yaklaşık yapı periyodu

T_A : Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu

T_B : Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu

T_L : Yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu

T_p : Binanın hakim doğal titreşim periyodu

V : Toplam yatay deprem kuvveti

V_c : Betonun kesme kuvveti dayanımına katkısı

V_d : Yük katsayıları ile çarpılmış düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan kesme kuvveti

V_{dy} : Kirişin herhangi bir kesitinde yük katsayıları ile çarpılmamış düşey yüklerden meydana gelen basit kiriş kesme kuvveti

V_e : Kolon, kiriş, birleşim bölgesi ve perdede enine donatı hesabında esas alınan kesme kuvveti

V_r : Kolon, kiriş veya perde kesitinin kesme kuvveti dayanımı

$V_i^{(X)}$: (X) deprem doğrultusunda i'inci kattaki azaltılmış kat kesme kuvveti

$V_{tx}^{(X)}$: Modal hesap yöntemlerinden biri ile x doğrultusunda elde edilen en büyük toplam deprem yükü

V_{s30} : Üst 30 metredeki kayma dalgası hızı

$\Delta_i^{(X)}{}_{ort}$: X deprem doğrultusunda ardışık iki kat arasındaki yerdeğiştirme farkını ifade eden ortalama azaltılmış göreli kat ötelemesi

$\Delta_i^{(X)}{}_{max}$: Binanın i'inci katındaki maksimum azaltılmış göreli kat ötelemesi

α_{se} : Sargı donatısı etkinlik katsayısı

$\varepsilon_c^{(GÖ)}$: Göçmenin önlenmesi performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırı

$\varepsilon_c^{(KH)}$: Kontrollü hasar performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırı

$\varepsilon_c^{(SH)}$: Sınırlı hasar performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırı

$\varepsilon_s^{(GÖ)}$: Göçmenin önlenmesi performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği şekildeğiştirmesi sınırı

$\varepsilon_s^{(KH)}$: Kontrollü hasar performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi sınırı

$\varepsilon_s^{(SH)}$: Sınırlı hasar performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi sınırı

ε_{su} : Maksimum dayanıma karşı gelen donatı birim uzaması

$\beta_{tE}^{(X)}$: Eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısı

$\delta_i^{(X)}$: (X) deprem doğrultusu için, binanın i'inci katındaki kolon veya perdeler için etkin göreli kat ötelemesi

$\delta_{i,max}^{(X)}$: (X) deprem doğrultusu için, binanın i'inci katındaki etkin göreli kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri

η_{bi} : i'inci katta tanımlanan burulma düzensizliği katsayısı

η_{ci} : i'inci katta tanımlanan dayanım düzensizliği katsayısı

η_{ki} : i'inci katta tanımlanan rijitlik düzensizliği katsayısı
γ : Bağ kirişinde kullanılan çapraz donatı demetinin yatayla yaptığı açı
γ_E : Eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısının belirlenmesinde kullanılan ampirik katsayı
$ø_y$: Akma eğriliği
$ø_u$: Göçme öncesi eğrilik
ω_{we} : Etkin sargı donatısının mekanik donatı oranı
μ : Kesme sürtünmesi katsayısı
ρ : Fazlalık katsayısı
ρ_s : Toplam enine donatının hacimsel oranı
$ø$: Dayanım azaltma katsayısı
ρ_{sh} : Gözönüne alınan doğrultuda enine donatının hacimsel oranı
$\rho_{sh,min}$: İki yatay doğrultuda hacimsel enine donatı oranının küçük olanı
λ : Göreli kat ötelemelerinin sınırlandırılmasında kullanılan ampirik katsayı
λ : Hafif beton için düzeltme katsayısı
Ω : Bağ kirişli perdede bağ derecesi katsayısı
Ω_0 : Dayanım fazlalığı katsayısı (ASCE 07-10)
θ_y : Akma durumu için yerdeğiştirmiş eksen dönmesi
$\theta_p^{(KH)}$: Kontrollü Hasar performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı
$\theta_p^{(GÖ)}$: Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı
$\theta_p^{(SH)}$: Sınırlı Hasar performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı
$\theta_{II}^{(X)}$: X deprem doğrultusunda her bir i'inci kat için tanımlanan ikinci mertebe gösterge değeri

Kısaltmalar

AFAD : Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
ASCE 41-13 : Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings, 2013
BBK : Betonarme Bağ Kirişli Bina
BKS : Bina Kullanım Sınıfı
BYS : Bina Yükseklik Sınıfı
ÇBK : Çelik Bağ Kirişli Bina
DD-1 : 50 Yılda Aşılma Olasılığı %2 (Tekrarlanma Periyodu 2475 Yıl) Olan Deprem Yer Hareketi Düzeyi
DD-2 : 50 Yılda Aşılma Olasılığı %10 (Tekrarlanma Periyodu 475 Yıl) Olan Deprem Yer Hareketi Düzeyi
DD-3 : 50 Yılda Aşılma Olasılığı %50 (Tekrarlanma Periyodu 72 Yıl) Olan Deprem Yer Hareketi Düzeyi
DD-4 : 50 Yılda Aşılma Olasılığı %68 (Tekrarlanma Periyodu 43 Yıl) Olan Deprem Yer Hareketi Düzeyi

DTS	: Deprem Tasarım Sınıfı
DTS	: Düzce Mudurnu Depremi
ETABS	: Extended 3D Analysis of Building Systems
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
GÖ	: Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi
KH	: Kontrollü Hasar Performans Düzeyi
NEHRP	: National Earthquake Hazards Reduction Program
PEER	: Pacific Earthquake Research Center
PERFORM	: Nonlineer Analysis and Performance Assesment for 3D Structures
SH	: Sınırlı Hasar Performans Düzeyi
ŞGDT	: Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım
TBDY 2018	: Türk Bina Deprem Yönetmeliği, 2018
TS 498	: Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, 1997
TS 500	: Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, 2000
TS 708	: Çelik – Betonarme için Donatı Çeliği, 2016

FARKLI YÜKSEKLİĞE SAHİP BOŞLUKLU PERDELİ BETONARME YAPILARIN DEPREM ETKİSİNDEKİ DAVRANIŞLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

Yüksek katlı yapılara olan ihtiyaç dünyada her geçen gün artmaktadır. Yapı ihtiyaçlarının karşılanması, yapıların depreme dayanıklı olarak tasarlanmasını ve değerlendirilmesini gerektirmektedir. Tasarım ve uygulamada geleneksel yöntemlerden farklı ihtiyaçlar oluşturan yüksek yapı uygulamaları, yeni yol gösterici standartların oluşmasına sebebiyet vermiştir. Ülkemizde de bu kapsamda, 2018 yılında yayınlanmış olan Türk Bina Deprem Yönetmeliği 2018, 01.01.2019 tarihinde yürürlüğe girmiştir.

Çalışmada farklı yükseklikliere sahip boşluklu perdeli betonarme yapıların deprem etkisi altındaki davranış farklılıkları incelendi. Bu kapsamda aynı plana sahip 12, 18, 24 katlı betonarme bağ kirişli ve 24 katlı çelik bağ kirişli betonarme yapılar TBDY 2018 kullanılarak tasarlandı ve deprem etkisi altındaki davranışları karşılaştırıldı. Bağ kirişlerin tasarımında ASCE 41-13 ve FEMA 440 dokümanlarına da başvuruldu.

Çalışma iki aşamada değerlendirildi. Birinci aşamada binaların dayanıma göre tasarımı yapılırken, ikinci aşamada ise zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yönetime göre değerlendirme yapıldı. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen doğrusal analizler ETABS programıyla, doğrusal olmayan analizler PERFORM 3D programıyla gerçekleştirildi. 4 binadaki kolon, kiriş, bağ kirişlerde eleman eksen dönme değerleri ve eleman enerji yutma kapasiteleri, 11 deprem yer hareketi etkisi altında karşılaştırılarak incelendi. Ayrıca perde elemanlarında birim şekildeğiştirme ve kesme kapasitesi kontrolleri yapıldı.

Bina yüksekliğinin artmasıyla, kirişlerdeki doğrusal olmayan enerji tüketimi azalırken, bağ kiriş ve perde elemanlarında artmıştır. Ayrıca çelik bağ kiriş kullanımı durumunda betonarme bağ kiriş kullanımına kıyasla, bağ kirişlerde tüketilen doğrusal olmayan enerji miktarının arttığı belirlenmiştir. Yüksek katlı yapılarda çelik bağ kiriş kullanılması uygulama ve yapı davranışı açısından daha uygun görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bağ Kiriş, Doğrusal Analiz, Doğrusal Olmayan Analiz, PERFORM 3D, Yüksek Yapı.

COMPARISON OF SEISMIC BEHAVIOUR OF COUPLED SHEAR WALL REINFORCED CONCRETE BUILDINGS WITH VARYING HEIGHTS

ABSTRACT

The need for high-rise buildings in the world is increasing day by day. Satisfying the need for the buildings, requires the structures to be designed and evaluated as earthquake resistant. This area, which creates different requirements from traditional methods in design and application, has led to the creation of new guiding standards. In our country, in this context, Turkish Building Earthquake Code 2018, which have been published in the year of 2018, has took in charge in 01.01.2019.

In the study, differences in the behaviour of coupled shear walled reinforced concrete structures under earthquake excitation, with different heights were examined. Within the scope of the thesis, reinforced concrete buildings with same structural plan that have 12, 18 and 24 floors with reinforced concrete coupling beams and 24 floors with steel coupling beams were designed according to TBDY 2018 and their behaviors under earthquake excitations were compared. Documents of ASCE 41-13 and FEMA 440 are also used for design of the coupling beams.

The study was evaluated in two stages. In the first stage, strength-based design of the buildings were performed, whereas in the second stage, the buildings were evaluated using nonlinear time history response procedure. The linear analysis were conducted by ETABS software, while the non-linear analysis were performed by using PERFORM 3D software in the current study. For colums, beams and coupling beams of 4 buildings, the chord rotation and the energy absorption capaties were examined by comparing them under the effect of 11 different earthquake records. In addition, unit deformation and shear capacity controls were performed on the shear wall elements.

With increasing building height, the non-linear energy consumption is decreased in the beams, while it is increased in the coupling beams and shear walls. It was also determined that the non-linear energy consumption of coupling beams was increased in case of steel coupling beams usage instead of reinforced coupling beams. The use of steel coupling beams in high-rise buildings is more appropriate within the scope of construction and structural behavior.

Key Words: Coupling Beam, Linear Analiz, Nonlinear Analiz, PERFORM 3D, High Rise Building.

GİRİŞ

Türkiye tektonik bölgelerin yoğun olduğu ve şiddetli depremlerin yaşandığı bir ülkedir. Son dönemde gerçekleşmiş olan Kocaeli, Düzce, Van depremleri ülkemizde büyük oranda can ve mal kaybına neden olan depremlerdir. Yaşanılan kayıplardan çıkarılan dersler ve hataların giderilmesi adına yapılan çalışmalar, bizleri depreme dayanıklı yapı tasarımının geliştirilmesine doğru yönlendirmektedir.

Depreme dayanıklı yapı tasarım kuralları, günümüze kadar genellikle az ve orta katlı binaların davranışı esas alınarak oluşturulmuştur. Son yıllarda ise çok katlı yapılara olan talebin artmasıyla yapı tasarım kurallarında değişime ve gelişime gidilmiştir. Ülkemizde de yürürlükte olan deprem yönetmeliklerinin pek çok yönden yetersiz kaldığı görülerek, ‘‘2018-Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar'' isimli yönetmelik yayınlanmıştır [1]. Yeni yönetmelikte tanımlanan tasarım aşamalarının bina yüksekliklerine bağlı olması, performans hedeflerine göre yapılan tasarımları daha güvenilir kılmaktadır.

Yüksek katlı yapı tasarımında Dayanıma Göre Tasarımın yeterli olmadığı görülmüştür. Bu tür yapılarda, Performansa Dayalı Yapı Tasarımı yaklaşımının kullanılmasının daha uygun olduğu fark edilmiştir. Bu yaklaşımda yapı elemanlarının doğrusal olmaya analiz sonucunda, deprem yükleri altında eleman deformasyon kapasiteleri ve dönme değerleri hesaplanır. Elde edilen değerler eleman kapasiteleri ile karşılaştırılarak değerlendirilir.

Tez çalışması kapsamında bina yükseklik sınıfları farklı 3 farklı bina türü incelenmiştir. İncelenen binalarda betonarme veya çelik bağ kirişler kullanılmıştır. İlk olarak dayanıma göre tasarım esaslı doğrusal elastik hesap yöntemleri kullanılarak analiz ve hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda yapısal elemanların boyut ve donatılarına karar verilmiştir. Zaman tanım alanında 11 deprem etkisinde doğrusal olmayan hesap yöntemi kullanılarak analiz ve hesaplamalar performansa dayalı yapı tasarımı çerçevesinde incelenmiştir. Yapıların şekildeğiştirme kapasiteleri karşılaştırılmıştır. Yapıların doğrusal analizleri ETABS

16.2.0 [2], doğrusal olmayan analizleri, PERFORM 3D V6 [3], kesit analizleri ise XTRACT [4] ve SAP2000 Section Designer [5] programı kullanılarak yapılmıştır.

TBDY 2018'e göre tasarlanan binaların, yönetmeliğin öngördüğü performans seviyesini sağlayıp sağlayamadığı ve betonarme bağ kirişlerle çelik bağ kirişlerin sistem üzerindeki etkileri ve karşılaştırmalarının yapılması bu tezin konuları dahilindedir. Yapı yüksekliğinin artmasıyla yapı elemanlarındaki tüketilen inelastik enerji oranları da karşılaştırılmıştır. Bu şekilde yapı yüksekliğinin artmasıyla yapıdaki kesit bazlı değişimler ve farklılıklar ortaya konacaktır.

Tezin birinci bölümünde, bağ kirişlerin amacı ve kapsamı anlatıldı. Bu bölümde bağ kirişlerin literatür araştırmalarına da yer verildi.

Tezin ikinci bölümünde, doğrusal olmayan malzeme davranışı ve performans kavramı incelendi. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi anlatıldı.

Tezin üçüncü bölümünde, tezde kullanılan Türk deprem yönetmeliğinin doğrusal tasarım kuralları anlatıldı. Bu kapsamda deprem düzeyleri, spektrumların oluşturulması, bina kullanım sınıfları, bina önem katsayıları, deprem tasarım sınıfları ve bina performans hedefleri incelendi.

Tezin dördüncü bölümünde, tezde kullanılan Türk deprem yönetmeliğinin doğrusal olmayan tasarım kuralları anlatıldı. Bu kapsamda performans düzeyleri, doğrusal olmayan davranış modellemeleri, yüksek katlı yapılardaki tasarım aşamalarına yer verildi.

Tezin beşinci bölümünde, değerlendirilen yapıya ait genel bilgilere ve doğrusal analiz sonuçlarına yer verildi.

Tezin altıncı bölümünde, binaların doğrusal olmayan tasarıma göre analizleri ve sonuçları anlatıldı. Göreli öteleme kontrolleri, kesit dönme kontrolleri, perde kesme ve birim şekildeğiştirme kontrolleri yapıldı. Kolon, kiriş, perde, betonarme ve çelik bağ kirişlerin tükettiği inelastik enerji oranları incelendi.

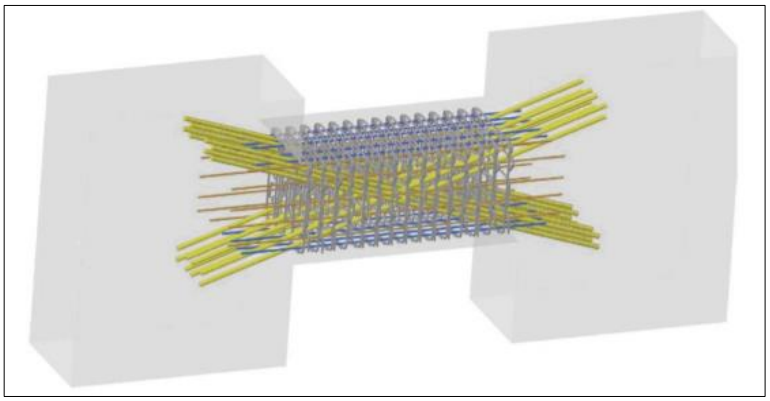
Tezin yedinci bölümünde, 4 binanın doğrusal ve doğrusal olmayan analiz sonuçları karşılaştırılarak incelendi.

1. BAĞ KİRİŞLİ PERDELİ BETONARME YAPILAR

Plan geometrisi kat bazında değişmeyen, düzenli geometriye sahip perde duvarlı betonarme sistemlerin deprem etkisinde güvenliğinin sağlanmasında, bağ kirişlerin kullanımının yapı davranışına olumlu katkı sağladığı bilinmektedir. [6]. Boşluksuz perde duvarlar, yatay bağ kirişleriyle bağlanarak, yatay kuvvetlere karşı birlikte çalışan ve yüksek yatay rijitliğe sahip olan karma sistemlere dönüşebilmektedir. Bağ kirişlerin bağlanma şekilleri, bağ kiriş ve boşluksuz perde duvarların yükleri doğru aktarması için önemlidir. Perdelere tekil olarak gelen devrilme momentleri ile bağ kirişlere gelen eksenel ve kesme kuvvetlerinin güvenilir bir şekilde taşınması bağ kiriş-perde duvar taşıyıcı elemanlarının doğru bir şekilde ankre edilmesine bağlıdır. Bu çerçevede yapılan analitik ve deneysel araştırmalar doğru tasarlanmış bağ kirişlerin, deprem kuvvetlerini etkili bir şekilde karşılayarak yüksek enerji yutma kapasiteleri sergiledikleri görülmüştür.

1.1. Betonarme Bağ Kirişler

Betonarme bağ kirişlerin davranışları, derinlik / açıklık oranına bağlıdır. Oranın 2'den küçük olduğu durumlarda bağ kirişlerde eksenel kuvvet ve kesme kuvvetini karşılayan diyagonal donatı demetleri kullanılır [1]. Bu demetler yüksek kesme kapasitesine sahip olması gereken bağ kirişlerin kesme kapasitelerini arttırır. Bağ kirişler güçlü ve rijit elemanlar olmalıdır. Perdeler arasında bağlantı görevi görmelidir. Bağ kirişler hedef performansa perdelerden önce vararak sünek bir davranış sergilemelidir. Diyagonal donatı demetleriyle donatılmış bağ kiriş resmi Şekil 1.1'de görülmektedir [7]. Bu şekilde donatılan kirişler, bir eleman üzerinde oluşan kuvvet çiftlerinin oluşturduğu kesme kuvvetini etkin bir şekilde karşılayabilmektedir. Gelen etkinin karşılanabilmesi için betonarme bağ kirişler, farklı donatı detayına göre alt sınıflara ayrılabilir. Geleneksel bağlantılı kirişler, diyagonal bağlantılı kirişler, eşkenar konfigürasyonlu kirişler farklı bağlantılı bağ kirişlere örnektir.



Şekil 1.1. Diyagonal donatı düzenli betonarme bağ kiriş [7]

Betonarme bağ kirişlerde diyagonal donatı demeti kullanılması uygulama aşamasında bazı zorluklara neden olabilmektedir. Donatının beton ile aderansının sağlanması için donatı demetinin, betonun içerisine yönetmelik tarafından verilen değerlere göre uzatılması gerekir. Uygulama aşamasında olan bir bağ kiriş örneği Şekil 1.2'de sunulmuştur [7].



Şekil 1.2. Uygulamada diyagonal donatı düzenli betonarme bağ kiriş [7]

Betonarme bağ kiriş davranışının doğru incelenebilmesi için modellemenin doğru yapılması gerekir. Modellenen bağ kirişlerde moment-dönme mafsalı ya da kesme-deplasman mafsallarının tanımlanması tasarımı ve kontrolleri değiştirir. Tez kapsamında betonarme kirişlerde moment-dönme mafsalları kullanılarak dönme kontrolleri yapılmıştır. Ayrıca gelen kesme kuvvetinin kapasiteyi aşıp aşmadığı da kontrol edilmiştir.

1.2. Çelik Bağ Kirişler

Çelik bağ kirişler, enerji yutma kapasitelerinin yüksek olması ve uygulama aşamalarının rahat olmasından dolayı betonarme bağ kirişlere göre daha avantajlıdır. Ayrıca bağlantı noktalarındaki rijitlik parametrelerinin belirlenmesi açısından da kolaylık sağlamaktadır.

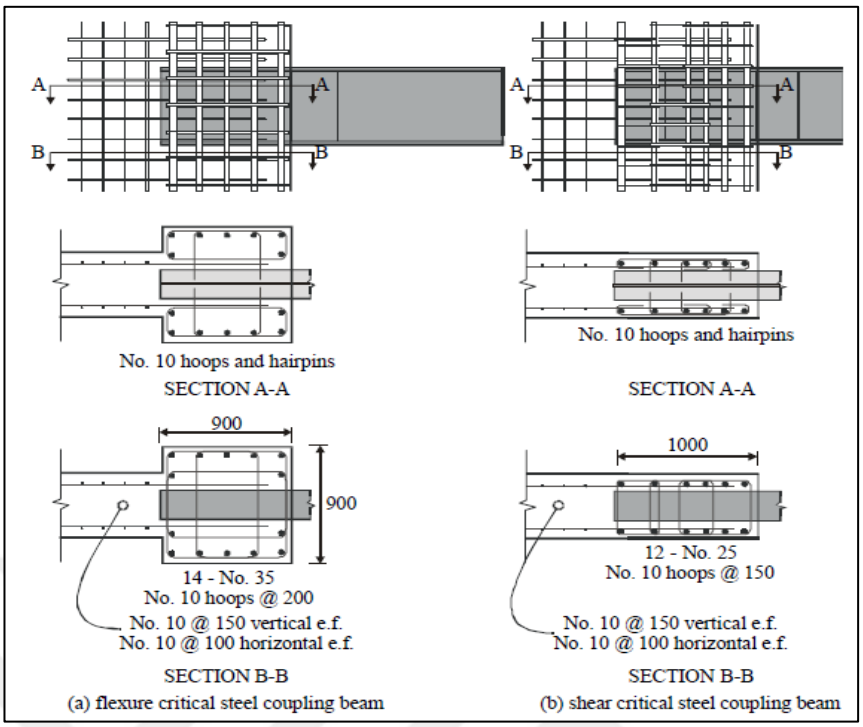
Çelik bağ kirişler, betonarme binalarda betonarme bağ kiriş kesitinin yeterli olmadığı ya da kullanılan donatıların fazla olduğu durumda alternatif olarak kullanılabilir. Bu şekilde donatı-kalıp metrajını da azaltarak ekonomik çözüm sağlar [6].

Çelik bağ kiriş elemanları, perde duvarlara takviye edilerek veya gömülü şekilde bağlanabilmektedir. Bağlantı noktalarının detaylandırılmasında kesme çivisi kullanılabileceği gibi çelik profiller perde donatılarına kaynaklama yoluyla da bağlanabilmektedir. Kullanılan kesme çivileri gömülü ara çelik levhalarla desteklenebilmektedir. İlave kaynaklı uzantıların ise, gömme bölgesinin yeterince uzun olması ve kiriş-duvar ara yüzünde çatlamayı kontrol etmek için yeterli seviyede sınır çelik levha elemanı takviye edilmesi şartıyla uygulanabilir (Şekil 1.3) [8].



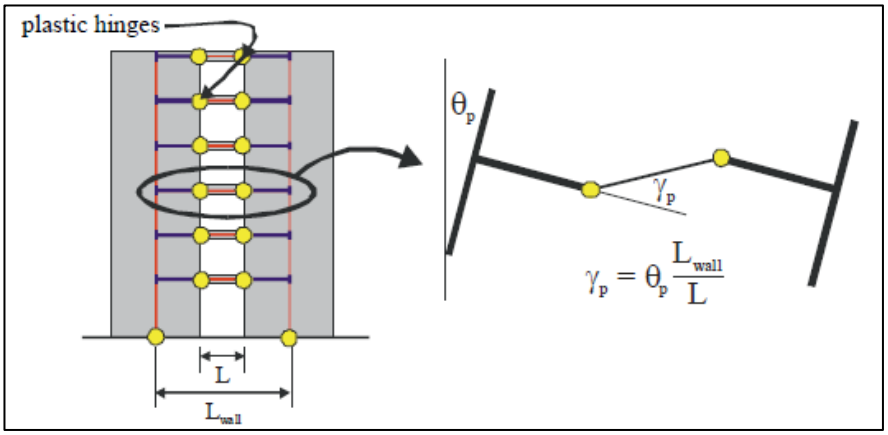
Şekil 1.3. Ara plakalı çelik bağ kiriş örneği ve bağlantısı [8]

Yapılan tüm birleştirme yöntemlerinde betonarme boşluksuz perde ile çelik bağ kirişin doğru bir şekilde ankre edildiği kontrol edilmelidir. Birleşim detayları Şekil 1.4'te görülmektedir [9]. Yük aktarımı sırasında perde elemanlara doğru şekilde yük aktarımı gerçekleşmelidir. Çelik bağ kiriş tasarımı, kesme baskın göçme davranışı gösterecek şekilde yapılabilir ve bu durum enerji yutma kapasitesinin daha etkin hale gelmesini sağlar. Bu tasarım türü betonarme bağ kirişleri için tercih edilmeyebilir. Ancak çalışma kapsamında çelik bağ kirişlerde moment-dönme mafsalı tercih edilmiştir.



Şekil 1.4. Farklı betonarme perde-çelik bağ kiriş bağlantıları [9]

Çelik bağ kirişlerinin tasarımında, kirişin dönme açısı, kesit rijitliğinin belirlenmesi açısından önemli rol oynar. Dönme açısı, kirişlerin perdeyle bağlantı noktalarına ve perde dip noktalarına tanımlanarak, plastik mafsalların sistemin göçme ve hasar alma davranışlarını belirlemede kullanılır (Şekil 1.5). Perde elemanı ile etkileşim doğrusal olacağından, kesitteki mafsallaşma yerleri önceden belirlenmelidir. Belirlenen bölgelere gerilme akışları kontrol edilmelidir [10].



Şekil 1.5. Çelik bağ kirişin dönme açısının belirlenmesi [10]

1.3. Literatür Araştırması

Deprem etkisinin aktif olduğu bölgelerde, yapılardan yüksek performans elde etmek için birbirine bağ kirişlerle bağlanmış boşluksuz perde duvarlı yapı sistemleri dünya çapında geniş bir araştırma programı yelpazesinde ele alınmıştır. Bir kısım betonarme ve çelik bağ kiriş çalışmaları bu bölümde özetlenecektir.

1.3.1. Betonarme bağ kiriş çalışmaları

Paulay ve Binney [11] binalarda yüksek kesme kuvvetlerine maruz kalan kısa kirişlerin performansını arttırmak amacıyla geleneksel donatı düzenini denediler. Tipik bir eğilme kirişine diyagonal donatı ve köşegen takviye yerleşimi yaptılar. Çalışmaları kapsamında bağ kirişlerin kesme talebinin çapraz donatılarla karşılanacağını kanıtladılar. ACI 318-11 yönetmeliğindeki bağ kiriş hesap yöntemini oluşturdular.

Tassios, Moretti ve Bezas [12] kirişlerin farklı birleşim tipleri üzerinde çalışmalarını sürdürdüler. 10 kiriş numunesi üzerinde yaptıkları çalışmalarında çapraz donatı demetleri, ilave dübeller kullanarak bağ kiriş bağlantısını destekleyerek bağ kirişlerde güçlendirme çalışmaları yaptılar. Dübelli çapraz donatılı betonarme bağ kirişlerin çapraz donatılı veya boyuna donatılı betonarme bağ kirişlere göre yüksek kesme kapasitesine sahip olduğu kanıtlanmıştır (Şekil 1.6).

	specimen	reinforcement layout	f'_c (MPa)	$\emptyset_t$ (mm)	$\emptyset_d$ (mm)	ρ_t(%) total	ρ_d(%) total
1	CB-1A		32.8	12	-	0.7	-
	CB-1B		33.0	12	-	1.1	-
2	CB-2A		28.5	6	10	-	1.0
	CB-2B		26.3	6	10	-	1.6
3	CB-3A		31.7	12	18	0.7	0.8
	CB-3B		33.8	12	14	1.1	0.8
4	CB-4A		29.8	6	4Ø20	-	1.9
	CB-4B		31.3	6	3Ø18	-	1.9
5	CB-5A		32.3	12	4Ø20	0.7	1.9
	CB-5B		33.1	12	3Ø18	1.1	1.9

1 Mpa = 145 psi, 1mm = 0.0394 in

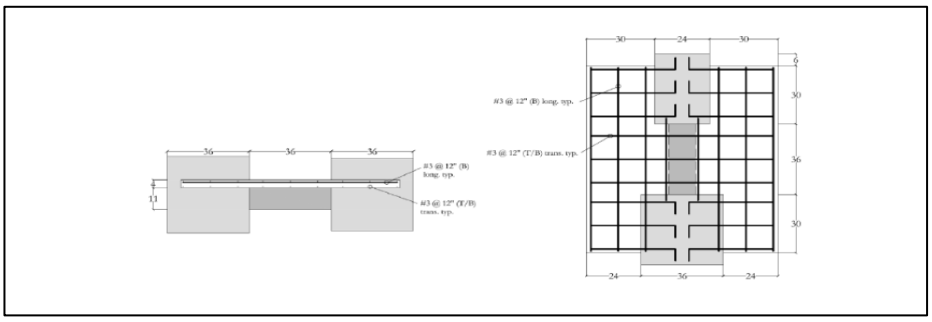
Şekil 1.6. Örnek numunelerin özellikleri [12]

Galano ve Vignoli [13] bağ kirişteki donatı değişimlerinin performansa etkisini 15 farklı numunede araştırmıştır. Yükleme tipi deneysel ve monotoniktir. Takviye düzenleri genellikle çelik çaprazlı donatı şeklindedir. Yükleme sonucunda dörtgen donatı düzeninin, sadece çapraz donatılı bağ kirişlerle yapılan güçlendirme yönteminde daha iyi olduğu ve süneklik kapasitesini daha fazla arttırdığı gözlenmiştir. Ayrıca betonun basınç dayanımının, diyagonal donatılı basınç dayanımı yetersizliği olan düşük mukavemetli numuneler üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu da belirtilmiştir.

Kwan ve Zhao [14] derinlik / boy oranı 2'den küçük olan 6 numune üzerinde donatı düzeni ve en-boy oranının etkilerini araştırmışlardır. 5 numunede geleneksel donatı düzeni kullanılırken, bir numunede çapraz donatı kullanılmıştır. Bağ kirişli perde duvarlarda deformasyonlar ölçülüp değerlendirilmiştir. Deneysel sonuçlar kesme çatlaklarının tüm kiriş boyunda ve 45 derece eğimle gerçekleştiğini tekrar kanıtlamıştır. Diyagonal çapraz donatı kullanılan elemanlarda enerji tüketiminin daha düzgün ve yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca kiriş derinliği / boy oranının artmasının sünekliği azalttığı tespit edilmiştir.

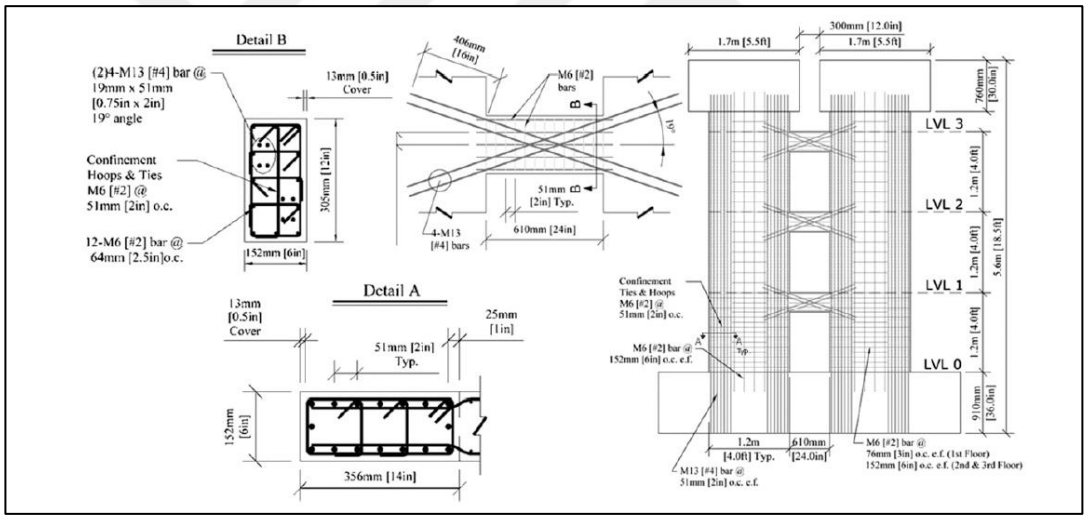
Fortney ve arkadaşları [15] farklı enine donatı düzenlerini deneysel olarak incelemiştir. Her diyagonal demet enine donatıyla takviye edilmiştir. Bağ kiriş çapraz donatılarının burkulma dayanımı hesaplanmıştır. Çapraz donatı demetlerinin betonla aderansının sağlanması ve deprem etkisi altında donatının betondan sıyrılmaması amaçlanmıştır. Yapılan çalışmalarda donatı demetlerinin kirişlerin orta bölgesinde yoğunlaşmasının kesme kuvvetlerini karşılamada yeterli olduğu tespit edildi.

Naish ve arkadaşları [16] betonarme bağ kirişlerde kuvvet-deformasyon ilişkilerini incelemiştir. Ayrıca bu çalışmada, bağ kirişlerde döşeme etkisi de dikkate alınmıştır. Döşemelerin çelik levhalarla güçlendirilmesinin bağ kirişe etkisi incelendi. Perde duvarlı bağ kirişli elemanların döşeme sınırlarında ilave çelik levhaların kullanılması sonucunda taşıyıcı sistemin dayanımı artmıştır (Şekil 1.7).



Şekil 1.7. Döşeme donatı düzeni [16]

Lehman ve arkadaşları [17] boşluksuz perde duvar-bağ kiriş ilişkisini inceleyebilmek için 10 katlı prototip bir sistem oluşturdular. Kurulan sistemde kesitlerin momentleri, eksenel kuvvetleri, kesmeleri ve yer değiştirmeleri tespit edildi. Elde edilen sonuçlar bağ kirişli perde elemanlarının hesap modellerini kalibre etmek için kullanıldı. Kullanılan bağ kirişli perde duvar örneği Şekil 1.8'de görülmektedir.



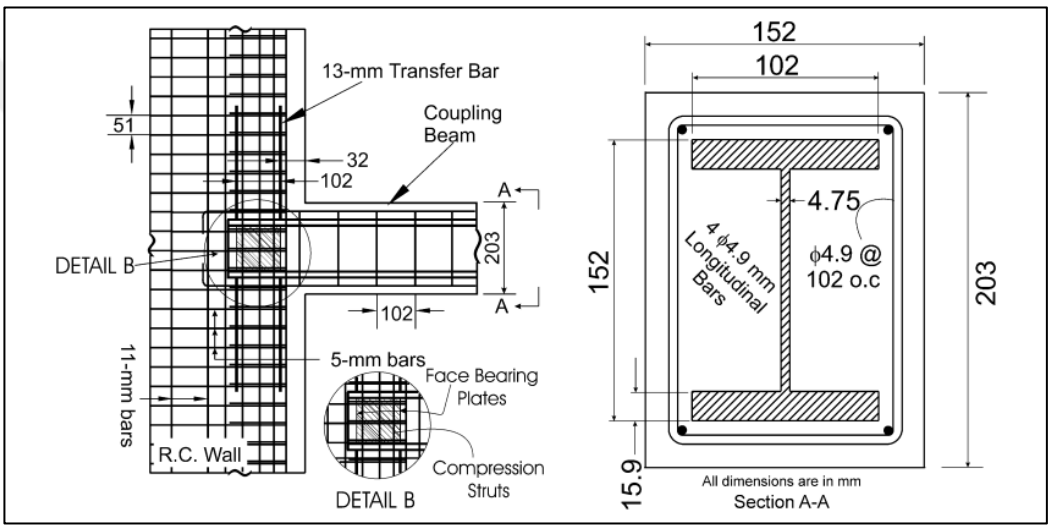
Şekil 1.8. Betonarme bağ kirişli perde duvar örneği [17]

1.3.2. Çelik bağ kiriş çalışmaları

Harries ve arkadaşları [18] boşluksuz perde duvar-çelik bağ kiriş ilişkisini kesit özellikleri farklı iki çelik profil üzerinden incelediler. Eksantiristenin de hesaba katıldığı deneylerde çelik bağ kirişlerin yüksek sünek tasarlanacağı ve inelastik enerji tüketeceği varsayıldı. Devamlı yüklemeler altında test edilen bağ kirişlerde bağlantı bölgelerinin uygulama aşamasında doğru uygulanması durumunda çelik bağ kirişlerin yüksek oranda sünek davranacağı görüldü. Ara rijitlik levhalarıyla

desteklenen çelik bağ kirişlerin yüksek süneklikli yapılar için uygun olduğu araştırmalar sonucunda ortaya konuldu.

Gong ve Shahrooz [19] araştırmalarında, bağ kirişlerde çapraz donatı yerine çelik profil kullandılar (Şekil 1.9). Çalışmanın amacı, mevcut tasarım çalışmalarının elde edilen sonuçlarla desteklenmesidir. Deney sonucunda çelik kesiti saran betonun, çelik profilin burkulmasını önlediği görülmüştür. Ayrıca inelastik deformasyonların kesitin bağlantı noktalarında yüksek oranda toplanmaması için çelik profilin gömme uzunluğu doğru hesaplanması gerektiği ortaya konuldu.

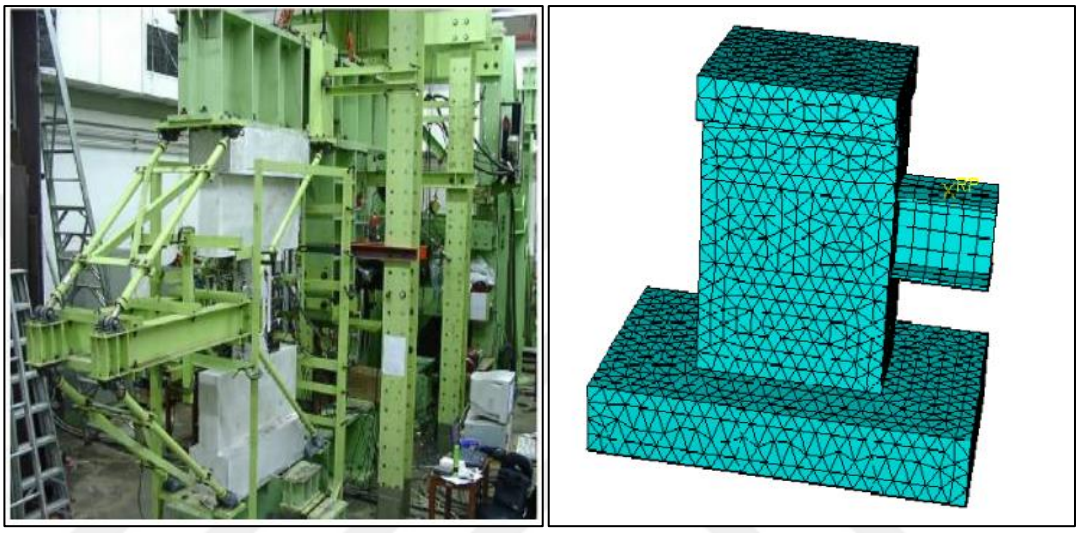


Şekil 1.9. Çalışmada kullanılan çelik profil-perde duvar örneği [19]

Fortney ve arkadaşları [15] uygulanmış olan çelik bağ kiriş uç bağlantı detaylarını referans alarak araştırmalarını yapmışlardır. Farklı olarak çalışma kapsamında gövde bölgesinden ara plakalarla birleştirilen numune kullanılmıştır. Boşluksuz perde-çelik bağ kiriş yük aktarımına yardımcı olacak boyuna donatılar perde kesitine dahil edilmiştir. Gövde bölgesinde bulon ve kaynakla birleştirilen profillerde yük etkisi altında inelastik gerilmelerin ve dönmelerin yüksek olduğu gözlenmiştir. Çalışma kapsamında bağlantı bölgelerinde rijitlik levhalarının ve kaynak kullanımının dönmeyi azalttığı görülmektedir.

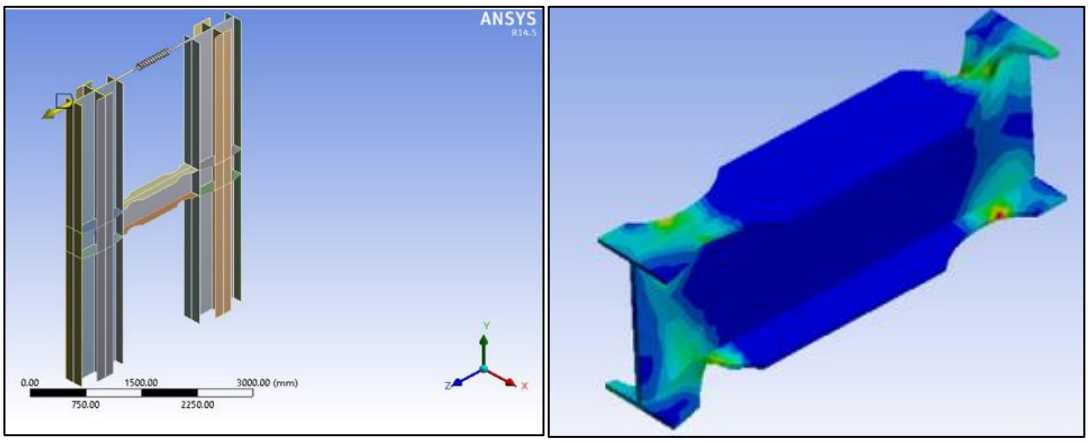
Hosseini ve arkadaşları [20] betonarme ve çelik bağ kiriş kesitlerini deneysel ve analitik olarak incelemiştir (Şekil 1.10). Betonarme bağ kirişte çapraz donatı kullanılmıştır. Çelik bağ kirişin perde bölgesindeki uzunluğu, beton ile çelik arasında

kayma gerilmesi oluşmayacak kadar uzun alınmıştır. Çalışma kapsamında çelik bağ kirişin betonarme bağ kirişe göre deprem kuvvetlerini daha iyi sönümlendiği görülmüştür. Çelik bağ kirişin enerji tüketimi, betonarme bağ kiriş enerji tüketiminin yaklaşık 3 katı bulunmuştur. Ayrıca çelik bağ kirişin gövde bölgesinde ara rijit plakaların kullanılması, çelik bağ kirişin tükettiği inelastik enerji oranını %10 arttırdığı gözlemlenmiştir.



Şekil 1.10. Çalışmada kullanılan çelik profilin deneysel ve analitik modeli [20]

Crisan ve Dubina [21] kısa çelik bağ kirişlerin eğilme momenti-kesme kuvveti ilişkisini incelediler. Bağ kiriş uzunluğu mafsalların oluşmasına izin verilecek kadar uzun seçilmiş olup çelik kesitte plastik mafsalların oluşacağı azaltılmış bölge oluşturdular (Şekil 1.11). Çalışma kapsamında kısa kirişlerin kesit analizinde eğilme momenti – kesme kuvveti etkileşimlerinin analitik modelde doğru tanımlanmasının zor olduğu gözlemlenerek iki alternatif ortaya konuldu. Birinci öneride azaltılmış minimum kesit özellikleri ve eğilme momenti kullanılarak deformasyon kontrollü bir kesme mafsalı tasarımı yapmaktır. İkinci öneride ise azaltılmış kesit özellikleri ve kesme kuvveti kullanılarak moment mafsalı tasarımı yapmaktır.



Şekil 1.11. Çalışmada kullanılan çelik profilin azaltılmış bölge temsili [21]

Bu yayınlardan yararlanarak, deprem bölgelerinde inşa edilecek yapıların performansa dayalı tasarımı da mümkün olmaktadır. Bu bağlamda yapılan araştırmalar sonucunda raporlarda yöntemlerin irdelenmesi ve karşılaştırılması, kesin sonuç verdiği kabul edilen zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi ile yapılmıştır. Bina performansının belirlenmesi için yukarıda sözü edilen rapor ve standartlarda önerilen yöntemlerin güvenilirliği akademik çevrelerde araştırma konusu olmuştur [6]. Yapılan araştırmalar ve yayınlanan makaleler ASCE 41-13 [22], PEER-TBI [23], FEMA 440 [24], gibi yönetmeliklerin hazırlanmasında da güvenilir kaynaklar olmuşlardır.

Bu yöntemlerin gelişmesine paralel olarak, doğrusal olmayan tasarım kuramına dayanan pratik ve etkin bilgisayar programları da giderek gelişmekte ve yaygın olarak kullanılmaktadır. PERFORM-3D programının özellikle zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerde hızlı ve etkin sonuçlar verdiği bilinmektedir.

2. DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMI KURAMI

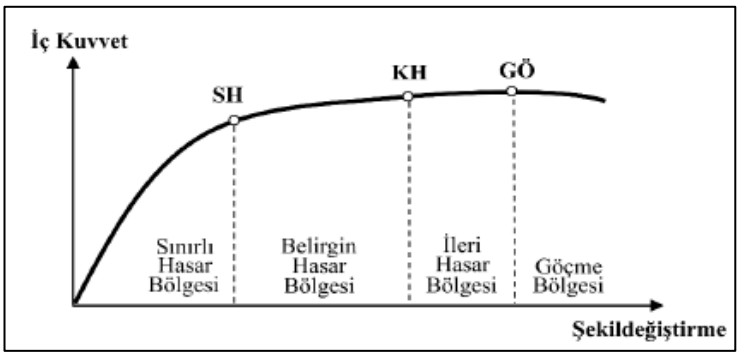
Bu bölümde tez çalışmasında dikkate alınan depreme dayanıklı yapı tasarımı ilkeleri özetlenmektedir.

2.1. Kapasite Tasarımı Yaklaşımı

Kapasite tasarımı yaklaşımı, taşıyıcı sistemde belirli elemanlarda doğrusal olmayan sünek davranışın sınırlı tutulmasını, bu davranışla uyumlu olarak diğer bütün elemanların dayanım kapasitesinin belirlenen yeterliğe sahip olmasını öngören tasarım metodudur. Deprem etkileri altında sistemlerin doğrusal-elastik sınır ötesi davranışlarına izin verilir [25]. Yapılar deprem etkisi altında belirlenen süneklik düzeyini sağlayacak şekilde, eğilme şekildeğiştirmelerinde ise doğrusal-elastik sınır ötesini geçecek şekilde davranış gösterebilir. Betonarme taşıyıcı sistemlerde elastoplastik eğilme şekildeğiştirmelerinin oluşması beklenen plastik mafsal bölgeleri, kesme göçmesi meydana gelmeyecek şekilde ve yeterli süneklik düzeyine sahip olacak şekilde boyutlandırılmalıdır [26]. Bu yaklaşımda kolonların kirişlerden güçlü olduğu, betonarme taşıyıcı elemanların gevrek bir göçme modu olan kesme göçmesinden göçmeyeceği, sistemdeki elastoplastik eğilme şekildeğiştirmelerinin plastik mafsal bölgelerinde sınırlı kalacağı ve inelastik sınırları aşmayacağı kontrol edilmelidir. Ayrıca sistemde sünek olmayan bölgesel mekanizmalarının oluşması da engellenmelidir.

2.2. Performansa Dayalı Tasarım Yaklaşımı

Performans kavramı, deprem mühendisliğinde yeni gelişen bir kavram olup, önce mevcut binaların deprem güvenliğinin belirlenmesi için geliştirilmiştir. Daha sonra bu yöntemin yeni binaların tasarımında kullanılabileceği söz konusu olmuştur. Performans kavramına dayalı tasarım, klasik tasarımın genişletilmesi olarak düşünülebilir [27]. Performansa dayalı yapı tasarımında yapı elemanlarındaki hasar durumları, talep edilen yerdeğiştirmelerin sınır yerdeğiştirmelerle kontrol edilmesiyle saptanabilir. Elemanların hasar durumları ve hasar tipleri belirlenerek taşıyıcı sistemin performans seviyesi belirlenir. Yönetmelikte belirtilen sınır bölgeleri Şekil 2.1'de verilmiştir [1].



Şekil 2.1. Kesit hasar sınırları ve bölgeleri [1]

2.2.1. Performansa dayalı tasarımda doğrusal olmayan davranışın idealleştirilmesi

Yapı sistemleri işletme yükleri altında, genellikle doğrusal davranış sergilerler. Düşey yüklere deprem yer etkileri de eklendiğinde, taşıyıcı sistemler doğrusal elastik sınırı aşıp doğrusal olmayan bölgeye geçiş yaparlar. Taşıyıcı sistemde kabul edilmeyecek derecede büyük yer değiştirmeler oluşur. Bu durumda kesit bazlı ya da kitlesel bazlı mekanizma durumları oluşmaya başlar. Böyle bir durumda doğrusal teoriden söz etmek mümkün olmayacaktır. Lineer elastik sınır ötesindeki davranışı göz önüne alan doğrusal olmayan teori geçerli olacaktır [28].

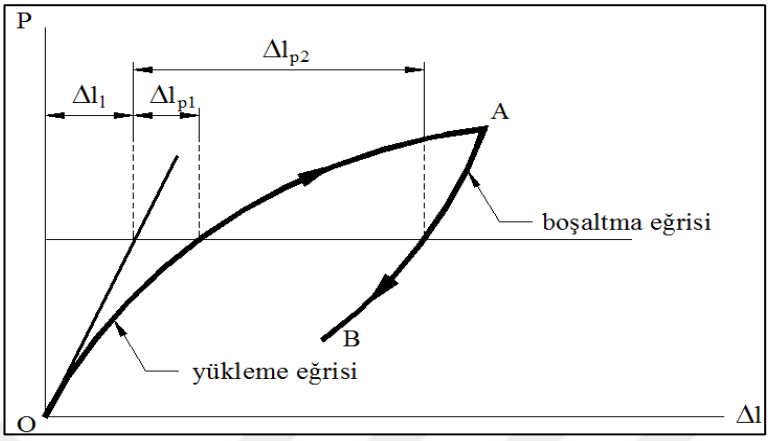
Doğrusal olmayan teori iki şekilde ortaya çıkabilir:

- Malzemenin gerilme-şekil değiştirme bağıntılarının (bünye denklemlerinin) doğrusal olmamasıdır.
- Geometri değişimleri nedeniyle denge denklemlerinin (ve bazı durumlarda geometrik süreklilik denklemlerinin) doğrusal olmamasıdır.

Malzeme bakımından doğrusal olmayan sistemler:

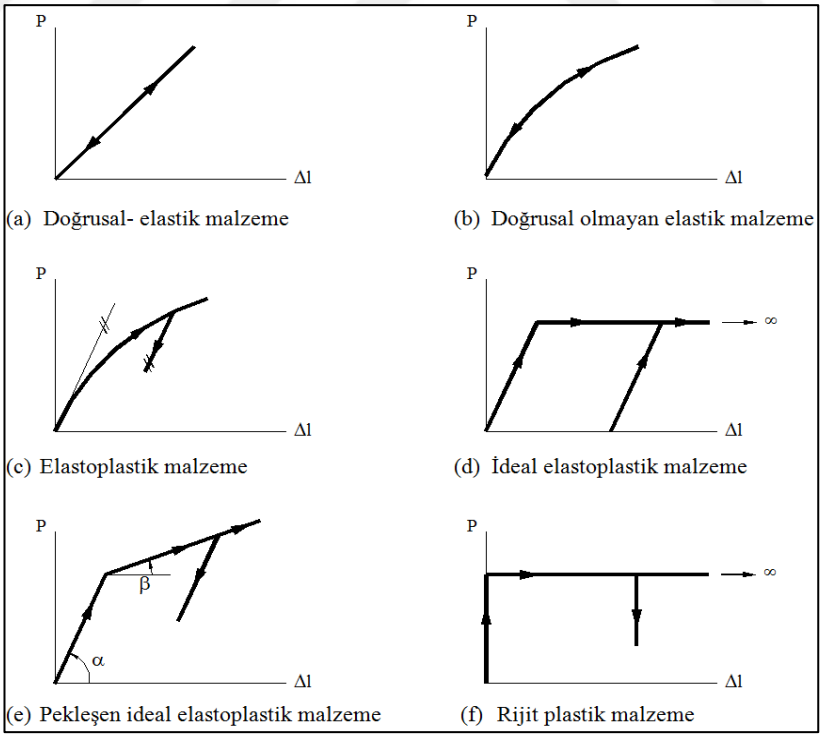
Malzeme bakımından doğrusal olmayan sistemlerin modellenmesinde yük şekildeğiştirme ilişkisinin tanımlanması gerekir. Yük-şekildeğiştirme diyagramının, artan yük parametresi için elde edilen OA bölümüne yükleme eğrisi, kuvvetlerin kaldırılması durumuna karşı gelen AB bölümüne de boşaltma eğrisi denir. Eğrinin başlangıç teğeti ile ordinat ekseni arasındaki Δ_{l1} Şekildeğiştirmeleri doğrusal şekildeğiştirmeler başlangıç teğeti ile yükleme ve boşaltma eğrileri arasında kalan

Δl_{p1} ve Δl_{p2} şekildeğiştirmeleri ise doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler olarak tanımlanır. (Şekil 2.2) [28].



Şekil 2.2. Şematik yük-şekildeğiştirme diyagramı [28]

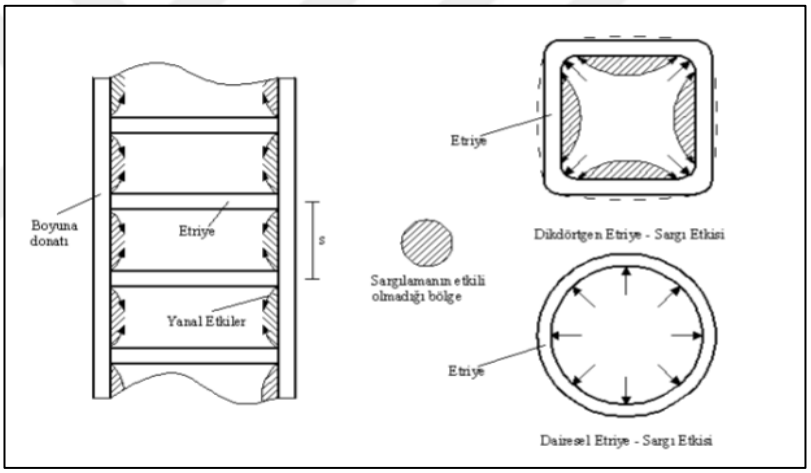
Çoğu zaman malzeme davranışı üzerinde idealleştirmeler yapılarak ideal malzeme tanımları yapılır. Sık kullanılan ideal malzeme modelleri Şekil 2.3'te verilmiştir [29]. Bu modellerin sistemde davranışı mühendis tarafından öngörülerek uygulanacaktır.



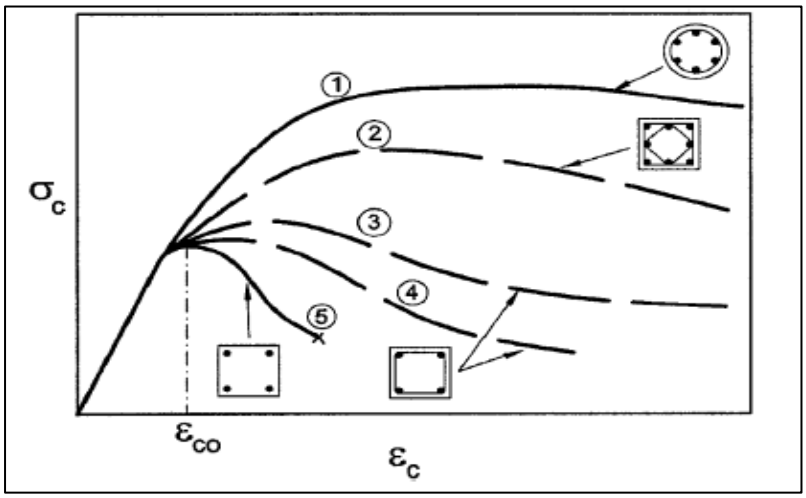
Şekil 2.3. İdeal malzeme modelleri [29]

Sargılı ve sargısız beton modelleri:

Betonun sargılanması, eksenel gerilmeler altındaki çekirdek betonunun yanal gerilme ve deformasyonlarının sınırlandırılmasını sağlar. Deformasyonu sınırlanan çekirdek dışındaki beton, çekirdekteki betona yanal basınç uygular. Bu yanal basıncın azaltılması için beton kesitlerde sargılama yapılması gerekmektedir. Enine donatı miktarının artırılması, enine donatı çapının arttırılması, donatı dayanımının arttırılması, beton dayanımının arttırılması gibi önlemler sargılamayı arttırır ve beton çekirdeğindeki yanal gerilmeleri sınırlar. Ayrıca etriye beton üzerinde yanal basınç oluşturarak betonun dayanımının ve şekildeğiştirme kapasitesinin artmasını sağlar. Bu sayede kesitin sünekliği artmaktadır (Şekil 2.4). Betonarme kolonlarda sargı donatısının sünekliğe etkisi Şekil 2.5'te gösterilmiştir [30].



Şekil 2.4. Kesitlerdeki sargı etkisi [30]

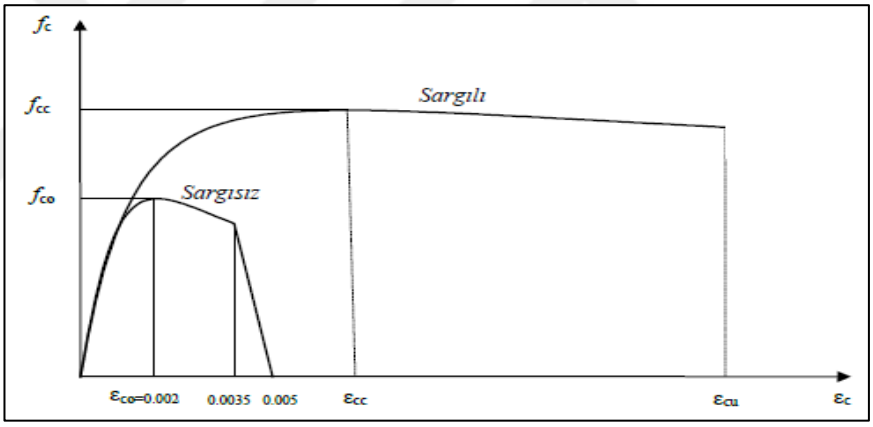


Şekil 2.5. Kolonlardaki sargı donatısının sünekliğe etkisi [31]

Şekil 2.5 incelendiğinde,

- En etkili sargı donatısının dairesel kolondaki fret olduğunu
- dikdörtgen etriyenin sünekliği arttırdığını, etriyenin net açıklığı azaltılarak dayanım artışı sağlandığı
- etriye donatısının aralığını azaltmaknın donatı çapını arttırmaktan daha etkili olduğu görülmektedir.

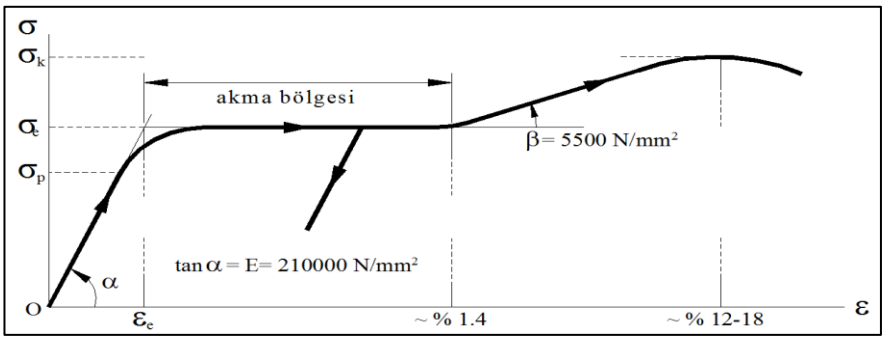
Sargılı ve sargısız betonların modellenmesinde Hognestad, Mander, Priestley ve Park'ın önerdiği bağıntılar yaygın olarak kullanılmaktadır. Mander modeli TBDY 2018 Ek 5A'da özetlenmiştir [1]. Doğrusal olmayan yöntemler ile şekildeğiştirmeye göre değerlendirmede, bir modelin seçilmediği durumlarda kullanılmak üzere, yönetmelik tarafından verilen sargısız ve sargılı beton için gerilme-birim şekildeğiştirme grafiği Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Sargılı ve sargısız beton gerilme-birim şekildeğiştirme grafiği [1]

Donatı çeliği modeli:

Betonun çekme dayanımı çok düşük olduğundan, betondaki çekme gerilmelerini karşılayacak şekilde kesitlere donatı yerleşimi yapılır. Donatı çeliği birim şekildeğiştirme diyagramı Şekil 2.7'de verilmiştir [29]. Bu diyagramı tanımlayan σ_k kopma gerilmesi, σ_y akma gerilmesi, ε_e akma şekildeğiştirmesi ve σ_p orantı sınırıdır. Yükleme altında donatı çeliği akma gerilmesine ulaşır. Yükleme bu seviyeden sonra devam ederse donatıda pekleşme meydana gelir. Gerilme artışı donatı çeliğinde belirli bir seviyeden sonra durur ve donatı çeliği kopma dayanımına ulaşır.



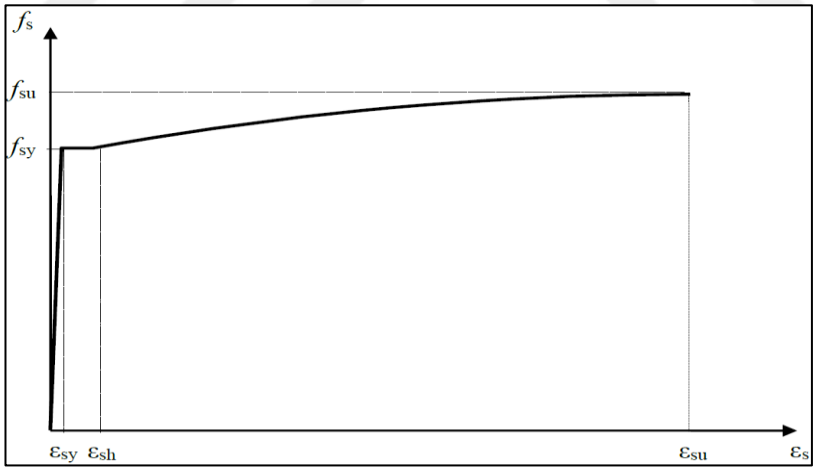
Şekil 2.7. Donatı çeliği gerilme-birim şekildeğiştirme grafiği [29]

Bu diyagramı tanımlayan σ_k kopma gerilmesi, σ_e akma gerilmesi, ε_e akma şekildeğistirmesi ve σ_p orantı sınırının çelik sınıfına bağlı olarak aldığı değerler şu şekildedir.

S420 beton çeliği : $\sigma_k = 500$ N/mm^2 $\sigma_e = 420$ N/mm^2 ($\varepsilon_e \cong 0{,}002$)

$\sigma_p = 0{,}8\sigma_e = 336$ N/mm^2

Şekil 2.6'da verilen donatı çeliğinin idealleştirilmiş grafiği Şekil 2.8'de verilmektedir.



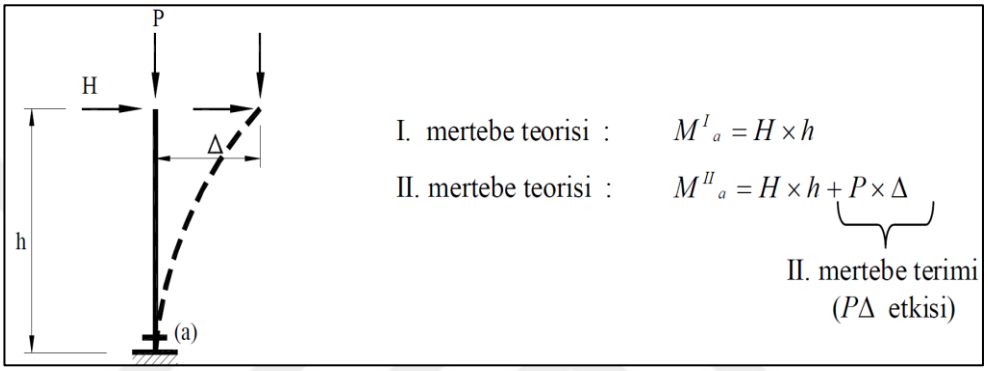
Şekil 2.8. Donatı çeliği için ideal gerilme-birim şekildeğiştirme grafiği [1]

Geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan sistemler:

Yapısal sistemlerde deprem yükleri altındaki yerdeğiştirmeler yeterince küçük olmadığı takdirde yerdeğiştirmelerin denge denklemlerinde dikkate alınması gerekmektedir. Geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisinin göz önüne alındığı bu teoriye ikinci mertebe teorisi denmektedir [28].

İşletme yüklerinin yük katsayılarıyla çarpımından oluşan tasarım yükleri altında sistemdeki ikinci mertebe etkileri göz önüne alınarak kesit tesirleri hesaplanır. Kesit tesirleri gerilmelere çevrilerek sınır değerlerle kontrol edilir. Yapıda oluşabilecek birinci ve ikinci mertebe etkiler Şekil 2.9'da görülmektedir [28].

Çoğu zaman yapılarda ikinci mertebe etkileri ihmal edilebilecek düzeydedir. Ancak göreli kat ötelemesi değerinin %1 değerinden büyük olduğu durumlarda, ikinci mertebe etkileri önemli hale gelir ve analizlerde göz önüne alınması gerekir [25].

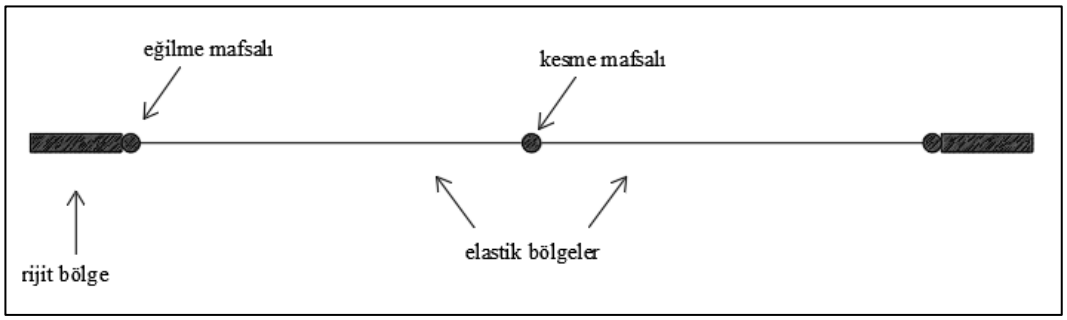


Şekil 2.9. Birinci ve ikinci mertebe etkileri [28]

2.2.2. Plastik mafsal hipotezi

Yapı elemanlarına servis yükleri ve periyot aralığı yüksek olan büyük depremlerin beraber etkimesi durumunda, yapı elemanları elastik sınırı aşarak doğrusal olmayan davranış gösterirler. Yapının doğrusal olmayan davranış göstermesi yapıda hasar oluşması anlamına da gelmektedir. Oluşacak hasarın minimum seviyede tutulması için tasarım aşamasında bazı kabuller yapılmaktadır. Doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin küçük bir bölgede yayıldığı ve bu bölgedeki toplam şekildeğiştirmelerin doğrusal şekildeğiştirmelere oranı olarak tanımlanan süneklik oranının büyük olduğu yapı sistemleri mevcuttur. Bu sistemlerde doğrusal olmayan eğilme şekildeğiştirmelerinin plastik mafsal (plastik kesit) adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde ise sistemin doğrusal-elastik davrandığı kabul edilebilir. Bu hipoteze, plastik mafsal (plastik kesit) hipotezi adı verilir [28].

Plastik mafsal hipotezi yeterli düzeyde sünek davranış gösteren yapı sistemlerinde önemli ölçüde basitleştirilir. Doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler, plastik mafsal olarak tanımlanan bir noktada toplanmaktadır (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. Bağ kirişlerde plastik mafsal yerleri

Plastik mafsal hipotezinde, çubuk elemanın üzerinde l_p uzunluğundaki bir bölgede sürekli olarak yayılan plastik şekildeğiştirmelerin,

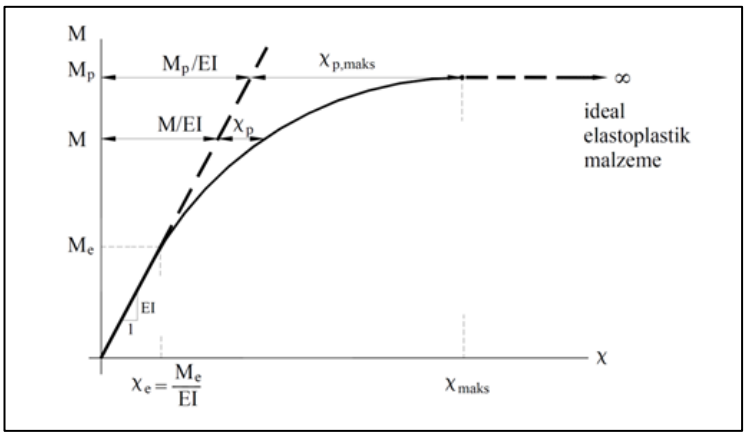
$$\phi_p = \int \chi_p \, d_s \tag{2.1}$$

şeklinde, plastik mafsal olarak tanımlanan bir noktada toplandığı varsayılmaktadır. Burada, ϕ_p plastik mafsalın dönmesini, χ_p moment değerine karşı gelen birim dönmeyi, d_s ise gerilmelerin sınırlandığı bölgedeki alanı ifade etmektedir. Plastik mafsal hipotezinin uygulanması, gerçek eğilme momenti-eğrilik bağıntısının aşağıdaki bağıntılarda verilen iki doğru parçasından oluşacak şekilde idealleştirilmesine karşı gelmektedir. Burada M_p kesitin eğilme momenti taşıma gücünü, EI ise kesit rijitliğini ifade etmektedir.

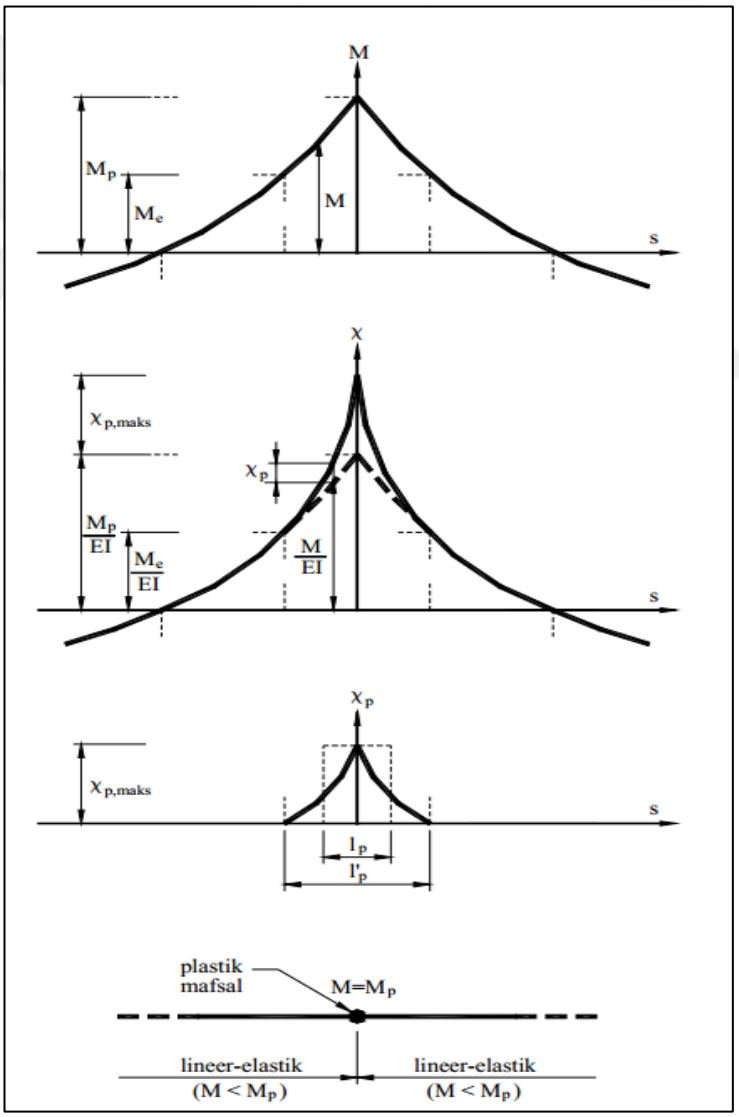
$$M = M_p \text{ için } \quad \chi = \frac{M}{EI} \tag{2.2}$$

$$M = M_p \text{ için } \chi = \chi_{pmaks} \tag{2.3}$$

Doğrusal olmayan malzemeden yapılan bir düzlem çubuk elemanın gerçek eğilme momenti-eğrilik bağıntısı Şekil 2.11'de verilmiştir. Bu elemanın belirli bir bölgesine ait eğilme momenti diyagramı ile toplam eğilme şekildeğiştirmeleri ve doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler Şekil 2.12'de görülmektedir.



Şekil 2.11. Moment-eğrilik diyagramı [28]



Şekil 2.12. Doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler [28]

Plastik moment hipotezinin kabulleri:

- Bir kesitteki eğilme momenti artarak M_p plastik moment değerine eşit olur ve o kesitte bir plastik mafsal oluşur. Kesitteki eğilme momentinin $M = M_p$ sabit kaldır ve kesit serbestçe döner. Plastik mafsaldaki ϕ_p plastik dönmesi maks ϕ_p dönme kapasitesine ulaşınca, oluşan hasar nedeniyle kesit kullanılamaz duruma gelir
- Plastik mafsallar arasında eleman doğrusal-elastik olarak davranır.
- Kesitte eğilme momenti ile birlikte normal kuvvetin de oluşması halinde, M_p plastik momenti yerine, kesitteki N normal kuvvetine bağlı olarak akma koşulundan bulunan plastik moment (M_p) değeri esas alınır [28].

2.3. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yönteminde, taşıyıcı sistemdeki doğrusal olmayan davranış göz önüne alınarak kabul edilen bir deprem hareketi altındaki taşıyıcı sistemin hareket denklemi adım adım entegre edilir. Sistemin bütün elastik ve plastik şekildeğiştirmeleri, yerdeğiştirmeleri ve kesit iç kuvvetleri ile bu büyüklüklerin deprem istemine karşı gelen en büyük değerleri belirlenir. Sistemde plastik mafsal dönmesi ile beton ve donatının birim uzama/kısalma talepleri belirlenir. Bu yöntemde, kabullerin çok sayıda olması, sonuçların yorumlanmasında özenli olmayı gerektirir. Ayrıca seçilen deprem kaydının yönetmelikte verilen spektrum eğrisi ile uyuşması ve olabildiğince çok sayıda kayıtla çözüme ulaşılması önerilir [30].

3. 2018 TÜRK BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE DOĞRUSAL TASARIM YAKLAŞIMI

Yapılan tez çalışması kapsamında doğrusal tasarım aşamaları için Türk Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY 2018) [1] yönetmeliğine başvurulmuştur. Ayrıca tasarım aşamalarında kullanılan yükler; Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri (TS 498) [32] yönetmeliğinden alınmıştır. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları için (TS 500) [33] yönetmeliğinden yararlanılmıştır.

3.1. Deprem Yer Hareketi Düzeyleri

TBDY 2018 Bölüm 2.2'de dört farklı deprem yer hareketi düzeyi ifade edilmektedir. Bu deprem yer hareketleri belli tekrarlanma periyotlarında depremlerin aşılma olasılıkları baz alınarak tanımlanmıştır. Deprem yer hareketi düzeyleri Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Deprem yer hareket düzeyleri [1]

Deprem Hareket Düzeyi	Aşılma Olasılığı	Tekrarlanma Periyodu	Aralığı
DD1	2475 yıl	2%	Çok Seyrek
DD2	475 yıl	10%	Seyrek
DD3	68 yıl	50%	Sık
DD4	43 yıl	68%	Çok Sık

3.2. Deprem Etkisi Altındaki Yapılarda Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayıları

Deprem etkisi altında bulunan yapılar yapının kullanım amacı, kullanım esnasındaki insan yoğunluğu, insan yoğunluğunun süresi temel alınarak tanımlanmıştır. TBDY 2018 Tablo 3.1'de verilen bilgiler doğrultusunda yapı tasarımında kullanılan parametreler belirlenir. Bu parametreler birbirleriyle bağlantılı olduğundan ilerleyen bölümlerde anlatılacaktır. Bina kullanım sınıfları (BKS) ve bina önem katsayıları (I) Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları [1]

Bina Kullanım Sınıfı	Bina Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (I)
BKS = 1	**Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar değerli eşyaların saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar** **a)** Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri; vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) b) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. c) Müzeler d) Toksik, patlayıcı, vb özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1,5
BKS = 2	**İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar** Alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb.	1,2
BKS = 3	**Diğer binalar** Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları	1,0

3.3. Deprem Tasarım Sınıfları

Deprem tasarım sınıfları (DTS) TBDY 2018 Tablo 3.3'te belirtildiği gibi DD2 deprem yer hareketi düzeyi etkisinde TBDY 2018 Bölüm 2.3.2.2'de tanımlanan kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısına bağlı olarak belirlenmektedir. Belirlenen deprem tasarım sınıfları bina yükseklik sınıfları ile bina yükseklik aralıklarını belirlemeye yardımcı olmaktadır. Deprem tasarım sınıfları Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3. Deprem tasarım sınıfları [1]

DD2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS})	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS = 1	BKS = 2, 3
$S_{DS} < 0,33$	DTS = 4a	DTS = 4
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	DTS = 3a	DTS = 3
$0,50 \leq S_{DS} < 0,75$	DTS = 2a	DTS = 2
$0,75 \leq S_{DS}$	DTS = 1a	DTS = 1

3.4. Bina Yüksekliği ve Bina Yükseklik Sınıfları

Bina yükseklik sınıfları (BYS) deprem tasarım sınıfı ve bina yüksekliği parametrelerine göre belirlenmektedir. TBDY 2018 Bölüm 3.3.1.3'de bina yüksekliği bina tabanından itibaren ölçülen yükseklik olarak tanımlanmaktadır. Bu kapsamda çatı döşemesinin üzerinde yer alan asansör makine dairesi ve benzeri küçük kütleler dikkate alınmayabilir. Yapının bodrumlu olduğu durumlarda bina yükseklik sınıfının bodrum perdelerinin üst kotundaki kat döşemesi seviyesinde tanımlanması için yönetmelik Bölüm 3.3.1.1'de verilen şartlar sağlanmalıdır. Bina yükseklik sınıfları Tablo 3.4'te verilmiştir.

- Yapının bodrum perdeleri ile en az üç taraftan çevrili olmasıdır.
- Bodrum katlar dahil olmak üzere binanın hâkim titreşim periyodunun, bodrum katın dahil olmadığı durumda hesaplanan doğrusal titreşim periyoduna oranının 1,1'den küçük olması durumudur.

Tablo 3.4. Bina yükseklik sınıfları [1]

Bina Yükseklik Sınıfı	Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları [m]		
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a	DTS = 4, 4a
BYS = 1	$H_N > 70$	$H_N > 91$	$H_N > 105$
BYS = 2	$56 < H_N \leq 70$	$70 < H_N \leq 91$	$91 < H_N \leq 105$
BYS = 3	$42 < H_N \leq 56$	$56 < H_N \leq 70$	$56 < H_N \leq 91$
BYS = 4	$28 < H_N \leq 42$	$42 < H_N \leq 56$	
BYS = 5	$17,5 < H_N \leq 28$	$28 < H_N \leq 42$	
BYS = 6	$10,5 < H_N \leq 17,5$	$17,5 < H_N \leq 28$	
BYS = 7	$7 < H_N \leq 10,5$	$10,5 < H_N \leq 17,5$	
BYS = 8	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10,5$	

3.5. Deprem Etkisi Altında Düzensiz Binalar

Bu başlık kapsamında doğrusal tasarımı yapılan yapıların düzensizlik sınırlarını aşmaması gerekmektedir. Düzensizlikler Tablo 3.5'te belirtildiği gibi A ve B alt bölümlerinden oluşmaktadır. A bölümü yapıdaki yatay düzensizlikleri tanımlanırken, B bölümü yapıdaki düşey düzensizlikleri tanımlanmaktadır. Her iki durum içinde düzensizlik sınırlarının aşılmaması, yapı için daha uygundur.

Tablo 3.5. Düzensizlik tanımları [1]

A – PLANDA DÜZENSİZLİK DURUMLARI
A1 – Burulma Düzensizliği: Burulma Düzensizliği Katsayısı ηbi ’nin 1,2’den büyük olması durumudur.
A2 – Döşeme Süreksizlikleri: Merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanları toplamının kat brüt alanının 1/3’ünden fazla olması durumu, –Deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması durumu, Döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması durumudur.
A3 – Planda Çıkıntılar Bulunması: Bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de, binanın o katının aynı doğrultulardaki toplam plan boyutlarının %20'sinden daha büyük olması durumudur.
B – DÜŞEYDE DÜZENSİZLİK DURUMLARI
B1 – Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat): Betonarme binalarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki toplam etkili kesme alanı’nın, bir üst kattaki toplam etkili kesme alanı’na oranı olarak tanımlanan Dayanım Düzensizliği Katsayısı ηci ’nin 0.80’den küçük olması durumudur.
B2 – Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat): Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, bodrum katlar dışında, herhangi bir i’inci kattaki ortalama göreli kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama göreli kat ötelemesi oranına bölünmesi ile tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı ηki ’nin 2.0’den fazla olması durumudur.
B3 – Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği: Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının (kolon veya perdelerin) bazı katlarda kaldırılarak kirişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulması, ya da üst kattaki perdelerin altta kolonlara oturtulması durumudur.

3.6. Deprem Etkisi Altında Binaların Dayanıma Göre Tasarımı İçin Hesaplar

Deprem etkisi altında binaların dayanıma göre tasarımı için hesap esasları TBDY 2018 Bölüm 4'te açıklanmıştır. Verilen kapsam içindeki binaların, dayanıma göre tasarım yaklaşımı ile tasarımı için kullanılacak doğrusal hesap esasları bu bölümde özetlenmektedir. Dayanıma göre tasarımda,

- Belirli performans hedefleri için taşıyıcı sistemin süneklik kapasitesine karşılık gelen azaltılmış deprem yükleri belirlenir.
- Bu yükler altında deprem hesabı yapılır. Azaltılmış iç kuvvetlere dayanım fazlalığı katsayısı çarpanı da dahil edilerek dayanım talepleri elde edilir.
- Eleman dayanım talepleri iç kuvvet kapasiteleriyle karşılaştırılır.
- Deprem hesabından elde edilen göreli kat ötelemeleri izin verilen sınırlarla karşılaştırılır.
- Dayanım talepleri dayanım kapasitelerinin altında olmalıdır. Göreli kat ötelemeleri izin verilen sınırın altında olmalıdır. Aksi takdirde eleman kesitleri değiştirilerek tasarım aşamaları tekrarlanır.

3.6.1. Deprem yükü azaltma katsayısı

Deprem yükü azaltma katsayısı TBDY 2018 4.2'de açıklanmıştır. Buna göre deprem yükü azaltma katsayısı ($R_a(T)$); Denklem (3.1) ve (3.2) yardımıyla hesaplanır. Burada $R_a(T)$ deprem yükü azaltma katsayısını, R yapı davranış katsayısını, I bina önem katsayısını, D dayanım fazlalığı katsayısını, T_B ise yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodunu ifade etmektedir.

$$R_a(T) = \frac{R}{I} \qquad (T > T_B) \qquad (3.1)$$

$$R_a(T) = D + \left(\frac{R}{I} - D\right)\frac{T}{TB} \qquad (T \leq T_B) \qquad (3.2)$$

3.6.2. Yapı davranış katsayısı ve dayanım fazlalığı katsayısı

Yapı davranış katsayısı ve dayanım fazlalığı katsayısı TBDY 2018 Bölüm 4.3.'de tanımlanmıştır. Tez kapsamında kullanılacak maddeler şu şekildedir:

- Taşıyıcı sistemde tek bir perdenin aldığı taban devrilme momenti M_{DEV} veya M_{DEV}'lerin toplamı o doğrultudaki yapının toplam taban devrilme momentinin M_o'ın 1/6'sından az olamaz.

- Birbirine dik doğrultudaki taşıyıcı sistemlerin süneklik düzeylerinin aynı olması zorunludur.
- Süneklik düzeyi yüksek bağ kirişsiz veya süneklik düzeyi yüksek bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdelerde, perdelerin tabanlarına gelen momentlerin, o doğrultudaki tüm yapıya gelen taban devrilme momentinin %40'ından az, %75'inden fazla olmayacaktır.
- Taşıyıcı sistem elemanlarının sünek davranış gösteren elemanları için tasarımda azaltılmış iç kuvvetlerin hesabında dayanım fazlalığı katsayısı kullanılmayacaktır.
- Taşıyıcı betonarme sistem elemanlarının sünek olmayan davranış gösteren elemanları için azaltılmış iç kuvvetlerinin hesabında dayanım fazlalığı katsayısı çarpan olarak kullanılacaktır.

Süneklik düzeyi yüksek betonarme bina taşıyıcı sistemleri için taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) ve dayanım fazlalığı katsayısı (D)Tablo 3.6'da belirtilmiştir.

Tablo 3.6. Bina taşıyıcı sistem parametreleri [1]

Bina Taşıyıcı Sistem	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R	Dayanım Fazlalığı Katsayısı D	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları BYS
A. YERİNDE DÖKME BETONARME BİNALARIN TAŞIYICI SİSTEMLERİ			
A1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
A11. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçevelerle karşılandığı binalar	8	3	BYS ≥ 3
A12. Deprem etkilerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdelerle karşılandığı binalar	7	2,5	BYS ≥ 2
A13. Deprem etkilerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdelerle karşılandığı binalar	6	2,5	BYS ≥ 2
A14. Deprem etkilerinin moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	8	2,5	BYS ≥ 2
A15. Deprem etkilerinin moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	7	2,5	BYS ≥ 2
A16. Deprem etkilerinin tamamının çatı yüzeyindeki bağlantıları mafsallı olan ve yüksekliği 12 m'yi geçmeyen süneklik düzeyi yüksek betonarme kolonlar tarafından karşılandığı tek katlı binalar	3	2	-

3.6.3. Doğrusal tasarımda uygulanması gereken genel kurallar

- Bina taşıyıcı sistemi üç boyutlu modellenecektir.
- Yapılarda iki yatay doğrultudaki deprem etkisi ve düşey deprem etkisi göz önüne alınacaktır. Tez kapsamında düşey deprem etkisi çalışma kapsamına alınmamıştır.
- Sönüm oranı aksi belirtilmedikçe %5 alınacaktır.
- Kiriş ve kolonlar çerçeve sonlu elemanları olarak modellenecektir. Birleşim bölgelerinde 6 serbestlik derecesi de göz önüne alınacaktır. Betonarme perdeler ve döşemeler kabuk elaman olarak modellenecektir.
- Betonarme boşluklu perde-bağ kiriş yapılarında, bağ kirişli perdenin bağ kirişlerinden aktarılan taban devrilme momentinin perdeye gelen toplam devrilme momentine oranı 1/3'den büyük olmalıdır.
- Rijit diyafram modeline göre yapılan hesap sonucunda herhangi bir doğrultuda döşemeden herhangi bir düşey taşıyıcı sistem elemanına (kolon veya perde) aktarılan kuvvet, döşemenin altındaki ve üstündeki katlarda o eleman için ilgili doğrultuda elde edilen kesme kuvvetlerinin farkı olarak hesaplanacaktır.
- Yapılan hesaplamalarda etkin kesit rijitlikleri kullanılacaktır. Doğrusal tasarım için etkin kesit rijitlikleri TBDY 2018 Tablo 3.7'de verilmiştir.

Tablo 3.7. Etkin Kesit Rijitliği Çarpanları [1]

Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanı	Etkin Kesit Rijitliği Çarpanı	
Perde-Döşeme (Düzlem İçi)	**Eksenel**	**Kayma**
Perde	0,50	0,50
Bodrum Perdesi	0,80	0,50
Döşeme	0,25	0,25
Perde-Döşeme (Düzlem Dışı)	**Eğilme**	**Kesme**
Perde	0,25	1,00
Bodrum Perdesi	0,50	1,00
Döşeme	0,25	1,00
Çubuk Eleman	**Eğilme**	**Kesme**
Bağ kirişi	0,15	1,00
Çerçeve kirişi	0,35	1,00
Çerçeve kolonu	0,70	1,00
Perde (eşdeğer çubuk)	0,50	0,50

- Hareketli yük katılım katsayısı değerleri yapının kullanılacağı amaca göre belirlenip uygulanacaktır. Çatı katı ağırlığının hesabında kar yüklerinin %30'u göz önüne alınacaktır.

Hareket yük kütle katılım katsayıları Tablo 3.8'de belirtilmiştir.

Tablo 3.8. Hareketli yük katılım katsayıları [1]

Binanın Kullanım Amacı	n
Depo, antrepo, vb.	0,80
Okul, öğrenci yurdu, ibadethane, spor tesisi, sinema, tiyatro, konser salonu, lokanta, mağaza, vb.	0,60
Konut, işyeri, otel, hastane, otopark, vb.	0,30

- Kat döşemeleri kendi düzlemleri içinde rijit diyafram olarak modellenmeleri durumunda kat kütle merkezi iki yatay bir düşey serbestlik derecesine karşılık gelecek şekilde tanımlanmaktadır.

3.6.4. Tezde kullanılan malzeme özellikleri, yükler ve birleşimleri

- Beton sınıfları ve donatı çeliğinin mekanik özellikleri TS 500 Bölüm 3.2. ve 3.3.'te belirtilmiştir (Tablo 3.9) ve (Tablo 3.10).

Tablo 3.9. Beton sınıfları ve özellikleri [33]

Beton Sınıfı	Karakteristik Basınç Dayanımı, fck Mpa	Eşdeğer Küp (200 mm) Basınç Dayanımı Mpa	Karakteristik Eksenel Çekme Dayanımı, fctk Mpa	28 Günlük Elastisite Modülü, Ec Mpa
C16	16	20	1,4	27000
C18	18	22	1,5	27500
C20	20	25	1,6	28000
C25	25	30	1,8	30000
C30	30	37	1,9	32000
C35	35	45	2,1	33000
C40	40	50	2,2	34000
C45	45	55	2,3	36000
C50	50	60	2,5	37000

Tablo 3.10. Donatı çelikleri ve özellikleri [33]

Mekanik Özellikler	Donatı Çubukları				Hasır Donatı	
	Doğal Sertlikte			Soğukta İşlem Görmüş		
	S220a	S220a	S500a	S420b	S500bs	S500bk
Minimum akma dayanımı (MPa)	220	420	500	420	500	500
Minimum kopma dayanımı (MPa)	340	500	550	550	550	550
$\varphi \leq 32$ Minimum kopma uzaması (%)	18	12	12	10	8	5
$32 < \varphi \leq 50$ Minimum kopma uzaması (%)	18	10	10	10	8	5

- Doğrusal tasarım aşamasında kullanılan hareketli yük değerleri TS 498'den alınıp yapıya etkitilecektir. Bu yükler Tablo 3.11'de belirtilmiştir.

Tablo 3.11. Hareketli yük değerleri [32]

Çatılar Yatay veya 1/20'ye kadar eğimli	Döşemeler	Merdivenler	Hesap değeri (kN/m^2)
Zaman zaman kullanılan çatılar	Çatı arası odalar		1,5
Konut toleranslarının kullanılması ve çiçeklik	Konut, teras, oda ve koridorlar, bürolar, konutlardaki 50 m2'ye kadar olan dükkanlar, hastane odaları		2
	Hastanelerin, mutfakların muayene odaları, poliklinik odaları, sınıflar, yatakhaneler, anfiler	Konut merdivenleri	3,5
	Camiler, Tiyatro ve sinemalar, spor, dans ve sergi salonları, tribünler, toplantı ve bekleme salonları, mağazalar, lokantalar, kütüphaneler,büro, hastane, okul, tiyatro, sinema, kütüphane, depo vb. genel yapı koridorları.	Umuma açık yapılarda büro, hastane, okul, tiyatro, kütüphane, kitaplık vb	5
	Tribünler		7,5
	Garajlar		5

Yük birleşimleri oluşturulurken TS 500 Bölüm 6.2.6 ve TBDY 2018'de verilen deprem etkisi içeren yük birleşimleri referans alınarak birleşimler oluşturulmuştur.

- 1,4G + 1,6Q
- 1,0G + 1,2Q + 1,2T
- 1,0G + 1,3Q + 1,3W
- 0,9G + 1,3W
- $0,9G + 1,0H + 1,0\ E_d^{(H)} - 0,3E_d^{(Z)}$
- $1,0G + 1,0Q + 0,2S + 1,0\ E_d^{(H)} + 0,3E_d^{(Z)}$
- 1,4G + 1,6Q + 1,6H
- 0,9G + 1,6H

Burada G kaplama ve sabit yüklerini, Q hareketli yüklerini, T sıcaklık yüklerini, W rüzgâr yüklerini, $E_d^{(H)}$ deprem yatay yüklerini, $E_d^{(Z)}$ deprem düşey yüklerini ve H ise toprak yükünü ifade etmektedir. Tez kapsamında düşey yükler ve toprak yükleri değerlendirmeye alınmamıştır.

3.6.5. Doğrusal hesap yönteminin seçilmesi

Doğrusal hesap yöntemi seçimi TBDY 2018 Bölüm 4.6'da açıklanmıştır. TBDY 2018'de iki doğrusal hesap yöntemi tanımlanmıştır. Bu hesap yöntemleri eşdeğer deprem yükü yöntemi ve modal hesap yöntemidir. Bu bölüm kapsamında yapının deprem tasarım sınıfı ve düzensizlik durumlarına bakılırken, bina yükseklik sınıfı da dahil edilerek yöntem esası belirlenmektedir. Tez kapsamında yapılarda modal hesap yöntemi tercih edilmiştir. Modal hesap yönteminde taşıyıcı sistemin modal davranışı esas alınarak yapı davranışı belirlenmektedir.

3.6.5.1. Eşdeğer Deprem Kuvveti Eşitlemesi

Eşdeğer deprem kuvvetinin belirlenmesi Denklem 3.3'e göre yapılmaktadır.

$$V_{tE} = m_t \, S_{aR}(T_p) \geq 0{,}04 \, m_t \, I \, S_{DS} \, g \tag{3.3}$$

Bu Denklemde $S_{aR}(T_p)$ azaltılmış tasarım spektral ivmesidir. S_{DS} kısa periyot için tanımlanan tasarım spektral ivmesidir. m_t binanın toplam kütlesini ifade etmektedir. Binanın hâkim titreşim periyodunu ifade eden T_P kesin bir hesap yapılmadıkça TBDY 2018 Denklem 4.26'daki gibi hesaplanacaktır. Deprem hesabında göz önüne alınacak en büyük T_P periyodunun değeri Denklem 3.4'de hesaplanan değerin 1,4 katından fazla olmayacaktır.

$$T_{pA} = C_t \, H_N^{3/4} \tag{3.4}$$

C_t katsayısı ampirik doğal titreşim periyodu hesabında kullanılan katsayıdır. H_N ise binanın üst bölümünün yüksekliği olarak ifade edilmektedir. Taşıyıcı sistemi sadece betonarme çerçevelerden oluşan binalarda C_t = 0,1, betonarme tüm binalarda C_t = 0,07 alınacaktır. Tasarlanan binalardaki C_t katsayı değerleri yukarıdan alınabileceği gibi TBDY 2018 Denklem 4.28a'da verilen denklemle hesaplanabilir.

Mod birleştirme yöntemine göre bulunan azaltılmış iç kuvvetler ve yerdeğiştirmeler eşdeğer taban kesme kuvvetine göre büyütülmektedir. Denklem 3.5'de verilen β_{tE} katsayısı kullanılarak eşitleme yapılacaktır.

$$\beta_{tE} = \frac{\gamma_E V_{tE}}{V_t} \geq 1 \tag{3.5}$$

Burada V_{tE} eşdeğer deprem yükü yöntemiyle hesaplanan taban kesme kuvvetini, V_{tx} mod birleştirme yöntemiyle elde edilen toplam deprem yükünü göstermektedir. γ_E çarpanı A1, B2 veya B3 düzensizliklerinden birinin bulunduğu binalarda 0,90, diğer durumlarda 0,80 alınacaktır.

3.6.6. Göreli kat ötelenmelerinin sınırlandırılması ve ikinci mertebe etkisi

TBDY 2018 Bölüm 4.9'da göreli kat öteleme sınırları ve ikinci mertebe etkileri belirtilmiştir. İki kat arasındaki yer değiştirme farkını ifade eden azaltılmış göreli kat ötelemesi Δ_i'dir. Herhangi bir doğrultudaki binanın herhangi katındaki kolon veya perdeler için etkin göreli kat ötelemesi Denklem 3.6'da verilmiştir.

$$\delta_i = \frac{R}{I}\,\Delta_i \tag{3.6}$$

δ_i binanın i'inci katındaki kolon veya perdeler için etkin göreli kat ötelemelerini, Δ_i ise ardışık iki kat arasındaki azaltılmış göreli kat ötelemelerini ifade etmektedir. Gevrek malzemeden yapılmış boşluklu veya boşluksuz dolgu duvarlarının aralarında derz veya bağlantı bulunup bulunmadığı, tamamen bitişik durumda olup olmadığı olmak üzere iki farklı durum mevcuttur. Herhangi bir doğrultudaki göreli kat ötelemelerinin bulunduğu kat içindeki en büyük değeri Denklem 3.7 ve 3.8'de kullanılarak kontrol edilmelidir.

$$\lambda \frac{\delta_{i,max}}{h_i} \leq 0{,}008\kappa \tag{3.7}$$

$$\lambda \frac{\delta_{i,max}}{h_i} \leq 0{,}016\kappa \tag{3.8}$$

İkinci mertebe etkilerin sınırları ve koşulları TBDY 2018 Bölüm 4.9.2'de belirtilmektedir. Buna göre her bir kat için belirli bir deprem doğrultusunda ikinci mertebe gösterge değeri (θ_{IIi}) Denklem (3.9) ile hesaplanacaktır. Her bir kat için

hesaplanan θ_{IIi} değerlerinin maksimumu olan $\theta_{II,max}$ Denklem (3.10)'daki koşulu sağlayacaktır.

$$\theta_{II,i} = \frac{(\Delta_i)_{ort} \sum_{k=1}^{N} w_k}{V_i \, h_i} \tag{3.9}$$

$$\theta_{II,max} \leq 0{,}12 \frac{D}{C_h R} \tag{3.10}$$

Bu bağıntıdaki Δ_{iort}, i'inci kattaki kolon ve perdelerde deprem doğrultusunda hesaplanan azaltılmış göreli kat ötelemelerinin kat içindeki ortalama değerini, C_h katsayısı ampirik katsayısı, $\theta_{II,max}$ ikinci mertebe gösterge değerini ifade etmektedir.

3.7. Deprem Etkisi Altında Yerinde Dökme Betonarme Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarımı

Bu bölümde tez çalışması kapsamında doğrusal tasarımda kullanılan sistem tasarımları anlatılmıştır. Betonarme tasarımla ilgili kurallar aşağıda belirtilmiştir.

- Betonarme yapılarda kullanılan beton kalitesi C25'ten küçük C80'den büyük olamaz. Denetimi ve bakımı yapılmış, vibratörle yerleştirilmiş beton kullanılması zorunludur.
- B420C ve B500C nervüllü donatı çelikleri kullanılacaktır.
- Eleman kesit hesapları TS500 de verilen tasarım ilkelerine göre hesaplanacaktır.
- Özel deprem etriyelerinin bağlanılması TBDY Bölüm 7.2.8.1'de verilen kriterlere göre yapılacaktır.

3.7.1. Süneklik düzeyi yüksek kolonların tasarımı

Tasarım aşamasında süneklik düzeyi yüksek kolonların tasarımında dikkate alınan şartlar aşağıda özetlenmiştir.

- Dikdörtgen kesitli kolonların en küçük kesit boyutu 30 cm olacaktır. Dairesel kolonların kesit boyutu en az 35 cm olacaktır.
- Kolonlarda Ø14'ten daha küçük donatı kullanılmayacaktır. %1'den az %4'den fazla donatı kullanılmayacaktır. Ayrıca 6 adetten az donatı kullanılamaz.
- Bindirme boyları TS 500'de belirtilen şartları sağlayacaktır.
- Düşey yükler ve deprem etkisinin ortak etkisi olan G + Q + E altında hesaplanan eksenel basınç kuvvetleri kesit kapasitesinin maksimum 0,40 oranında olmalıdır.

- Kolonlar kirişlerden TBDY 2018 Bölüm 7.3.5'de verilen minimum %20 oranından daha büyük kesit taşıma gücüne sahip olmalıdır.
- Her bir kolonun alt ve üst uçlarında özel sarılma bölgeleri oluşturulacaktır. Sarılma bölgeleri TBDY 2018 Bölüm 7.3.4.1'de verilen şartları sağlamalıdır.
- Kolonların kesme güvenliği TBDY 2018 7.3.5'de verilen sınır durumunu sağlamalıdır. Kesme güvenliğinin sağlanamadığı durumda kolon alt ve üst uçlarına gelen momentler, kolonların moment kapasiteleri olarak hesaplanacaktır. Buradan yola çıkarak kolona gelen kesme kuvveti hesaplanarak kapasite tasarımı yapılır. Farklı olarak düşey yükler ve deprem etkisinin beraber olduğu durumlarda kolonlara gelen kesme kuvveti hesaplanarak TBDY 2018 Denklem 7.7'de verilen sınır durumları sağlanmalıdır.

3.7.2. Süneklik düzeyi yüksek kirişlerin tasarımı

Tasarım aşamasında süneklik düzeyi yüksek kirişlerin tasarımında dikkate alınan şartlar aşağıda özetlenmiştir.

- Kiriş gövde genişliği en az 25 cm olmalıdır. Kiriş yüksekliği, döşeme kalınlığının 3 katından ve 30 cm'den az olmayacaktır. Ayrıca kiriş yüksekliği kiriş gövde genişliğinin 3,5 katından fazla olamaz.
- Kiriş olarak tasarlanacak elemanlarda, eksenel basınç oranı $N_d < 0{,}10A_cf_{ck}$ sınırından küçük olmalıdır. Küçük olmadığı takdirde kolon olarak boyutlandırılıp donatılacaktır.
- Minimum çekme donatı oranı TBDY 2018 Denklem 7.8'de verilen sınır koşuluna uyacaktır.
- Deprem Tasarım Sınıfı; DTS 1, 1a ve DTS 2, 2a olan taşıyıcı sistemlerde, kiriş mesnedindeki alt donatı, aynı mesnetteki üst donatının %50'sinden daha az olamaz. Ancak, diğer durumlarda bu oran %30'a indirilebilir.
- Kiriş donatı bindirme boyu TBDY 2018 Bölüm 7.3.4.1'de verilen şartlara uygun olacak şekilde tasarlanacaktır.
- Kirişlerin özel deprem etriyeleri hesabında kirişlerin moment kapasitesi hesaplanarak gelebilecek kesme kuvvetinin bulunması hesabına dayanmaktadır. Kirişlere gelecek kesme kuvvetlerinin hesaplanması ya da yukarıda belirtilen

moment kapasitesinden yola çıkılarak elde edilen kesme kuvvetleri $0{,}85b_w d\sqrt{f_{ck}}$ sınırını aşmayacaktır.

3.7.3. Süneklik düzeyi yüksek perdelerin tasarımı

3.7.3.1. Süneklik düzeyi yüksek perdelerin en kesit koşulları

Tasarım aşamasında süneklik düzeyi yüksek perdelerin tasarımında dikkate alınan şartlar aşağıda özetlenmiştir.

- Perdelerin net kesit alanlarının düşey yükler ve deprem kuvvetleri etkisi altında hesaplanan eksenel basınç kuvvetlerinin en büyüğü $A_c \geq N_{dm} / (0{,}35f_{ck})$ koşulunu sağlayacaktır. Bağ kirişli perdelerde perde parçalarının toplamı etkin kesit olarak göz önüne alınacaktır.
- Perdelerin gövde bölgesindeki perde kalınlığı kat yüksekliğinin 1/16'sından ve 25 cm'den küçük olmayacaktır. Ayrıca Denklem 3.11 ve 3.12'de verilen koşula uyacaktır.

$$\Sigma A_g / \Sigma A_p \geq 0{,}002 \tag{3.11}$$

$$V_t / \Sigma A_g \leq 0{,}5\ f_{ctd} \tag{3.12}$$

ΣA_g, depreme paralel doğrultuda çalışan perdelerin enkesit alanlarının toplamı, ΣA_p binanın tüm katlarının plan alanlarının toplamını, V_t ise binaya etkiyen taban kesme kuvvetini ifade etmektedir.

- Perde uç bölgeleri ve kritik perde yüksekliği için TBDY 2018 Bölüm 7.6.2'de verilen şartlar sağlanmalıdır. Temel üstünden veya perdenin plandaki uzunluğunun %20'sinden daha fazla küçüldüğü yerden itibaren kritik perde yüksekliği Denklem 3.13'de verilen sınır durumu şartını sağlamalıdır.

$$2l_w \geq H_{c\,r} \geq \max [l_w ; H_w / 6] \tag{3.13}$$

H_w temel üstünden veya zemin kat döşemesinden itibaren ölçülen toplam perde yüksekliğini, H_{cr} ise perde kritik yüksekliğini ifade etmektedir.

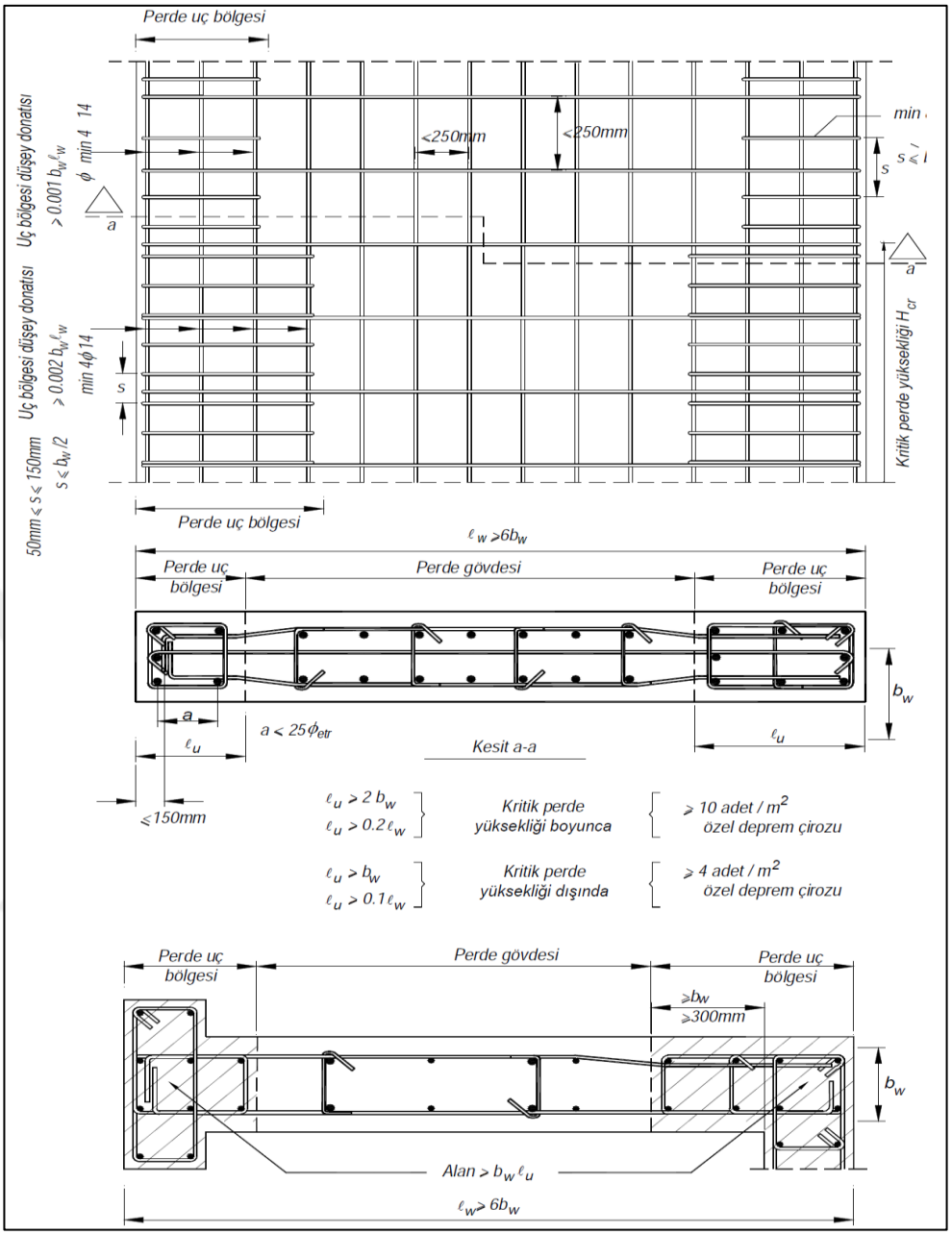
- Büyüklükleri zemin kat döşemesinden itibaren yukarıya doğru göz önüne alınacaktır. Perde başlığı minimum 30 cm olmak zorundadır.

- Perde gövde donatısı koşulu TBDY 2018 Bölüm 7.6.3'te açıklanmıştır. Perdenin gövde donatılarının toplam enkesit alanı/brüt perde enkesit alanının 0,0025'inden az olmayacaktır. Perde boyuna donatı ve enine donatı aralığı 25 cm'den fazla olmayacaktır. Denklem 3.11 ve 3.12 koşullarının her ikisininde sağlandığı durumda donatı oranları 0,002'ye düşürülebilir. Ancak bu durumda donatı aralığı 30 cm'i geçmeyecektir. Perde gövde bölgelerinde; kritik perde yüksekliği boyunca metrekarede 10 adet, kritik perde yüksekliğinden sonra ise metrekarede 4 adet özel deprem çirozu bulunacaktır. Çiroz çapları kullanılan yatay donatının çapıyla aynı olmalıdır. Gövde donatılarının düzenlenmesiyle ilgili TBDY 2018 Bölüm 7.6.4'e bakılabilir.
- Perde uç bölgesi TBDY 2018 Bölüm 7.6.5'te açıklanmıştır. Kritik perde yüksekliği boyunca perde uç bölgelerinin her birinde toplam düşey donatı alanının perde brüt enkesit alanına oranı en az 0,002 olacaktır. Kritik yükseklik dışında ise 0,001'den az olmayacaktır. Perde uç bölgelerinde boyuna donatı oranı 0,03'ü bindirme bölgelerinde 0,06'yı geçmeyecektir. Ayrıca perde uç bölgelerinde boyuna donatı miktarı 4ϕ14'ten az olmayacaktır.
- Uç bölgelerinde enine donatı çapı ϕ8'den az alınamaz. Etriye kolları ve çirozların arasındaki mesafe, etriye ve çiroz çapının 25 katından daha fazla olmayacaktır.
- Kritik perde yüksekliği boyunca perde uç bölgelerinde kullanılacak enine donatı Denklem 3.14. ile verilen koşulun en az 2/3'ü kadar olacaktır. Düşey doğrultuda etriye ve/veya çiroz aralığı 15 cm'den büyük, 5 cm'den küçük olmayacaktır. Ayrıca düşey doğrultuda donatı aralığı boyuna donatı çapının 6 katından ve perde kalınlığının 1/3'ünden fazla olmayacaktır. Kritik perde dışında ise perde kalınlığı 20 cm'den fazla alınamaz.

$$A_{sh} \geq 0{,}075\ s\ b_k \left(f_{ck} / f_{ywk}\right) \tag{3.14}$$

s enine donatı aralığını, b_k kesitte kullanılan etriye ve çirozların toplam enkesit alanını, A_{sh}, b_k'ya dik doğrultudaki izdüşümlerinin toplamını ifade etmektedir.

Perde kritik yükseklikleri, boyuna donatı oranı ve aralıkları, yatay donatı ve etriye sınır değerleri Şekil 3.1'de verilmiştir.

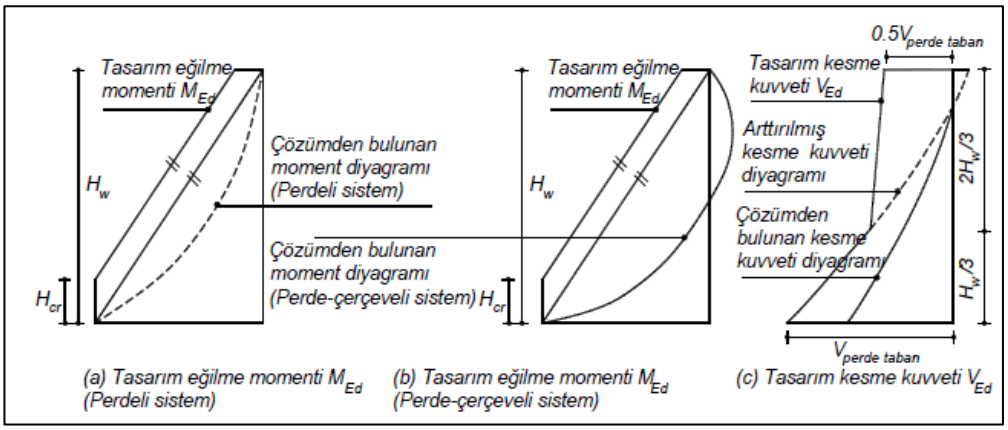


Şekil 3.1. Perde uç bölgesi ve donatı düzeni hakkında genel kurallar [1]

3.7.3.2. Süneklik düzeyi yüksek perdelerin tasarım eğilme momentleri ve kesme kuvvetleri

Perde tasarım eğilme momentleri ve kesme kuvvetleri TBDY 2018 Bölüm 7.6.6'da açıklanmıştır. H_w/l_w>2,0 koşulunu sağlayan perdelerde tasarıma esas eğilme momentleri kritik perde yüksekliği boyunca sabit bir değer olarak hesaplanan eğilme momentine eşit alınır. Kritik kat yüksekliğinden sonra ise perde tabanında ve tepesinde hesaplanan momentleri birleştiren doğruya paralel olan doğrusal moment

diyagramı uygulanacaktır. H_w/l_w <2,0 olan perdelerde tasarım eğilme momentleri hesaplanan eğilme momentine eşit alınmalıdır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Perde tasarım eğilme momenti ve kesme kuvveti grafiği [1]

Perde kesme kuvveti TBDY 2018 Bölüm 7.6.6.3'de belirtildiği gibi göz önüne alınan herhangi bir kesitte, enine donatı hesabında esas alınacak tasarım kesme kuvveti V_e hesaplanacaktır (Denklem 3.15).

$$V_e \geq \beta_v \frac{(M_p)_t}{(M_d)_t} V_d \qquad (3.15)$$

V_e taşıyıcı elemanların enine donatı hesabında esas alınan kesme kuvvetini, β_v perde kesme kuvveti büyütme katsayısını, $(M_p)_t$ f_{ck}, f_{yk} ve çeliğin dayanım artışı göz önüne alınarak hesaplanan moment kapasitesini, $(M_d)_t$ perde taban kesitinde arttırılmış düşey yüklerin ve deprem kuvvetinin ortak etkisinde altında hesaplanan momenti, V_d ise arttırılmış düşey yüklerin ve deprem kuvvetlerinin ortak etkisi altında hesaplanan kesme kuvvetini ifade etmektedir.

İki farklı yaklaşım ile tasarım kesme kuvveti karşılaştırılmaktadır. Denklem 3.15'de belirtildiği gibi perdenin moment kapasitesinin perdeye gelen momentlere bölünmesi sonucunda bir artım katsayısı elde edilir. Bu katsayı ile iç kuvvetler arttırılıp kapasite ile karşılaştırılır. İkinci yaklaşımda ise yaklaşık olarak boşluksuz perdelerde 1,2D, bağ kirişli perdelerde ise 1,4D katı ile büyütülmesi ile elde edilen değer karşılaştırılır. Her iki yaklaşımda büyük olan kesme kuvveti denkleme dahil edilir. Perde kesitlerinin kesme dayanımı V_r TBDY Bölüm 2018 7.6.7'ye göre hesaplanmaktadır. Kesitlerin kesme dayanımları Denklem 3.16'da belirtilmiştir.

$$V_r = A_{ch}\left(0{,}65\ f_{ctd} + \rho_{sh}\ f_{ywd}\right) \quad (3.16)$$

A_{ch} boşluksuz ya da bağ kirişli perdelerin brüt enkesit alanını, f_{ctd} betonun tasarım çekme dayanımını, f_{ywd} enine donatının tasarım akma dayanımını, ρ_{sh} ise perdede bulunan yatay gövde donatılarının hacimsel oranını, V_r kesitin kesme kuvveti dayanımını ifade etmektedir.

TBDY 2018 Bölüm 7.6.6.3'te hesaplanan ve tasarım kesme kuvveti Denklem 3.17 ve 3.18'deki koşulları sağlamalıdır.

$$V_e = 0{,}85\ A_{ch}\sqrt{f_{ck}} > V_r \quad \text{(bağ kirişsiz perdeler)} \quad (3.17)$$

$$V_e = 0{,}65\ A_{ch}\sqrt{f_{ck}} > V_r \quad \text{(bağ kirişli perdeler)} \quad (3.18)$$

Perdelerin sürtünme yöntemi kontrolü TBDY 2018 Denklem 7.6.7.2'de belirtilmiştir. Kesme sürtünmesi hesabında perde gövde bölgesi ve perde uç bölgesi düşey donatısının tamamı A_s ve betonun katkısı f_{ctd} göz önüne alınacaktır. Sürtünme kesmesi kontrolü Denklem 3.19 ve 3.20'de verilen koşulları sağlamalıdır.

$$V_e \leq f_{ctd}\ A_c + \mu\ A_s\ f_{yd} \quad (3.19)$$

$$V_e \leq \min\left[0{,}2\ f_{ck}\ A_c\ ;\ (3{,}3 + 0{,}08\ f_{ck})\ A_c\right] \quad (3.20)$$

Kesme sürtünmesi hesabında donatının akma gerilmesi f_{yk} = 500MPa değerini geçmeyecektir.

3.7.3.3. Bağ kirişli (boşluklu) perdelere ilişkin kurallar

Bağ kirişli perdelere ilişkin koşul ve kurallar TBDY 2018 Bölüm 7.6.8'de belirtilmiştir. Bağ kirişlere gelen kesme kuvveti ve kesme kuvveti sonucu oluşan momentler Denklem 3.21 ve Denklem 3.22'de belirten şartları sağlamalıdır. Her iki denklemin sağlanamaması durumunda bağ kirişlerde çapraz donatı hesabı yapılarak toplam donatı alanı belirlenecektir (Denklem 3.23.).

$$l_n > 2h_k \quad (3.21)$$

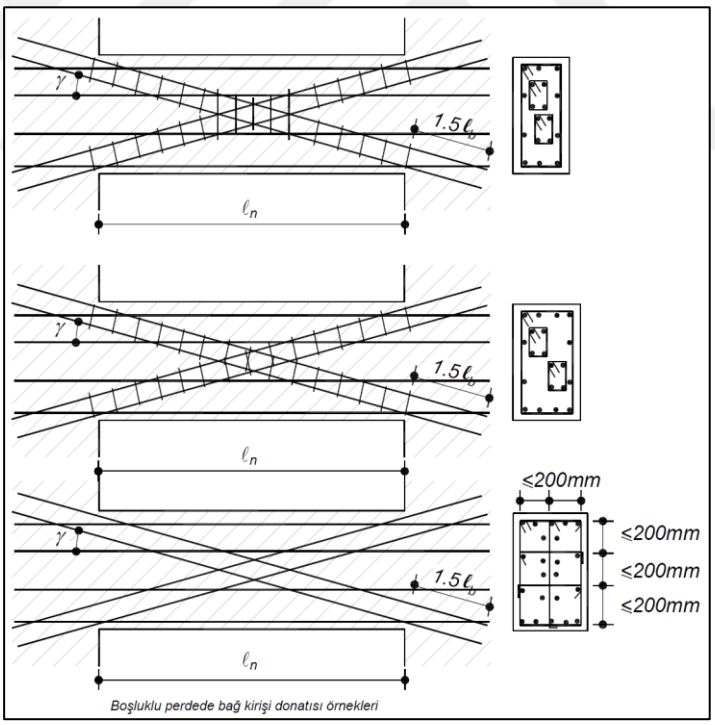
$$V_d \leq 1{,}5\ b_w\ d\ f_{ctd} \quad (3.22)$$

$$A_{sd} = V_d / \left(2\ f_{yd} \sin\gamma\right) \quad (3.23)$$

l_n bağ kirişin perde yüzleri arasında kalan serbest açıklığını, h_k bağ kiriş yüksekliğini, $b_{w\ bağ}$ kirişin gövde genişliğini, d bağ kirişin faydalı yüksekliğini, A_{sd} bağ kirişlerde kullanılan çapraz donatı demetinin toplam alanını, $\sin\gamma$ ise bağ kirişinde kullanılan çapraz donatı demetinin yatayla yaptığı açıyı ifade etmektedir.

- Çapraz donatı demetleri en az dört adet olmalıdır. Bu donatılar perde parçalarının içine en az $1{,}5l_b$ kadar uzatılmalıdır. Donatı demetleri en az 0,8 cm donatı ile sarılmalıdır. Sargı aralığı donatı çapının 8 katı ve 10 cm'den daha büyük olmamalıdır. Çapraz donatılara ek olarak TS 500'de öngörülen minimum miktarda etriye ile sarılmalıdır. Çapraz donatılar etriye ile sarılmadığı takdirde bağ kiriş boyuna donatıyı saran etriye aralıkları; çapraz donatı çapının 6 katını ve 15 cm'yi geçmeyecektir.

Ayrıca kiriş yüksekliği ve genişliği boyunca 20 cm'yi geçmeyecek aralıklarla yatay ve düşey çirozlar konulacaktır. Bu koşullar Şekil 3.3'te görülmektedir.



Şekil 3.3. Bağ kiriş genel donatı düzeni [1]

Bağ kirişli betonarme perdelerde bağ kirişe etki eden kesme kuvveti Denklem 3.24'de verilen üst sınırı aşmayacaktır.

$$V_d \leq 0{,}85\, b_w\, d\sqrt{f_{ck}} \tag{3.24}$$

4. 2018 TÜRK BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE DOĞRUSAL OLMAYAN TASARIM YAKLAŞIMI

Bu bölümde Türk Deprem Yönetmeliğinin doğrusal olmayan tasarım esasına dayanarak tez kapsamında kullanılan TBDY 2018 Bölüm 5 ve Bölüm 13'de kullanılan kurallar ve tasarım aşamaları açıklanmıştır.

4.1. Şekil Değiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım Yaklaşımı

Doğrusal olmayan tasarım aşamaları ve hesap kuralları bu başlık altında toplanmıştır.

- Mevcut veya yapılacak olan taşıyıcı sistem elemanlarının iç kuvvet şekildeğiştirme bağıntıları belirlenir.
- Yer hareketlerinin etkisi altında sünek/gevrek davranış talepleri belirlenir.
- Elde edilen şekildeğiştirme ve dayanım talepleri performans hedeflerinde belirtilen şekildeğiştirme ve dayanım talepleri ile karşılaştırılır.
- Talep edilen şekildeğiştirme ve dayanım talepleri, şekildeğiştirme ve dayanım kapasitelerinin altında olduğu durumda tasarım aşaması tamamlanır. Kapasitenin aşılması durumunda ise elemanlarda kesit değişikliğine gidilir ve hesap adımları tekrarlanır.

4.1.1 Performans hedefleri

Performans hedefleri TBDY 2018 Bölüm 3.4.'de belirtilmiştir. Taşıyıcı sistem davranışı esas alınarak şekildeğiştirme ve kapasite talepleri Tablo 4.1'de verilen performans hedeflerince karşılaştırılacaktır.

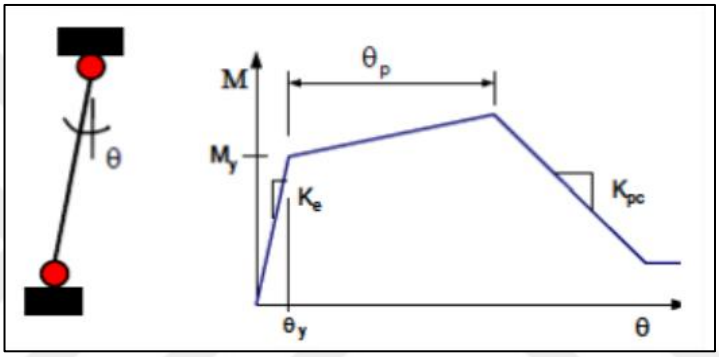
Tablo 4.1. Deprem yer hareketi düzeylerine göre performans hedefleri [1]

Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DTS = 1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD4	KK	DGT	-	-
DD3	-	-	SH	ŞGDT
DD2	KH	DGT	KH	DGT
DD1	GÖ	ŞGDT	KH	ŞGDT

4.1.2. Doğrusal olmayan davranış modelleri

4.1.2.1. Yığılı plastik davranış modeli

Çerçeve sonlu elemanları olarak modellenebilen, yönetmelik TBDY 2018 Bölüm 5.3.1'de belirtilen şartlara uyan elemanlarda plastik şekildeğiştirmelerin elemanın belirli bölgelerinde toplandığını kabul eden yaklaşımdır. Plastik mafsal boyu, çalışan doğrultudaki kesit boyutunun yarısına eşit alınır. Bu davranış modelinde, plastik şekildeğiştirmelerin tanımlanan bölgede eleman boyunca sınırlı olduğu kabul edilir. Plastik mafsallar arasında kalan bölümlerin ise doğrusal davranış göstererek elastik davrandığı varsayılır. Yığılı plastik model Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

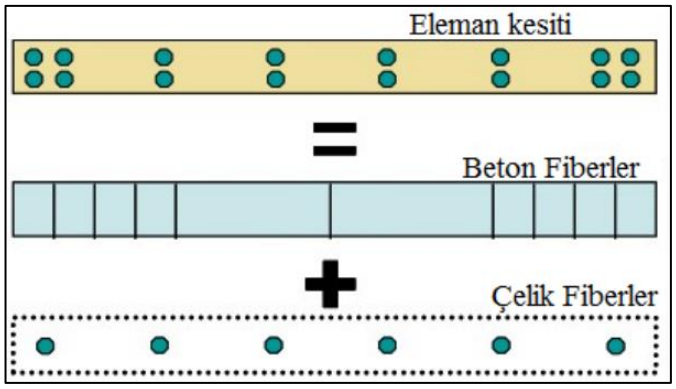


Şekil 4.1. Yığılı plastik modeli [26]

- Tezde, yığılı plastik mafsalların malzeme özellikleri, TBDY 2018 Bölüm 5.4.1.4'e göre alınmıştır.
- Akma momentinin hesabında, betonun basınç birim şekildeğiştirmesi 0,0035, donatı çeliğinin birim şekildeğiştirmesi 0,01 alınabilir [1].
- Akma momentinin hesabında, düşey yüklerden meydana gelen eksenel kuvvetler dikkate alınacaktır [1].

4.1.2.2. Yayılı plastik davranış modeli

Yayılı plastik davranış modeli TBDY Bölüm 5.3.2'de belirtilmiştir. Kolon, kiriş ve betonarme perde sistemleri bu yöntemle modellenebilmektedir. Bu davranış modelinde plastik şekildeğiştirmeler tanımlanan alan boyunca yayılır. Kesit elemanları her bir hücrede doğrusal olmayan normal gerilme-birim şekildeğiştirme bağıntılarının çevrimsel olarak göz önüne alınabildiği kesit hücresi (lif) modeli ile modellenmektedir. Gerilmelerin tanımlanan liflerde birbirine aktarıldığı varsayılmaktadır. Yayılı plastik model Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Yayılı plastik modeli [26]

4.1.3. Doğrusal olmayan hesapta taşıyıcı sistem modellemesine ilişkin genel kurallar

4.1.3.1. Genel modelleme kuralları

Doğrusal olmayan hesap yöntemlerine göre genel modelleme kuralları TBDY 2018 Bölüm 5.4'te belirtilmiştir.

- Bina taşıyıcı sistemleri üç boyutlu olarak modellenecektir.
- Birbirine dik iki yatay doğrultudaki deprem etkisi daima gözüne alınacaktır. Sönüm oranı %2,5 alınacaktır.
- Beton ve donatı çeliği ile yapı çeliğinin beklenen dayanımları esas alınacaktır (Tablo 4.2).
- Çubuk elemanlarda yığılı model kullanılırken, kabuk elemanlarda yayılı plastik model kullanılabilir.

Tablo 4.2. Beklenen Malzeme Dayanımı [1]

Beton	$f_{ye} = 1{,}3f_{ck}$
Donatı çeliği	$f_{ye} = 1{,}2f_{ck}$
Yapı çeliği (S235)	$f_{ye} = 1{,}5f_{ck}$
Yapı çeliği (S275)	$f_{ye} = 1{,}3f_{ck}$
Yapı çeliği (S355)	$f_{ye} = 1{,}1f_{ck}$
Yapı çeliği (S460)	$f_{ye} = 1{,}1f_{ck}$

4.1.3.2. Betonarme taşıyıcı sistemlerde etkin kesit rijitliğinin hesabı

Tezde doğrusal tasarım aşamalarına göre tasarlanan kesitlerin etkin kesit rijitlikleri TBDY 2018 Bölüm 4.5.8'e göre alınmıştır. Doğrusal olmayan tasarıma göre tasarlanan kesitlerin etkin kesit rijitlikleri TBDY 2018 Bölüm 5.4.5'e göre hesaplanmıştır. Yığılı plastik davranışa göre modellenen elemanların etkin kesit rijitlikleri Denklem 4.1'e göre hesaplanacaktır. M_y ve θ_y değerleri SAP2000 programında tanımlanan kesite göre hesaplanan moment-eğrilik grafiğine göre hesaplanmıştır. Dönme değerleri ise eğrilik değerleri ile mafsal boyunun çarpılması sonucunda elde edilmiştir.

$$(EI)_e = \frac{M_y}{\theta_y}\frac{L_s}{3} \tag{4.1}$$

Burada verilen M_y ve θ_y plastik mafsallarının etkin akma momentleri ile akma dönmelerinin ortalamalarını göstermektedir. L_s kesme açıklığı olup, kolon ve kirişlerde açıklığın yarısı, perdelerde ise her katta perde alt ucundan perde üst ucuna olan (perde boyu) yüksekliğin yarısı olarak alınabilir.

$$\theta_y = \frac{\emptyset_y L_s}{3} + 0{,}0015\,\eta\left(1 + 1{,}5\,\frac{h}{L_s}\right) + \frac{\emptyset_y\, d_b\, f_{ye}}{8\sqrt{f_{ce}}} \tag{4.2}$$

Denklem 4.2'de verilen θ_y akma durumu için yerdeğiştirmiş eksen dönmesini, $ø_y$ etkin akma eğriliğini, h kesit yüksekliğini, d_b ise mesnede kenetlenen donatı çeliklerinin ortalama çapını göstermektedir. η katsayısı ise kiriş ve kolonlarda 1, perdelerde 0,5 alınacaktır. Hesaplamalarda beton ve donatının beklenen akma dayanımları kullanılacaktır (Tablo 4.2).

4.1.4. Doğrusal olmayan hesap yöntemleri

Doğrusal olmayan hesap yöntemleri TBDY 2018 Bölüm 5.5'de tanımlanmıştır. Bu bölümde, yöntemlerden biri olan ve tez çalışmasında kullanılan zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi anlatılacaktır.

4.1.4.1. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi TBDY 2018 Bölüm 5.7'de verilmiştir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap, deprem yer hareketinin etkisi altında taşıyıcı sistemin hareket denklemlerini ifade eden diferansiyel denklem

takımının zaman artımları ile adım adım doğrudan integrasyonuna karşı gelir. [1]

Zaman tanım alanında yapılacak doğrusal olmayan hesaplarda en az 11 deprem kullanılır. Birbirine dik doğrultuda bulunan depremler aynı anda birlikte etki ettirilir. Daha sonra ivme kayıtları 90^o çevrilerek hesaplar tekrarlanacaktır.

Taşıyıcı elemanlarda oluşan dinamik enerji kayıpları viskoz sönüm matrisi ile temsil edilir. Viskoz sönüm matrisi, Rayleigh orantılı sönüm matrisi veya modal sönüm matrisi olarak oluşturulur.

Deprem yer hareketi seçiminde:

- Faya uzaklığa
- Kaynak mekanizmaları ile yerel zemin koşullarının uygunluklarına
- Esas depremle uyumlu seçilecek depremlerin büyüklüklerine dikkat edilmesi gerekir.

Deprem ölçeklendirmesi yapılan deprem kaydının, iki yatay bileşenine ait spektrumların kareleri toplamının karekökü alınarak bileşke yatay spektrum elde edilir. Seçilen kayıtların ölçeklendirilmesinde doğrusal tasarımda kullanılan deprem hareket genliğinin 1,3 katı alınarak seçilecek 11 deprem ile ölçeklendirilir. $0{,}2T_p$ ile $1{,}5T_p$ arasında deprem hareket genlikleri ölçeklendirilirken referans alınır. Her iki yatay bileşenin ölçeklendirilmesinde aynı ölçek katsayıları kullanılır.

4.1.5. Şekil değiştirme ve iç kuvvetlerin değerlendirilmesi

Göçmenin önlenmesi performans düzeyi için yapılacak performans değerlendirilmesinde kullanılmak üzere, enine ve boyuna donatı oranlarına göre değişen, kullanılan kesitin hacmine göre farklılık gösteren birim şekildeğiştirme sınırları hesaplanacaktır. TBDY 2018 Bölüm 5.8'de şekildeğiştirme sınırları ve iç kuvvet sınırları tanımlanmıştır.

Göçmenin önlenmesi performans düzeyinde yayılı plastik davranış modeli için dikdörtgen kesitli kolon, kiriş ve perdelerde beton birim kısalması sınır değeri ($\varepsilon_c^{(GÖ)}$) Denklem 4.3 ile verilmiştir.

$$\varepsilon_c^{(GÖ)} = 0{,}0035 + 0{,}04\sqrt{\omega_{we}} \leq 0{,}0018 \tag{4.3}$$

Denklem 4.3'te verilen ω_{we} sembolü, etkin sargı donatısının mekanik donatı oranını ifade etmektedir ve Denklem 4.4 ile hesaplanmaktadır.

$$\omega_{we} = \alpha_{se}\, \rho_{sh,min}\, \frac{f_{ywe}}{f_{ce}} \tag{4.4}$$

Denklem 4.5'de yer alan α_{se} sargı donatısı etkinlik katsayısını, ρ_{shmin} dikdörtgen kesitte iki yatay doğrultuda hacimsel enine donatı oranının küçük olanını, f_{ywe} enine donatının ortalama (beklenen) akma dayanımını göstermektedir:

$$\alpha_{se} = \left(1-\frac{\sum a_i^2}{6b_0h_0}\right)\left(1-\frac{s}{2b_0}\right)\left(1-\frac{s}{2h_0}\right) \quad ; \quad \rho_{sh} = \frac{A_{sh}}{b_k s} \tag{4.5}$$

Denklem 4.5'te verilen A_{sh} ve ρ_{sh} sırasıyla, göz önüne alınan doğrultuda enine donatının alanını ve donatının hacimsel oranını, b_k dik doğrultudaki çekirdek boyutunu, s enine donatı aralığını, a_0 ve b_0 sargı donatısı eksenlerinden ölçülen sargılı beton boyutlarını, a_i bir etriye kolu veya çiroz tarafından mesnetlenen boyuna donatıların eksenleri arasındaki uzaklığı göstermektedir.

Göçmenin önlenmesi için donatı çeliği birim uzama sınır değeri Denklem 4.6'da verilmiştir.

$$\varepsilon_s^{(GÖ)} = 0{,}4\, \varepsilon_{su} \tag{4.6}$$

Göçmenin önlenmesi performans düzeyinde yığılı plastik davranış modelinde kullanılan eleman kesitleri için hesaplanan plastik dönme sınırları TBDY 2018 Bölüm 5.8.1.2 ile bulunacaktır (Denklem 4.7).

$$\theta_p^{(GÖ)} = \frac{2}{3}\left[\left(\varnothing_u - \varnothing_y\right) L_p \left(1 - 0{,}5\, \frac{L_p}{L_s}\right) + 4{,}5\, \varnothing_u\, d_b\right] \tag{4.7}$$

$\varnothing_u$ beton ve donatıya gelen eksenel kuvvetin dikkate alınmasıyla gerçekleştirilen, analizle elde edilen göçme öncesi toplam kesit eğriliğidir.

TBDY 2018 Bölüm 5.8.1.3'de belirtilen kontrollü hasar performans düzeyine yukarıda anlatılan göçmenin önlenmesi birim şekil değiştirmeleri ve plastik sınırları kullanılarak geçilir (Denklem 4.8, 4.9 ve 4.10).

$$\varepsilon_c^{(KH)} = 0{,}75\ \varepsilon_c^{(GÖ)} \tag{4.8}$$

$$\varepsilon_s^{(KH)} = 0{,}75\ \varepsilon_s^{(GÖ)} \tag{4.9}$$

$$\theta_p^{(KH)} = 0{,}75\ \theta_p^{(GÖ)} \tag{4.10}$$

4.2. Deprem Etkisi Altında Yüksek Bina Tasarımı İçin Özel Kurallar

Bu bölümde, TBDY 2018 Bölüm 13 referans alınarak yüksek yapı tasarımının temel esasları özetlenmiştir.

Yapıların yüksek bina kriterine uygun olup olmadığı deprem tasarım sınıfı ve bina yüksekliğine bağlıdır. Bu sınıfa uygun olan yapılarda BYS=1'dir. Tez kapsamında yüksek bina tasarım sınıfına giren yapı özelliği için kural aşağıda belirtilmiştir.

- DTS= 1, 1a, 2, 2a için yüksekliği H_N > 70m olan binalar

Yüksek bina tasarımında, süneklik düzeyi yüksek taşıyıcı sistem kullanılmalıdır. Taşıyıcı betonarme perdelerin minimum kalınlığı 30 cm olmalıdır ve yatay yük taşıyıcı sistem elemanlarında sadece B420C veya B500C kalitesinde donatı kullanılmalıdır.

4.2.1. Yüksek yapılarda performans hedefleri ve tasarım aşamaları

Yüksek binaların performans hedefleri ve tasarım aşamaları TBDY 2018 Bölüm 13.2'de tanımlanmıştır. Yüksek bina tasarımı üç aşamada gerçekleşmektedir.

4.2.1.1. Tasarım aşaması I

DD2 deprem yer hareketi altında ön tasarım yapılır. Doğrusal olmayan tasarım aşamasında kontrollü hasar performans hedefinin sağlanması gerekmektedir. Yapı ön tasarımı, dayanıma göre tasarım yaklaşımıyla yapılacaktır.

- I. Aşama deprem hesabında R ve D katsayısı kullanılacaktır.
- Üç boyutlu doğrusal hesap mod birleştirme yöntemi veya zaman tanım alanında mod toplama yöntemi ile yapılacaktır.

Azaltılmış iç kuvvetlerin eşdeğer taban kesme kuvvetine göre büyütülmesi işlemi yüksek binaların I. aşama deprem hesabında Denklem 4.11'de tanımlanan minimum taban kesme kuvveti esas alınarak yapılacaktır.

$$V_{t,min} = 0{,}04\ \alpha_H\ m_t\ S_{DS}\ g \tag{4.11}$$

Burada m_t binanın yer aldığı üst bölümün toplam kütlesi, S_{DS} DD2 deprem yer hareketi düzeyi için tanımlanan kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısını, g yerçekimi ivmesini, α_H verilen yükseklik tanımıdır. Bu tanım Denklem 4.12'de verilmiştir.

$$\alpha_H = 1{,}0 \quad H_N \leq 105\ m$$

$$\alpha_H = 2{,}05 - 0{,}01\ H_N \quad 105\ m \leq H_N \leq 155\ m \tag{4.12}$$

$$\alpha_H = 0{,}5 \quad 155\ m \leq H_N$$

4.2.1.2. Tasarım aşaması II

II. aşamada yapılacak yapılar için belirlenen normal performans hedefleri DD4 depremi etkisi altında kesintisiz kullanım hedefi, DD3 depremi altında sınırlı hasar performans hedefini sağlanmalıdır. (TBDY 2018 Bölüm 13.5). Tez çalışması kapsamında bu aşama yapılarda uygulanmamıştır.

- II. aşamada normal performans hedefi için doğrusal hesaba dayalı yaklaşımın uygulanması durumunda TBDY 2018 Bölüm 4.5'te verilen bilgiler, ileri performans hedefi için doğrusal olmayan hesaba dayalı tasarımın uygulanması durumunda TBDY 2018 Bölüm 5.4'te verilen bilgiler uygulanmıştır.
- İç kuvvet kapasitelerinin hesabında karakteristik malzeme dayanımları yerine beklenen malzeme dayanımı değerleri kullanılacaktır.
- Sönüm oranı %2,5 alınacaktır.
- Ek dış merkezlik hesaplara dahil edilmeyecektir.
- Deprem hesabının normal performans hedefi için modal hesap yöntemleri ile yapılması durumunda iç kuvvetlerin hesabında R/I=1 ve D=1 alınacaktır. Ayrıca minimum taban kesme kuvveti koşulu uygulanmayacaktır.

- İleri performans hedefi için yapılan zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesapta Rayleigh orantılı sönüm matrisi veya modal sönüm matrisi kullanılacaktır ve sönüm oranı %2,5 alınacaktır.
- Normal performans düzeyi ve ileri performans düzeyinde Tablo 4.3'te belirtilen etkin kesit rijitliği çarpanları hesaba dahil edilecektir.

Tablo 4.3. II aşama için etkin kesit rijitlik çarpanları [1]

Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanı	Etkin Kesit Rijitliği Çarpanı	
Perde-Döşeme (Düzlem İçi)	Eksenel	Kayma
Perde	0,75	1,00
Bodrum Perdesi	1,00	1,00
Döşeme	0,50	0,80
Perde-Döşeme (Düzlem Dışı)	Eğilme	Kesme
Perde	1,00	1,00
Bodrum Perdesi	1,00	1,00
Döşeme	0,50	1,00
Çubuk Eleman	Eğilme	Kesme
Bağ kirişi	0,30	1,00
Çerçeve kirişi	0,70	1,00
Çerçeve kolonu	0,90	1,00
Perde (eşdeğer çubuk)	0,80	1,00

- II. aşama deprem hesabının normal performans hedefine göre doğrusal modal hesap yöntemleri ile yapılması durumunda, bu hesaptan elde edilen iç kuvvetler değerlendirme esaslı iç kuvvetler olarak göze alınır.
- Sünek davranış sergileyen elemanlarda şekildeğiştirme talepleri, en az 11 depremden elde edilen sonuçların en büyük mutlak değerlerinin ortalaması olarak hesaplanacaktır.
- Hesaptan elde edilen kritik iç kuvvetler için yapılan hesapların her birinden elde edilen sonuçların en büyük mutlak değerlerinin ortalamasının 1,4 katı alınacaktır.
- Hesaptan elde edilen kritik olmayan iç kuvvetler için yapılan hesapların her birinden elde edilen sonuçların en büyük mutlak değerlerinin ortalaması alınacaktır.
- II. Aşama deprem hesabı normal performans hedefi için yapılan binalarda sünek davranışa sahip elemanlarda talep/kapasite oranı 1,5 değerini aşmayacaktır. Sünek davranışa sahip olmayan elemanlarda talep/kapasite oranı 0,7 değerini aşmayacaktır (TBDY 2018 Bölüm 13.5.5.1).

4.2.1.3. Tasarım aşaması III

III. aşamada yapılacak olan yüksek katlı yapıların doğrusal olmayan tasarımı ve performans hedeflerine göre değerlendirilmesi TBDY 2018 Bölüm 13.6'ya göre yapılmıştır.

- I. aşama ve II. aşamada kesintisiz kullanım veya sınırlı hasar performans hedefini sağladığı gösterilen yüksek katlı binanın, DD1 deprem etkisi altında normal performans hedefi olarak göçmenin önlenmesi veya ileri performans hedefi olarak kontrollü hasar performans seviyesini karşılaması gerekmektedir.
- III. aşamada yüksek bina taşıyıcı sisteminin zaman tanım alanında yapılan doğrusal olmayan hesabı sonucunda elde edilen şekildeğiştirme, iç kuvvet ve göreli kat ötelemesi taleplerinin TBDY 2018 Bölüm 13.6.5'te tanımlanan performans sınırlarından daha küçük olduğu gösterilmelidir.
- Sönüm oranı %2,5 alınmalıdır.
- Binada TBDY 2018 Tablo 3.6'da tanımlanan A1 türü düzensizliğin bulunması ve burulma düzensizliği katsayısının 1,5'ten büyük olması durumunda ek dış merkezlik dikkate alınacaktır.
- Sünek davranışa sahip elemanlarda şekildeğiştirme talepleri, yapılan hesapların her birinden elde edilen sonuçların en büyük mutlak değerlerinin ortalaması olarak hesaplanacaktır.
- Kritik iç kuvvetler 11 depremin her birinden elde edilen sonuçların en büyük mutlak değerlerinin ortalamalarına bir standart sapma katsayısıyla çarpılması sonucunda hesaplanacaktır. Standart sapma değerleri TBDY 2018 Bölüm 13.6.4.2'de belirtildiği gibi ortalamanın 1,5 katından fazla 1,2 katından az olamaz.
- DD1 depremi yer hareketi altında kullanılan 11 depremden elde edilen ortalama göreli kat ötelemesi oranı 0,03'ü, tek bir depremden elde edilen en büyük göreli kat ötelemesi oranı ise 0,045'i geçmemelidir.

I. aşamada belirlenen perde, kolon ve temellerin boyut ve donatıları III. aşamada azaltılmamalıdır. Bu elemanlarda azaltma yapmak istenirse kesit değişimine gidilerek üç tasarım aşaması da tekrarlanmalıdır. Kiriş veya bağ kirişi için gerekli görülürse azaltma yapılabilir. Bu durumda sadece III. aşama hesabının tekrar edilmesi yeterlidir.

5. İNCELENEN YAPILARIN DOĞRUSAL ANALİZ İLE TASARIMI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

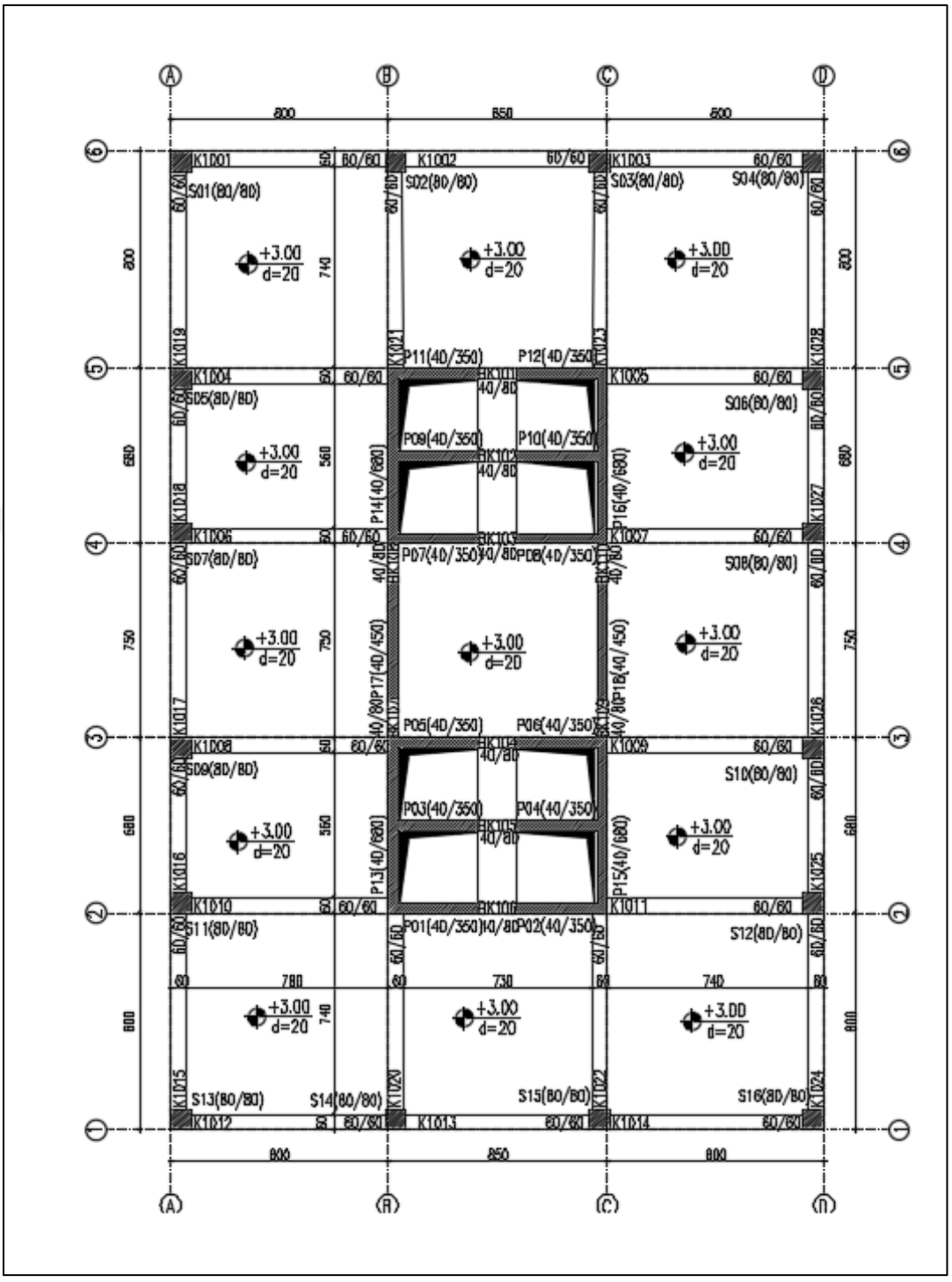
Bu bölümde 12, 18, 24 katlı betonarme bağ kirişli yapıların ve 24 katlı çelik bağ kirişli yapının TBDY 2018 referans alınarak yapılan doğrusal tasarım aşamalarına yer verilmektedir.

5.1.Yapıya Ait Genel Bilgiler

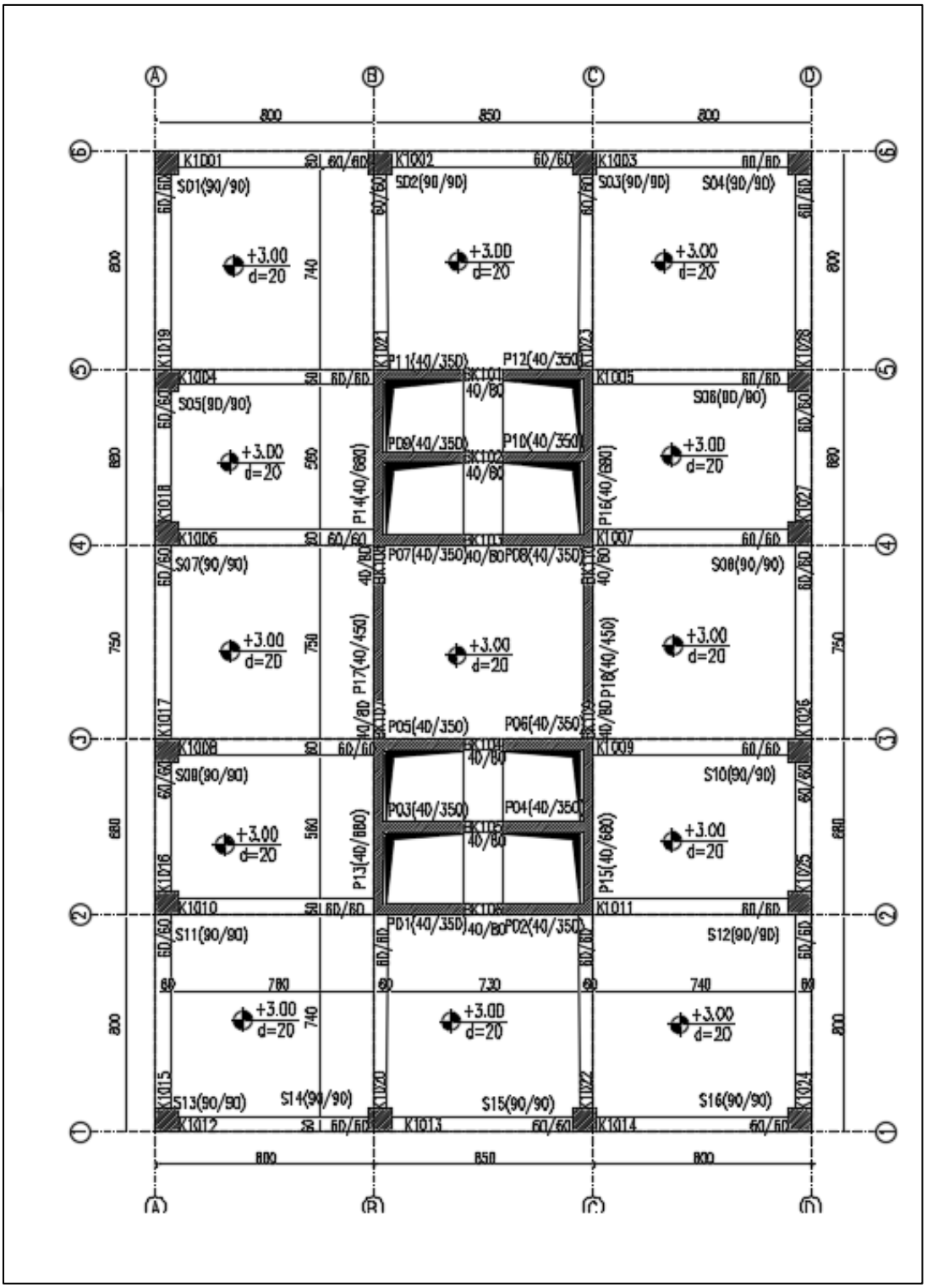
5.1.1. Yapı geometrisi ve taşıyıcı sistem bilgileri

İncelenen binalar 12, 18, 24 katlı binalar olup toplam yapı yükseklikleri sırasıyla 36 metre, 54 metre, 72 metredir. Binaların plan boyutları aynıdır. X doğrultusundaki uzunluk 24,5 m, y doğrultusundaki uzunluk ise 37,1 m'dir. Ayrıca yapıların yatayda x ve y doğrultuları simetrik seçilmiştir. Binaların kullanım amacı ofis/konuttur.

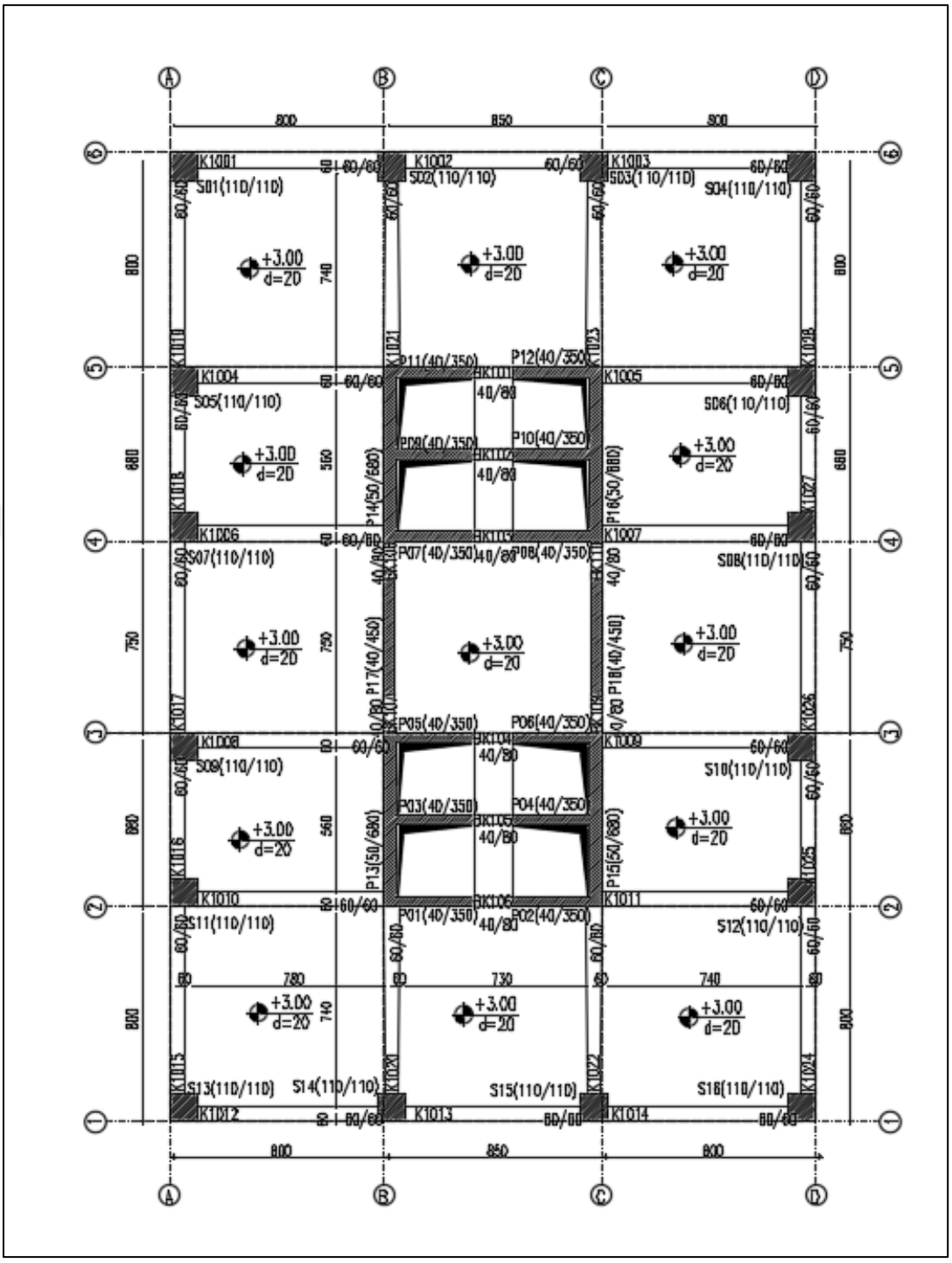
Yapılardaki yatay yük taşıyıcı sistem perde ve çerçeve elemanlardan oluşmaktadır. Yapı sistemi kirişli plak sistem seçilmiştir. Yapıda deprem yüklerini perdeler arasında aktarabilecek elemanlar olarak, rijit betonarme veya çelik bağ kirişler tercih edilmiştir. Bütün yapılarda perdeler bağ kirişlerle birbirine bağlanmaktadır. 12, 18, 24 katlı yapılarda çerçeve kirişlerin boyutları değişmezken, kolon kesitlerinde değişimler mevcuttur. Döşeme kalınlıkları ve betonarme bağ kirişlerin kesitleri incelenen binalarda aynıdır. X doğrultusundaki perde kesitleri 3 binada aynı seçilirken, y doğrultusunda seçilen perdelerde 24 katlı binalarda kesit değişimi söz konusudur. Yapı kalıp planları Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te gösterilmektedir. Bina taşıyıcı sistem bilgileri Tablo 5.1'de sunulmuştur.



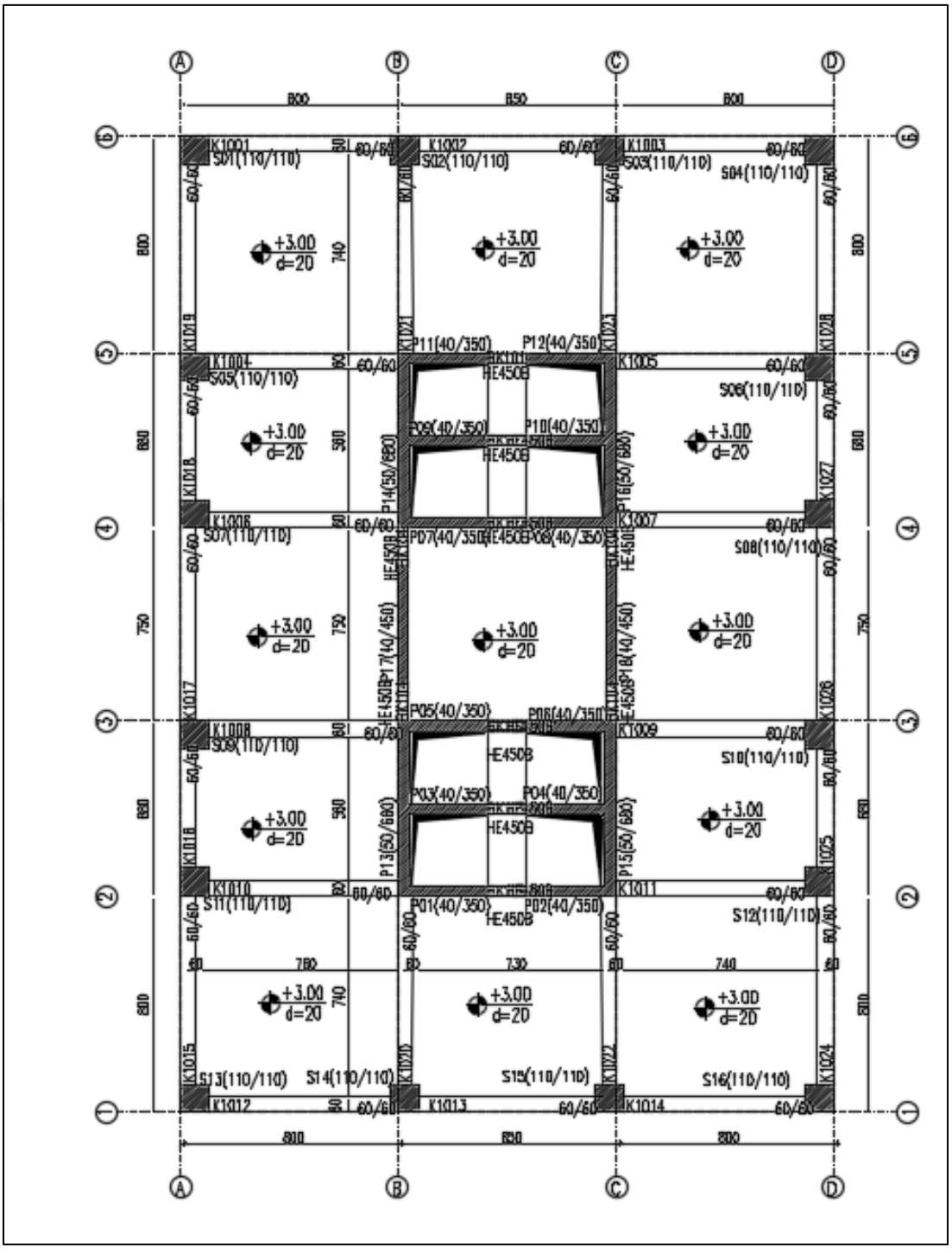
Şekil 5.1. 12 katlı binanın kalıp planı



Şekil 5.2. 18 katlı binanın kalıp planı



Şekil 5.3. 24 katlı betonarme bağ kirişli binanın kalıp planı



Şekil 5.4. 24 katlı çelik bağ kirişli binanın kalıp planı

Tablo 5.1. 12, 18, 24 katlı binaların taşıyıcı sistem boyutları

Yapı Katları	Kolon Boyut (cmxcm)	Çerçeve Kiriş Boyut (cmxcm)	Perde Kalınlığı (cm)	Bağ Kiriş Boyut (cmxcm)	Döşeme Kalınlığı (cm)
BBK12*	80x80	60x60	40 cm	40x80	20 cm
BBK18*	90x90	60x60	40 cm	40x80	20 cm
BBK24*	110x110	60x60	40 - 50 cm	40x80	20 cm
ÇBK24*	110x110	60x60	40 - 50 cm	HE450B	20 cm

*B.B.K. terimi betonarme bağ kirişli yapı, Ç.B.K. terimi çelik bağ kirişli yapı için kullanılmıştır.

5.1.2. Yapı tasarımında kullanılan deprem parametreleri

Binaların tasarlanacağı yer Kadıköy/İstanbul olarak tercih edilmiştir. Yapının yapılacağı bölgeye ait deprem parametreleri ve zemin koşulları "https://testtdth.afad.gov.tr/" sitesinden alınmıştır. Binalar doğrusal tasarım aşamasında DD2 deprem yer hareketi, doğrusal olmayan tasarım aşamasında DD1 deprem yer hareketi altında tasarlanmıştır. DD2 depremine ait spektral ivme katsayıları Şekil 5.5.'te sunulmaktadır. Yapının bulunduğu bölgenin yerel zemin sınıfı ZB kabul edilmiştir.



Şekil 5.5. Binalarda kullanılan deprem parametreleri

5.1.3. Yapı tasarımında kullanılan yükler

Yapısal elemanların kendi ağırlıkları, ETABS programı tarafından otomatik olarak hesaplanıp yapısal sisteme yüklenmektedir. İlave ağırlıklar hesaplanarak sisteme etkitilmiştir. Bölme duvar yükü döşemelerin her yerinde 1,00 kN/m^2 olarak alınmıştır. Hareketli yükler TS 498 Çizelge 7'den alınmıştır.

Betonun Öz Ağırlığı = 25 kN/m^3

Çeliğin Öz Ağırlığı = 78,5 kN/m^3

Şap + Sıva + Kaplama (10 cm) = 0,1 m x 20 kN/m^3 = 2,00 kN/m^2

Duvar Yükleri = 1,00 kN/m^2

Kat döşemelerinde = 2,00 kN/m^2

Merdiven ve koridorda = 5,00 kN/m^2

Hareketli Yük Katılım Katsayıları = Tüm Katlarda n=0,3

5.1.4. Yapı tasarımında kullanılan malzeme özellikleri

Tüm binalarda ve binaların yapı elemanlarında beton sınıfı aynı seçilerek C35 beton sınıfı kullanılmıştır. Donatı çeliği sınıfı S420'dir. Çelik bağ kirişleri için kullanılan yapısal çelik sınıfı S275'tir. Doğrusal olmayan tasarımda yapı malzemelerinde beklenen malzeme dayanımı kullanılmıştır. Tablo 4.2'de karakteristik tanımlar verilmiştir.

Beton Sınıfı	: C35	f_{ck} = 35000 kN/m^2
Elastisite Modülü	: C35	E = 33000 N/mm^2
Kayma Modülü	: C35	G = 13200 N/mm^2
Donatı Sınıfı	: B420C	f_{yk} = 420000 kN/m^2
Elastisite Modülü	: B420C	E = 200000 N/mm^2
Beton Birim Hacim Ağırlığı	:	γ_{beton}= 25 kN/m^3
Poisson Oranı	:	ν = 0,2

Donatı çeliği karakteristik akma dayanımı: f_{yk}=420000 kN/m^2

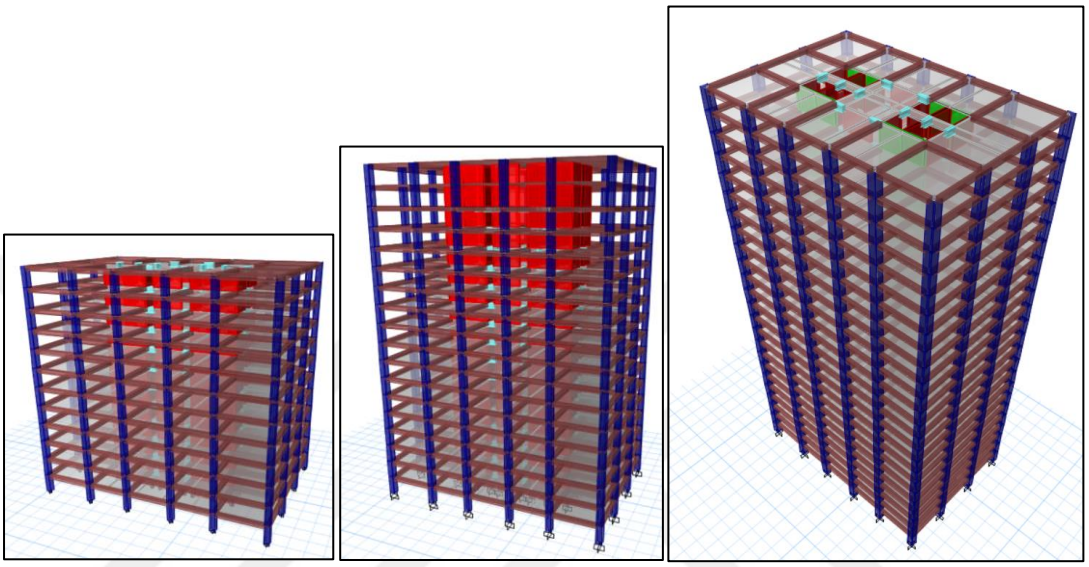
Yapı çeliği karakteristik akma dayanımı: f_{yk}=275000 kN/m^2

5.2. Doğrusal Tasarımda Sayısal İncelemeler

Bu kısımda binaların TBDY 2018 yönetmeliğine göre doğrusal tasarımları anlatılmaktadır. Doğrusal analizler ETABS V16.2.0 programı ile yapılmıştır.

5.2.1. Yapı model görünüşleri

Binaların ETABS programındaki üç boyutlu modellerinde kolon, kiriş ve bağ kirişler çubuk eleman, perdeler kabuk eleman, döşemeler membran elaman olarak modellenerek modeller idealize edilmiştir. ETABS modelleri Şekil 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.6. 12, 18, 24 katlı binaların ETABS programında 3D görünüşleri

5.2.2. Deprem yer hareketi spektrumunun belirlenmesi

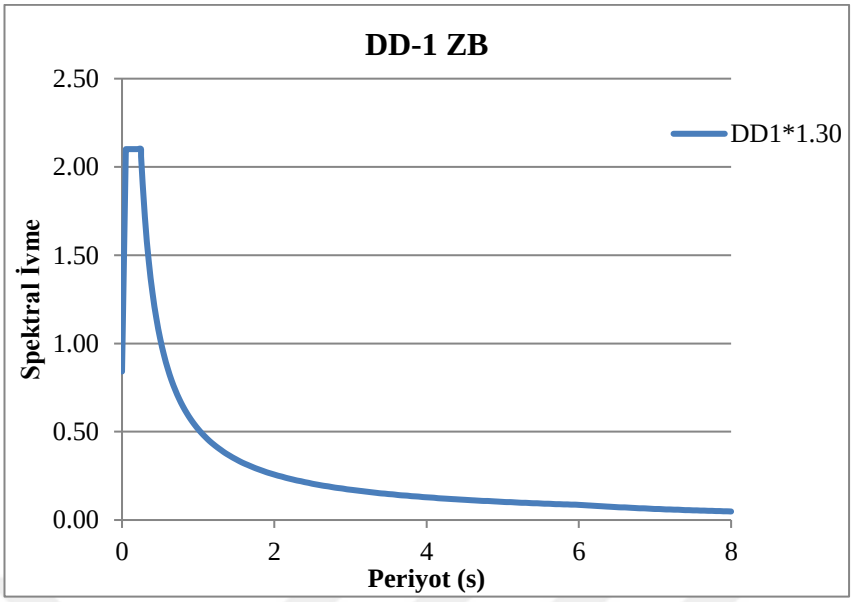
Yatay deprem spektrumları DD2 deprem yer hareketi düzeyi için hesaplanmaktadır. Deprem tehlike haritalarının yer aldığı tdth.afad.gov.tr de binaların yapılacağı alanın deprem parametreleri Şekil 5.5'te verilmiştir. Bu verilerle oluşturulan deprem spektrumu Şekil 5.7'de verilmektedir.

$S_{DS} = 1{,}028 \times 0{,}9 = 0{,}925$

$S_{D1} = 0{,}278 \times 0{,}8 = 0{,}222$

$T_A = 0{,}2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0{,}2 \frac{0{,}222}{0{,}925} = 0{,}048$ s

$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0{,}222}{0{,}925} = 0{,}24$ s



Şekil 5.7. DD2 deprem düzeyi için tasarım spektrumu

5.2.3. Bina kullanım sınıfı, bina önem katsayısı, deprem tasarım sınıfı ve bina yükseklik sınıfının belirlenmesi

Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayısı Tablo 3.4'te verilen bilgilere göre seçilmiştir. Tasarımı yapılan 4 binanın BKS değeri 3'tür. Bu binaların bina önem katsayıları (I)=1,0'dır.

Deprem tasarım sınıfı Bölüm 5.1.2'de hesaplanan değerlerin, Tablo 3.3'de verilen sınır değerlere göre karşılaştırılmasıyla seçilmiştir. Tüm binalar için deprem tasarım sınıfı 1'dir.

Bina yükseklik sınıfı Tablo 3.4'de verilen S_{DS} değerine göre belirlenmiştir. 12 katlı yapı için BYS=4, 18 katlı yapı için BYS=3 ve 24 katlı yapı için BYS=1'dir. İncelenen binaların sınıfları Tablo 5.2'de özetlenmiştir.

Tablo 5.2. 12, 18, 24 katlı binaların deprem ve yapı parametreleri

Yapı Katları	Bina Kullanım Sınıf (BKS)	Bina Önem Katsayısı (I)	Deprem Tasarım Sınıfı (DTS)	Bina Yükseklik Sınıfı (BYS)
BBK12*	3	1	1	4
BBK18*	3	1	1	3
BBK24*	3	1	1	1
ÇBK24*	3	1	1	1

* B.B.K. terimi betonarme bağ kirişli yapı, Ç.B.K. terimi çelik bağ kiriş için kullanılmıştır.

5.2.4. Bina performans hedefinin seçilmesi

Bina performans hedefi, deprem tasarım sınıfı ve deprem yer hareketi düzeyine göre farklılık göstermektedir. 24 katlı yapı için seçilen performans hedefi Tablo 4.1'de belirtildiği gibi ileri performans hedefi altında DD1 deprem yer düzeyi etkisinde şekildeğiştirmeye bağlı tasarımdır. Bu tez kapsamında doğrusal olmayan tasarım aşamasında 12 ve 18 katlı yapılarda da ileri performans hedefi altında şekildeğiştirmeye bağlı tasarım yapılarak analizler karşılaştırılmıştır. Doğrusal tasarım aşamasında kontrollü hasar performans düzeyine göre tasarım yapılmamıştır.

5.2.5. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı ve dayanım fazlalığı katsayısı

Yerinde dökme betonarme taşıyıcı binalar için taşıyıcı davranış katsayısı ve dayanım fazlalığı katsayısı Tablo 3.5'de verilmiştir. Bu tablo çerçevesinde deprem etkilerinin büyük bir kısmının süneklik düzeyi yüksek bağ kirişli betonarme perdelerle karşılandığı binalarda taşıyıcı sistem davranış katsayısı R=7 ve dayanım fazlalığı katsayısı D=2,5 olarak seçilmiştir. Binalarda süneklik düzeyi yüksek taşıyıcı sistem kullanılmıştır. Binanın bağ kirişli yapı olarak seçilebilmesi için bağ kirişli perdelere gelen taban devrilme momentinin tüm yapıya gelen taban devrilme momentine oranı 0,40'dan küçük 0,75'den büyük olmamalıdır. Üst sınırın aşılması durumda ise Tablo 3.5'te verilen deprem etkilerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek perdelerle karşılandığı durumlar için tanımlanan R ve D katsayıları ile izin verilen en üst BYS dikkate alınacaktır. 12, 18, 24 katlı yapılarda perdelere gelen devrilme moment oranı hesaplanmıştır.

12 katlı yapıda x doğrultusunda:

Perdelerin tabanında oluşan devrilme momenti =103000 kNm

Yapının tabanında oluşan devrilme momenti = 120000 kNm'dir.

ΣM_{DEV} = 103000 / 120000 = % 86'dır. Ancak % 75 < % 86 olduğundan BYS

4'den 2'ye çekilmiştir.

12 katlı yapıda y doğrultusunda:

Perdelerin tabanında oluşan devrilme momenti = 140000 kNm

Yapının tabanında oluşan devrilme momenti = 166000 kNm'dir.

ΣM_{DEV} = 140000 / 166000 = % 85'dır. Ancak % 75 < % 85 olduğundan BYS 4'den 2'ye çekilmiştir.

18 katlı yapıda x doğrultusunda:

Perdelerin tabanında oluşan devrilme momenti = 118000 kNm

Yapının tabanında oluşan devrilme momenti = 147000 kNm'dir.

ΣM_{DEV} = 118000 / 147000 = % 80'dır. Ancak % 75 < % 80 olduğundan BYS 3'den 2'ye çekilmiştir.

18 katlı yapıda y doğrultusunda:

Perdelerin tabanında oluşan devrilme momenti = 187000 kNm

Yapının tabanında oluşan devrilme momenti = 210000 kNm'dir.

ΣM_{DEV} = 178000 / 210000 = % 89'dır. Ancak % 75 < % 89 olduğundan BYS 3'den 2'ye çekilmiştir.

24 katlı yapıda x doğrultusunda:

Perdelerin tabanında oluşan devrilme momenti = 130600 kNm

Yapının tabanında oluşan devrilme momenti = 178000 kNm'dir.

ΣM_{DEV} = 130600 / 210000 = % 75 < % 76 olduğundan olduğundan BYS 1'dir.

24 katlı yapıda y doğrultusunda:

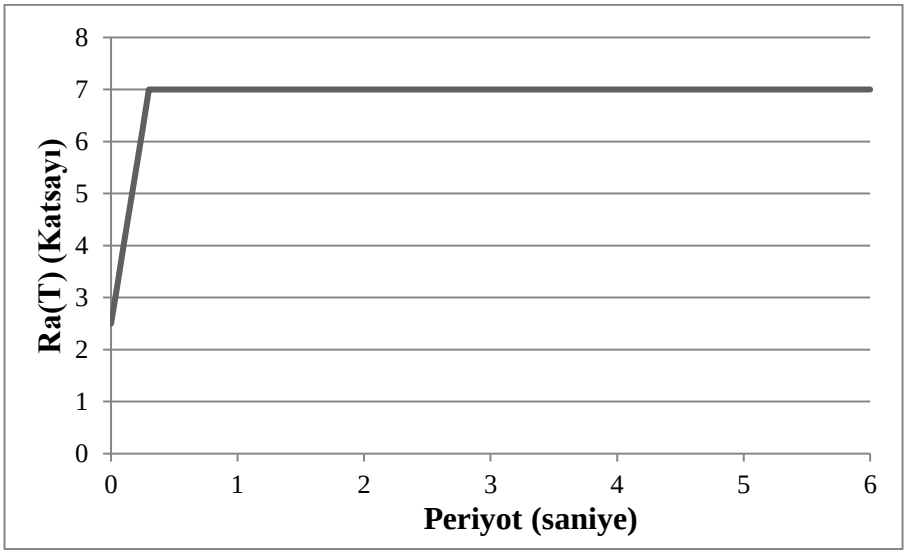
Perdelerin tabanında oluşan devrilme momenti = 210000 kNm

Yapının tabanında oluşan devrilme momenti = 250000 kNm'dir.

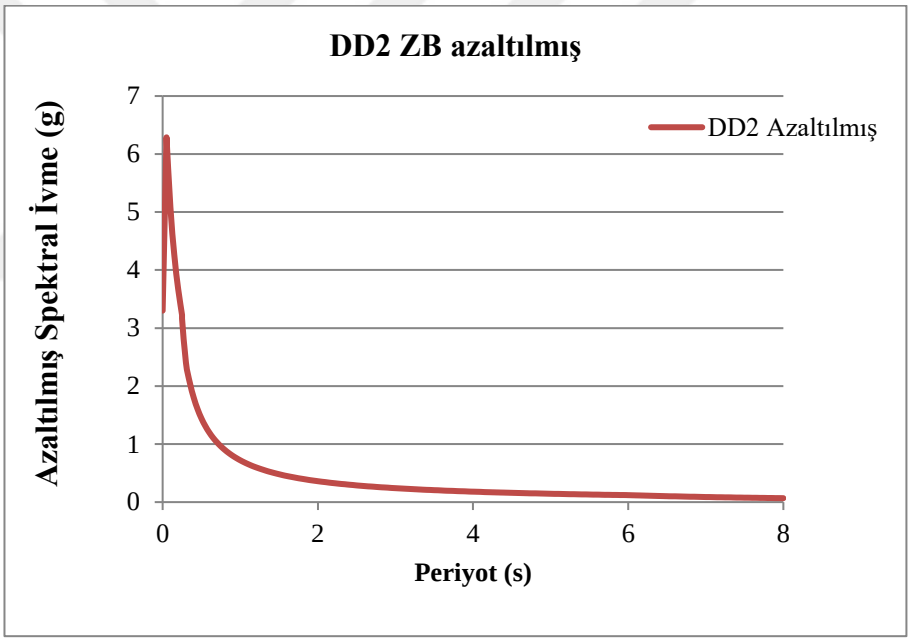
ΣM_{DEV} = 210000 / 250000 = % 84'dür. Ancak % 75 < % 84 olduğundan BYS 1'dir.

5.2.6. Deprem yükü azaltma katsayısının seçimi

Deprem yükü azaltma katsayısı; taşıyıcı sistem davranış katsayısı, bina önem katsayısı, dayanım fazlalığı katsayısı ve periyoda bağlı olarak Denklem 3.1 ve Denklem 3.2 yardımıyla hesaplanmıştır (Şekil 5.8). Daha sonra tasarım spektrumu, deprem yükü azaltma katsayısına bölünerek ve yerçekimi ivme "g" ile çarpılarak azaltılmış tasarım ivme spektrumu ($S_{aR}(T)$) elde edilmiştir (Şekil 5.9).



Şekil 5.8. Deprem yükü azaltma katsayısı



Şekil 5.9. DD2 - ZB azaltılmış ivme tasarım spektrumu

5.2.7. Binalarda düzensizlik kontrolleri

Bu kısımda 12, 18, 24 katlı binaların düzensizlik kontrolleri ve göreli öteleme kontrolleri yapılmıştır. 24 katlı betonarme bağ kirişli betonarme yapıyla çelik bağ kirişli betonarme yapı arasında düzensizlikle alakalı değişim mevcut olmadığından yalnız mevcut tasarımı yapılan betonarme bağ kirişli yapının düzensizlik kontrolleri gösterilmiştir. Yapı simetrik olduğundan kontroller her iki doğrultu içinde yapılıp, sonuçlar uzun doğrultu olan y doğrultusu için gösterilmiştir.

5.2.7.1. Göreli kat öteleme kontrolleri

İncelenen binalardaki göreli kat ötelenmeleri Denklem 3.6, 3.7, 3.8 kullanılarak kontrol edilmiştir. Hesaplanan göreli kat ötelemeleri yapıda gevrek dolgu duvarlar kullanıldığında Denklem 3.7'ye göre kontrol edilecektir. Binaların göreli kat öteleme kontrolleri Tablo 5.3, Tablo 5.4 ve Tablo 5.5'te verilmektedir. Sonuçlar uzun doğrultu olan y doğrultusunda verilmiştir. Her iki doğrultu için $\lambda_{x,y}$=0,4 alınmıştır.

Tablo 5.3. 12 katlı binanın göreli kat öteleme kontrolü

Yükseklik (m)	**Kat Yüksekliği (m)-$h_{i(y)}$**	**Kat Ötelenmeleri $\delta^{(y)}_{imax}$**	**Ötelenmeler $\delta^{(y)}_{imax}\,\lambda_i / h_i$**	**Kontrol <0,008**
36	3	0,000278	0,000119	✔
33	3	0,000294	0,000126	✔
30	3	0,000306	0,000131	✔
27	3	0,000315	0,000135	✔
24	3	0,000320	0,000137	✔
21	3	**0,000320**	**0,000137**	✔
18	3	0,000315	0,000135	✔
15	3	0,000303	0,000130	✔
12	3	0,000272	0,000117	✔
9	3	0,000234	0,000100	✔
6	3	0,000184	0,000079	✔
3	3	0,000097	0,000042	✔

Tablo 5.4. 18 katlı binanın göreli öteleme kontrolü

Yükseklik (m)	**Kat Yüksekliği (m)-$h_{i(y)}$**	**Kat Ötelenmeleri $\delta^{(y)}_{imax}$**	**Ötelenmeler $\delta^{(y)}_{imax}\,\lambda_i / h_i$**	**Kontrol <0,008**
54	3	0,0002990	0,0000513	✔
51	3	0,0003110	0,0000533	✔
48	3	0,0003210	0,0000550	✔
45	3	0,0003290	0,0000564	✔
42	3	0,0003360	0,0000576	✔
39	3	0,0003420	0,0000586	✔
36	3	0,0003410	0,0000585	✔
33	3	**0,0003420**	**0,0000586**	✔
30	3	0,0003410	0,0000585	✔
27	3	0,0003380	0,0000579	✔
24	3	0,0003320	0,0000569	✔
21	3	0,0003240	0,0000555	✔
18	3	0,0003100	0,0000531	✔
15	3	0,0002900	0,0000497	✔
12	3	0,0002630	0,0000451	✔
9	3	0,0002240	0,0000384	✔
6	3	0,0001730	0,0000297	✔
3	3	0,0000900	0,0000154	✔

Tablo 5.5. 24 katlı binanın göreli öteleme kontrolü

Yükseklik (m)	**Kat Yüksekliği (m)-$h_{i(y)}$**	**Kat Ötelenmeleri $\delta^{(y)}_{imax}$**	**Ötelenmeler $\delta^{(y)}_{imax}\ \lambda_i / h_i$**	**Kontrol <0,008**
72	3	0,00400	0,00428	✔
69	3	0,00300	0,00359	✔
66	3	0,00309	0,00371	✔
63	3	0,00318	0,00382	✔
60	3	0,00326	0,00391	✔
57	3	0,00332	0,00399	✔
54	3	0,00338	0,00406	✔
51	3	0,00342	0,00411	✔
48	3	0,00346	0,00415	✔
45	3	0,00348	0,00418	✔
42	3	0,00349	0,00419	✔
39	3	**0,00349**	**0,00419**	✔
36	3	0,00348	0,00417	✔
33	3	0,00345	0,00414	✔
30	3	0,00341	0,00409	✔
27	3	0,00333	0,00400	✔
24	3	0,00324	0,00389	✔
21	3	0,00311	0,00373	✔
18	3	0,00294	0,00353	✔
15	3	0,00271	0,00325	✔
12	3	0,00241	0,00289	✔
9	3	0,00201	0,00241	✔
6	3	0,00149	0,00179	✔
3	3	0,000736	0,000883	✔

5.2.7.2. A1 burulma düzensizliği ve B2 komşu katlar arası rijitlik düzensizliği kontrolü

Şekil 3.1'de belirtildiği gibi burulma düzensizliği iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük göreli kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama göreli ötelemeye oranını ifade eder. Burulma düzensizliği 1,2'den küçük olmalıdır.

B2 düzensizliği birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, bodrum katlar dışında herhangi 1. kattaki ortalama göreli kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama göreli kat ötelemesi oranına bölünmesi ile tanımlanan rijitlik düzensizliği katsayısı η_{ki}'nin 2,0'den fazla olması durumudur. A2 ve B2 düzensizlik kontrolleri Tablo 5.6, Tablo 5.7 ve Tablo 5.8'de verilmiştir.

Tablo 5.6. 12 katlı binanın A2 ve B2 düzensizlik kontrolleri

Yükseklik (m)	**h_i**	**$\Delta_{iy,MAX}$**	**$\Delta_{iy,MİN}$**	**$\Delta_{iy,ORT}$**	**kontrol <=1, 2**	**$\eta_{ki,y}$** $(\Delta_i/h_i)_{ort}/(\Delta_i\pm1/h_i\pm1)_{ort}$			**kontrol <=2**
36	3	0,00011	0,00011	0,00011	1,002506	0,000266		0,905	0,905
33	3	0,00013	0,00013	0,00013	0,995885	0,000284	1,105	0,913	1,105
30	3	0,00014	0,00014	0,00014	0,997183	0,000296	1,095	0,945	1,095
27	3	0,00015	0,00015	0,00015	0,998367	0,000306	1,058	0,948	1,058
24	3	0,00015	0,00015	0,00015	1,001063	0,000314	1,055	0,962	1,055
21	3	0,00016	0,00016	0,00016	1,001572	0,000318	1,039	0,976	1,039
18	3	0,00016	0,00016	0,00016	1,003659	0,000319	1,025	0,994	1,025
15	3	0,00017	0,00017	0,00017	1,004374	0,000419	1,006	1,031	1,031
12	3	0,00016	0,00016	0,00016	1,007545	0,000287	0,970	1,088	1,088
9	3	0,00015	0,00015	0,00015	1,007185	0,000255	0,919	1,289	1,289
6	3	0,00011	0,00011	0,00011	0,996003	0,000209	0,776	1,652	**1,652**
3	3	0,00007	0,00007	0,00007	**1,012517**	0,00012	0,605	1,486	1,486

Tablo 5.7. 18 katlı binanın A2 ve B2 düzensizlik kontrolleri

Yükseklik (m)	**h_i**	**$\Delta_{iy,MAX}$**	**$\Delta_{iy,MİN}$**	**$\Delta_{iy,ORT}$**	**kontrol <=1, 2**	**$\eta_{ki,y}$** $(\Delta i/hi)_{ort}/(\Delta i+-1/hi+-1)_{ort}$			**kontrol <=2**
54	3	0,00080	0,00080	0,00080	0,9987	0,00027		0,948	0,948
51	3	0,00085	0,00084	0,00084	1,0030	0,00028	1,054	0,970	1,054
48	3	0,00087	0,00087	0,00087	0,9983	0,00029	1,031	0,977	1,031
45	3	0,00089	0,00089	0,00089	0,9983	0,00030	1,023	0,976	1,023
42	3	0,00091	0,00091	0,00091	1,0005	0,00030	1,025	0,970	1,025
39	3	0,00094	0,00094	0,00094	0,9989	0,00031	1,031	0,997	1,031
36	3	0,00094	0,00094	0,00094	1,0016	0,00031	1,003	0,989	1,003
33	3	0,00095	0,00095	0,00095	1,0021	0,00032	1,011	0,984	1,011
30	3	0,00096	0,00097	0,00097	0,9969	0,00032	1,016	1,005	1,016
27	3	0,00097	0,00096	0,00096	1,0026	0,00032	0,995	1,003	1,003
24	3	0,00096	0,00096	0,00096	0,9995	0,00032	0,997	1,020	1,020
21	3	0,00094	0,00094	0,00094	1,0011	0,00031	0,981	1,486	1,486
18	3	0,00091	0,00091	0,00091	1,0000	0,00030	0,967	1,059	1,059
15	3	0,00086	0,00086	0,00086	0,9988	0,00029	0,944	1,102	1,102
12	3	0,00078	0,00078	0,00078	0,9994	0,00026	0,907	1,165	1,165
9	3	0,00067	0,00067	0,00067	0,9985	0,00022	0,858	1,310	1,310
6	3	0,00051	0,00051	0,00051	1,0010	0,00017	0,763	1,887	**1,887**
3	3	0,00027	0,00027	0,00027	**1,0018**	0,00009	0,530	1,127	1,127

Tablo 5.8. 24 katlı binanın A2 ve B2 düzensizlik kontrolleri

Yükseklik (m)	h_i	$\Delta_{iy,MAX}$	$\Delta_{iy,MİN}$	$\Delta_{iy,ORT}$	kontrol <=1, 2	$\eta_{ki,y}$ $(\Delta i/hi)_{ort}/(\Delta i+-1/hi+-1)_{ort}$			kontrol <=2
72	3	0,00125	0,00125	0,00125	1,0000	0,00042		0,977	0,977
69	3	0,00128	0,00128	0,00128	1,0000	0,00043	1,024	0,977	1,024
66	3	0,00131	0,00131	0,00131	1,0004	0,00044	1,024	0,973	1,024
63	3	0,00134	0,00135	0,00135	0,9974	0,00045	1,027	0,981	1,027
60	3	0,00138	0,00137	0,00137	1,0022	0,00046	1,020	0,974	1,020
57	3	0,00141	0,00141	0,00141	0,9993	0,00047	1,026	0,979	1,026
54	3	0,00144	0,00144	0,00144	0,9993	0,00048	1,021	0,980	1,021
51	3	0,00147	0,00147	0,00147	0,9990	0,00049	1,021	0,985	1,021
48	3	0,00149	0,00149	0,00149	1,0003	0,00050	1,015	0,986	1,015
45	3	0,00151	0,00151	0,00151	1,0007	0,00050	1,014	0,988	1,014
42	3	0,00153	0,00153	0,00153	0,9997	0,00051	1,012	0,993	1,012
39	3	0,00154	0,00154	0,00154	1,0006	0,00051	1,008	1,486	1,486
36	3	0,00155	0,00155	0,00155	0,9994	0,00052	1,005	1,000	1,000
33	3	0,00155	0,00155	0,00155	0,9990	0,00052	1,000	1,010	1,010
30	3	0,00154	0,00153	0,00153	1,0023	0,00051	0,990	1,010	1,010
27	3	0,00152	0,00152	0,00152	0,9987	0,00051	0,990	1,025	1,025
24	3	0,00148	0,00148	0,00148	1,0007	0,00049	0,976	1,036	1,036
21	3	0,00143	0,00143	0,00143	1,0000	0,00048	0,966	1,053	1,053
18	3	0,00136	0,00136	0,00136	0,9989	0,00045	0,950	1,085	1,085
15	3	0,00126	0,00125	0,00125	1,0020	0,00042	0,922	1,119	1,119
12	3	0,00112	0,00112	0,00112	0,9996	0,00037	0,894	1,193	1,193
9	3	0,00094	0,00094	0,00094	0,9984	0,00031	0,838	1,355	1,355
6	3	0,00070	0,00069	0,00069	**1,0036**	0,00023	0,738	1,990	**1,990**
3	3	0,00035	0,00035	0,00035	0,9943	0,00012	0,503	0,000	0,503

5.2.7.3. A2 döşeme süreksizliği ve A3 planda çıkıntı bulunması durumu kontrolü

Döşeme süreksizliği, herhangi bir kattaki döşemede merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanlarının toplamının kat brüt alanının 1/3'ünden fazla olması durumudur. Ayrıca yerel döşeme boşlukları ve döşemelerde ani rijitliklerin azaldığı durumlarda bu düzensizlik kapsamında değerlendirilmiştir.

Toplam yapı alanı = 909 m^2

Toplam boşluk alanı = 69,5 m^2

$$\frac{\text{Boşluk Alanı}}{\text{Tüm Yapı Alanı}} = \frac{69,5}{909} = 0,077 < \frac{1}{3}$$

Binalarda herhangi bir döşeme süreksizliği bulunmamaktadır. Bina planlarında herhangi bir çıkıntı olmadığından A3 düzensizlik durumu mevcut değildir.

5.2.7.4. B1 zayıf kat ve B3 taşıyıcı sistem düşey eleman süreksizliği kontrolü

Binalarda bulunan kolonlarda herhangi bir azalma durumu mevcut değildir. B1 düzensizliğinde kesme alanı tanımında yer alan dolgu duvarlar tüm yapıda aynı aks hizasında ve kirişler üzerinde bulunmaktadır. Binalarda katlar arası dayanım düzensizliği bulunmamaktadır.

Binalarda bulunan düşey taşıyıcı elemanlarda kesit bazlı değişim bulunmamaktadır. Yapılarda B3 düzensizliği bulunmamaktadır.

5.2.7.5. İkinci mertebe etkisi kontrolü

İkinci mertebe etkisi kontrolü Denklem 3.9 ve 3.10'da verilen kullanılarak yapılacaktır. Yapı iki doğrultuda da simetrik olduğundan uzun ve etkili doğrultu olan y doğrultusundaki veriler Tablo 5.9, Tablo 5.10 ve Tablo 5.11'de verilmiştir.

Tablo 5.9. 12 katlı binanın ikinci mertebe etkisi kontrolü

Yükseklik (m)	**$h_{i\ (m)}$**	**W_i (t)**	**$\sum W_j$ (t)**	**$\Delta_{iy,ORT}$ (m)**	**V_{iy} (kN)**	**V_{iy} (t)**	**$\Theta_{ıı,y}$**	**0,12D/ Ch/R**	**Kontrol**
36	3	1116,20	1116,20	0,00011	2039,996	207,95	0,000020	0,086	✔
33	3	1195,22	2232,39	0,00013	3347,449	341,23	0,000029	0,086	✔
30	3	1195,22	3427,61	0,00014	4055,016	413,36	0,000039	0,086	✔
27	3	1195,22	4622,84	0,00015	4500,92	458,81	0,000051	0,086	✔
24	3	1195,22	5818,06	0,00015	4874,961	496,94	0,000060	0,086	✔
21	3	1195,22	7013,29	0,00016	5271,965	537,41	0,000071	0,086	✔
18	3	1195,22	8208,51	0,00016	5713,035	582,37	0,000077	0,086	✔
15	3	1195,22	9403,73	0,00017	6216,258	633,67	0,000086	0,086	✔
12	3	1195,22	10598,96	0,00016	6785,234	691,67	0,000083	0,086	✔
9	3	1195,22	11794,18	0,00015	7396,243	753,95	0,000080	0,086	✔
6	3	1195,22	12989,40	0,00011	7953,031	810,71	0,000060	0,086	✔
3	3	1195,22	14184,63	0,00007	8287,965	844,85	0,000040	0,086	✔

Tablo 5.10. 18 katlı binanın ikinci mertebe etkisi kontrolü

Yükseklik (m)	h_i (m)	W_i (t)	$\sum W_j$ (t)	$\Delta_{iy,ORT}$ (m)	V_{iy} (kN)	V_{iy} (t)	$\Theta_{ii,y}$	0,12D/ Ch/R	Kontrol
54	3	1127,88	1127,88	0,0008	1714,65	174,79	0,00018	0,086	✔
51	3	1217,31	2255,76	0,00084	2845,56	290,07	0,00022	0,086	✔
48	3	1217,31	3473,07	0,00087	3463,70	353,08	0,00029	0,086	✔
45	3	1217,31	4690,38	0,00089	3841,56	391,60	0,00036	0,086	✔
42	3	1217,31	5907,69	0,00091	4098,55	417,79	0,00044	0,086	✔
39	3	1217,31	7125,01	0,00094	4280,94	436,39	0,00052	0,086	✔
36	3	1217,31	8342,32	0,00094	4435,45	452,14	0,00059	0,086	✔
33	3	1217,31	9559,63	0,00095	4596,30	468,53	0,00066	0,086	✔
30	3	1217,31	10776,94	0,00097	4778,10	487,06	0,00073	0,086	✔
27	3	1217,31	11994,25	0,00096	5003,52	510,04	0,00077	0,086	✔
24	3	1217,31	13211,56	0,00096	5280,18	538,24	0,00080	0,086	✔
21	3	1217,31	14428,87	0,00094	5603,41	571,19	0,00081	0,086	✔
18	3	1217,31	15646,18	0,00091	5985,34	610,13	0,00079	0,086	✔
15	3	1217,31	16863,49	0,00086	6405,16	652,92	0,00075	0,086	✔
12	3	1217,31	18080,80	0,00078	6856,59	698,94	0,00069	0,086	✔
9	3	1217,31	19298,11	0,00067	7335,66	747,77	0,00059	0,086	✔
6	3	1217,31	20515,42	0,00051	7749,06	789,91	0,00045	0,086	✔
3	3	1217,31	21732,73	0,00027	8024,86	818,03	0,00024	0,086	✔

Tablo 5.11. 24 katlı binanın ikinci mertebe etkisi kontrolü

Yükseklik (m)	h_i (m)	W_i (t)	$\sum W_J$ (t)	$\Delta_{iy,ORT}$ (m)	$V_{i,y}$ (kN)	$V_{i,y}$ (t)	$\Theta_{i,y}$	0,12D/ Ch/R	Kontrol
72	3	1166,39	1166,39	0,00125	1846,34	188,21	0,0003	0,086	✔
69	3	1283,76	2332,77	0,00128	3238,75	330,15	0,0003	0,086	✔
66	3	1283,76	3616,53	0,00131	4047,83	412,62	0,0004	0,086	✔
63	3	1283,76	4900,28	0,00135	4454,24	454,05	0,0005	0,086	✔
60	3	1283,76	6184,04	0,00137	4696,80	478,78	0,0006	0,086	✔
57	3	1283,76	7467,79	0,00141	4939,76	503,54	0,0007	0,086	✔
54	3	1283,76	8751,55	0,00144	5196,00	529,66	0,0008	0,086	✔
51	3	1283,76	10035,30	0,00147	5405,97	551,07	0,0009	0,086	✔
48	3	1283,76	11319,06	0,00149	5560,20	566,79	0,0010	0,086	✔
45	3	1283,76	12602,81	0,00151	5716,86	582,76	0,0011	0,086	✔
42	3	1283,76	13886,57	0,00153	5918,87	603,35	0,0012	0,086	✔
39	3	1283,76	15170,33	0,00154	6137,76	625,66	0,0013	0,086	✔
36	3	1283,76	16454,08	0,00155	6329,65	645,22	0,0013	0,086	✔
33	3	1283,76	17737,84	0,00155	6515,29	664,15	0,0014	0,086	✔
30	3	1283,76	19021,59	0,00153	6755,24	688,61	0,0014	0,086	✔
27	3	1283,76	20305,35	0,00152	7051,20	718,78	0,0015	0,086	✔
24	3	1283,76	21589,10	0,00148	7347,84	749,02	0,0014	0,086	✔
21	3	1283,76	22872,86	0,00143	7656,47	780,48	0,0014	0,086	✔
18	3	1283,76	24156,61	0,00136	8066,06	822,23	0,0014	0,086	✔
15	3	1283,76	25440,37	0,00125	8560,39	872,62	0,0012	0,086	✔
12	3	1283,76	26724,12	0,00112	9023,32	919,81	0,0011	0,086	✔
9	3	1283,76	28007,88	0,00094	9540,57	972,53	0,0009	0,086	✔
6	3	1283,76	29291,63	0,00069	10137,71	1033,41	0,0007	0,086	✔
3	3	1283,76	30575,39	0,00035	10595,05	1080,03	0,0003	0,086	✔

5.2.8. Doğrusal tasarım esasları ve deprem yüklerinin belirlenmesi

Bölüm 3.6.5'te belirtildiği gibi iki doğrusal hesap yönteminden biri olan modal hesap yöntemi tercih edilmiştir. Modal hesap yönteminde TBDY 2018 Bölüm 4.8.1.2'de verilen modal etkin kütlelerinin toplamının bina toplam kütlesinin %95'inden daha az olmaması kuralına göre taban kesme kuvvetleri hesaplanacaktır. Binaya etkiyen toplam deprem yükü, kat kesme kuvveti, iç kuvvet bileşenleri, yer değiştirme ve göreli kat ötelenmesi gibi büyüklüklerin her biri için ayrı ayrı uygulanmak üzere her titreşim modu için hesaplanan ve eşzamanlı olmayan maksimum mod katkılarının birleştirilmesi için Tam Karesel Birleştirme (CQC) kuralı uygulanmıştır. [1].

Modal analizle hesaplanan binanın hâkim titreşim periyodu ve TBDY 2018 Denklem 4.8'de verilen azaltılmış tasarım spektral ivmesi hesaplanarak toplam eşdeğer deprem yükü belirlenir. Modal analiz ile eşdeğer deprem yükü arasında Denklem 3.3'de verilen ilişki kurularak yapıya iki doğrultuda gelen kesme kuvvetleri gerektiği takdirde arttırılır. Tez çalışması kapsamında Bölüm 5.2.8.2'de gerekli kesme kuvvetleri ve eşdeğer artımlar excelde hesaplanarak teze dahil edilmiştir.

5.2.8.1. Binaların modal analiz sonuçları ve kat kütleleri

Yapıların modal analiz sonuçları Tablo 5.12'de verilmektedir. Kütle katılım oranlarının %95'i geçtiği yer sınır değer olarak kabul edilmiştir. 24 katlı betonarme bağ kirişli yapı ile çelik bağ kirişli yapı arasında modal analiz açısından etkin fark olmadığından 24 katlı betonarme bağ kirişli yapının sonuçları bu kısımda verilecektir.

Deprem hesabında esas alınan kat ağırlıkları (G+nQ) yüklemesi altında $\sum W_J(t)$ Tablo 5.9, Tablo 5.10 ve Tablo 5.11'de verilmektedir.

12 katlı yapı kütlesi = 14184 ton

18 katlı yapı kütlesi = 21732 ton

24 katlı yapı kütlesi = 30575 ton'dur.

Tablo 5.12. 12, 18, 24 katlı binaların sırayla kütle katılım oranı tablosu

12 Katlı Bina*				18 Katlı Bina*			24 Katlı Bina*		
Mod	**Periyot**	**Toplam X**	**Toplam Y**	**Periyot**	**Toplam X**	**Toplam Y**	**Periyot**	**Toplam X**	**Toplam Y**
1	0,826	0,70	0,00	1,506	0,69	0,00	2,274	0,69	0,00
2	0,781	0,70	0,00	1,263	0,69	0,00	1,757	0,69	0,00
3	0,592	0,70	0,70	1,056	0,69	0,69	1,588	0,69	0,69
4	0,229	0,70	0,70	0,393	0,85	0,69	0,585	0,85	0,69
5	0,217	0,86	0,70	0,385	0,85	0,69	0,542	0,85	0,69
6	0,151	0,86	0,87	0,275	0,85	0,85	0,415	0,85	0,84
7	0,115	0,86	0,87	0,201	0,85	0,85	0,284	0,85	0,84
8	0,099	0,92	0,87	0,183	0,90	0,85	0,273	0,90	0,84
9	0,072	0,92	0,87	0,129	0,90	0,85	0,189	0,90	0,90
10	0,07	0,92	0,93	0,127	0,90	0,91	0,166	0,93	0,90
11	0,059	0,95	0,93	0,112	0,93	0,91	0,113	0,95	0,90
12	0,044	0,95	0,96	0,078	0,93	0,94	0,113	0,95	0,93
13	0,041	0,97	0,96	0,077	0,95	0,94	0,082	0,96	0,93
14	0,034	0,97	0,96	0,076	0,96	0,94	0,076	0,96	0,95
15	0,032	0,97	0,98	0,075	0,96	0,96	0,063	0,97	0,95

* 1. Tablo 12 katlı yapıyı, 2. Tablo 18 katlı yapıyı, 3.Tablo 24 katlı yapıyı temsil etmektedir.

5.2.8.2. Kat kesme kuvvetleri ve eşdeğer deprem yükü kontrolü

Mod birleştirme yöntemiyle elde edilen taban kesme kuvveti Tablo 5.13, 5.14 ve 5.15'te gösterilmiştir. Bu taban kesme kuvvetleri eşdeğer deprem yüküyle elde edilen taban kesme kuvvetine Denklem 3.3 kullanılarak eşitlenmelidir. Ancak 24 katlı tasarlanan bina yüksek bina sınıfına girdiğinden dolayı Denklem 3.3 yerine Denklem 4.11 kullanılarak eşitleme işlemi yapılacaktır. Denklem 4.11'de yer alan α_h katsayısı, bina yüksekliği 105 m'den küçük olduğu için 1,0 alınacaktır.

Tablo 5.13. 12 katlı binanın kat kesme kuvvetleri

Yükseklik (m)	**Kombinasyon**	**Kat Kesme Kuvvetleri (kN)**	**Kombinasyon**	**Kat Kesme Kuvvetleri (kN)**
36	Specx*	1734	Specy*	2040
33	Specx	2640	Specy	3347
30	Specx	3101	Specy	4055
27	Specx	3424	Specy	4500
24	Specx	3669	Specy	4875
21	Specx	3903	Specy	5272
18	Specx	4199	Specy	5713
15	Specx	4574	Specy	6216
12	Specx	5005	Specy	6785
9	Specx	5473	Specy	7396
6	Specx	5941	Specy	7953
3	Specx	6247	Specy	8288

*Specx terimi DD2 depremi altında x doğrultusunda gelen deprem kuvvetinin yapıda oluşturduğu kat kesme kuvvetini, Specy terimi ise y doğrultusunda gelen deprem kuvvetinin yapıda oluşturduğu kat kesme kuvvetini ifade etmektedir.

Tablo 5.14. 18 katlı binanın kat kesme kuvvetleri

Yükseklik (m)	Kombinasyon	Kat Kesme Kuvvetleri (kN)	Kombinasyon	Kat Kesme Kuvvetleri (kN)
54	Specx*	1220	Specy*	1715
51	Specx	2073	Specy	2846
48	Specx	2488	Specy	3464
45	Specx	2761	Specy	3842
42	Specx	2957	Specy	4099
39	Specx	3083	Specy	4281
36	Specx	3201	Specy	4436
33	Specx	3322	Specy	4596
30	Specx	3443	Specy	4778
27	Specx	3602	Specy	5004
24	Specx	3789	Specy	5280
21	Specx	3995	Specy	5603
18	Specx	4262	Specy	5985
15	Specx	4546	Specy	6405
12	Specx	4872	Specy	6857
9	Specx	5233	Specy	7336
6	Specx	5594	Specy	7749
3	Specx	5875	Specy	8025

*Specx terimi DD2 depremi altında x doğrultusunda gelen deprem kuvvetinin yapıda oluşturduğu kat kesme kuvvetini, Specy terimi ise y doğrultusunda gelen deprem kuvvetinin yapıda oluşturduğu kat kesme kuvvetini ifade etmektedir.

Tablo 5.15. 24 katlı binanın kat kesme kuvvetleri

Yükseklik (m)	Kombinasyon	Kat Kesme Kuvvetleri (kN)	Kombinasyon	Kat Kesme Kuvvetleri (kN)
72	Specx*	1219	Specy*	1420
69	Specx	1968	Specy	2491
66	Specx	2325	Specy	3114
63	Specx	2550	Specy	3426
60	Specx	2733	Specy	3613
57	Specx	2848	Specy	3800
54	Specx	2932	Specy	3997
51	Specx	3033	Specy	4158
48	Specx	3125	Specy	4277
45	Specx	3208	Specy	4398
42	Specx	3313	Specy	4553
39	Specx	3422	Specy	4721
36	Specx	3524	Specy	4869
33	Specx	3648	Specy	5012
30	Specx	3780	Specy	5196

Tablo 5.15 (Devam). 24 katlı binanın kat kesme kuvvetleri

27	Specx	3917	Specy	5424
24	Specx	4088	Specy	5652
21	Specx	4272	Specy	5890
18	Specx	4493	Specy	6205
15	Specx	4752	Specy	6585
12	Specx	5028	Specy	6941
9	Specx	5359	Specy	7339
6	Specx	5690	Specy	7798
3	Specx	5962	Specy	8150

*Specx terimi DD2 depremi altında x doğrultusunda gelen deprem kuvvetinin yapıda oluşturduğu kat kesme kuvvetini, Specy terimi ise y doğrultusunda gelen deprem kuvvetinin yapıda oluşturduğu kat kesme kuvvetini ifade etmektedir.

Bölüm 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 ve 3.6'da verilen parametreler ve denklemlerce hesaplanan eşdeğer deprem yükü artım katsayısının hesabı Tablo 5.16, Tablo 5.17, Tablo 5.18'de belirlenmiştir. Bu katsayı 1'den küçük olamayacağı için 1'den küçük değerler için artımlar 1 kabul edilmiştir. Örnek olarak 12 katlı yapının eşdeğer deprem yükü artımı gösterilmiştir.

Tablo 5.16. 12 katlı binanın eşdeğer artım katsayısı

S_{D1}	0,268	T_A	0,058
S_{DS}	0,926	T_B	0,29
D	2,5	$R_{A(T)X}$	7,000
R	7	$R_{A(T)Y}$	7,000
I	1	$S_{aex(T)}$	0,323
T_P^X	0,83 sn	$S_{aey(T)}$	0,454
T_P^Y	0,59 sn	$S_{aRx(T)}$	0,044
m_t	141840	$S_{aRy(T)}$	0,061
Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemiyle Elde Edilen Kesme Kuvveti		**Mod Birleştirme Yöntemiyle Elde Edilen Kesme Kuvveti**	
V_{tx}	5420 kN	V_x	6241
V_{ty}	7624 kN	V_y	8620
V_{tmin}	5254 kN	$\beta_{tE,x}$	$\beta_{tE,y}$
γ	0,8	**1**	**1**

V_{tEx} = 141840 x 0,044 ≥ 0,04 x 141810 x 1 x 0,925 (Denklem 3.3)

V_{tEx} = 6241 kN ≥ 5254 kN

V_{tEy} = 141840 x 0,061 ≥ 0,04 x 141810 x 1 x 0,925 (Denklem 3.3)

V_{tEy} = 8620 kN ≥ 5254 kN

β_{tEx} = 0,8 x 6241 / 5420 = 0,92 = 1 alınacaktır. (Denklem 3.5)

β_{tEy} = 0,8 x 8620 / 7624 = 0,90 = 1 alınacaktır. (Denklem 3.5)

Tablo 5.17. 18 katlı binanın eşdeğer artım katsayısı

S_{D1}	0,222	T_A	0,048
S_{DS}	0,925	T_B	0,24
D	2,5	$R_{A(T)X}$	7,000
R	7	$R_{A(T)Y}$	7,000
I	1	$S_{aex(T)}$	0,147
$T_P{}^X$	1,51 sn	$S_{aey(T)}$	0,209
$T_P{}^Y$	1,06 sn	$S_{aRx(T)}$	0,021
m_t	217320	$S_{aRy(T)}$	0,030
Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemiyle Elde Edilen Kesme Kuvveti		**Mod Birleştirme Yöntemiyle Elde Edilen Kesme Kuvveti**	
V_{tx}	4564,34 kN	V_x	5875
V_{ty}	6502,03 kN	V_y	8025
V_{tmin}	8040,84 kN	$\beta_{tE,x}$	$\beta_{tE,y}$
γ	0,8	**1,1**	**1**

Tablo 5.18. 24 katlı binanın eşdeğer artım katsayısı

S_{D1}	0,222	T_A	0,048
S_{DS}	0,925	T_B	0,24
D	2,5	$R_{A(T)X}$	7,000
R	7	$R_{A(T)Y}$	7,000
I	1	$S_{aex(T)}$	0,097
$T_P{}^X$	2,28 sn	$S_{aey(T)}$	0,140
$T_P{}^Y$	1,59 sn	$S_{aRx(T)}$	0,014
m_t	305750	$S_{aRy(T)}$	0,020
Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemiyle Elde Edilen Kesme Kuvveti		**Mod Birleştirme Yöntemiyle Elde Edilen Kesme Kuvveti**	
V_{tx}	4252,91 kN	V_x	5962
V_{ty}	6098,52 kN	V_y	8150
V_{tmin}	11312,75 kN	$\beta_{tE,x}$	$\beta_{tE,y}$
α_h	1	**1,90**	**1,40**

Tabloda verilen β_{tE} katsayısı eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısıdır.

Binaların ağırlıkları ve deprem parametreleri ile hesaplanan kesme kuvvetleri ile modal analiz sonucu binalara gelen kesme kuvveti arasındaki oran olan artım katsayıları, ETABS programında binalara etkitilerek katlara gelen kat kesme kuvvetleri arttırılmıştır.

5.2.9. Etkin Kesit Rijitlikleri

Betonarme kesit elemanlarında kullanılan etkin kesit rijitlikleri Tablo 5.19'da gösterilmektedir.

Tablo 5.19. Etkin kesit rijitlikleri

Yapı Katları	Kolon	Kiriş	Perde	Bağ Kiriş	Döşeme
BBK12*	Eğilme etkisi altında 0,7(EI)	Eğilme etkisi altında 0,35(EI)	Eğilme etkisi altında 0,25(EI), eksenel etkisi altında 0,50(EI)	Eğilme etkisi altında 0,15(EI)	Eğilme ve eksenel etkisi altında 0,25(EI)
BBK18*					
BBK24*					
ÇBK24*					

* B.B.K. terimi betonarme bağ kirişli yapı, Ç.B.K. terimi çelik bağ kirişli yapı için kullanılmıştır.

5.2.10. Betonarme kolon kesit hesabı

Kolonların betonarme hesabı Bölüm 3.7.1'de verilen kurallar doğrultusunda yapılmıştır. Bu hesap kapsamında kolonlarda eksenel yük kontrolü, eğilme ve kesme donatısı kontrolleri yapılmıştır. 12, 18, 24 katlı binalarda kolon kesitleri tüm kat boyunca aynı devam edilerek boyutlandırmalarda optimizasyon yapılmamıştır.

Eksenel kuvvet kontrolü ve kesme donatısı hesabı:

Kolon eksenel kuvvet kontrolleri, arttırılmış düşey yük etkisi altında $0{,}50A_cf_{ck}$ depremli yük birleşimi etkisi altında ise $0{,}40A_cf_{ck}$ sınırında kontrol edilmiştir. Kolon kesme donatısı TBDY 2018'de verilen minimum donatı miktarına göre donatılar belirlenmiştir. Eksenel kuvvet sınırının $N_d > 0{,}20A_c f_{ck}$ (basınç) %20'den az veya fazla olmasına göre enine donatının minimum hacimsel oranı belirlenmiştir. Tabloda gösterilen donatı aralıkları sarılma bölgeleri için olup kolon orta bölgelerinde enine donatı aralıkları 20 cm olarak alınmıştır. Kolon sonuçları en yüksek sonucun çıktığı +3 kotunda verilmiştir.

12 katlı yapıda:

Eksenel kuvvet etkisi en yüksek olan C10 kolonudur. Bu kolona gelen kesme kuvveti D katsayısı dahil edilerek arttırılmış yük etkisi altında max kesme kuvveti 500 kN'dur. Seçilen enine donatı $4\emptyset 12/20'$ dir. TBDY 2018 Bölüm 7.3.7.5'de verilen şartlar gereğince

$$V_{max} = 0{,}85 \times 800 \times 800 \times \sqrt{35}/1000 = 3218 \text{ kN}$$

$$V_w = \frac{4\times 113}{200} \times 365 \times 760 / 1000 = 627 \text{ kN}$$

Betonun, kesme dayanımına katkısı ihmal edilerek yapılan hesapta kolonun kesme dayanımı 627 kN bulunmuştur ve gerekli dayanım sağlanmıştır. Zemin kat kolonlarının eksenel kuvvet oranı Tablo 5.20'de verilmektedir.

Tablo 5.20. 12 katlı yapıda eksenel yük ve enine donatı kontrolü

Kat Kotu	Kolon	Kesit (cmxcm)	fck Ac (cm2)	(1,4G+1,6Q) Gelen Kuvvet (kN)	(1,4G+1,6Q) Oranı	(GQE) Gelen Kuvvet (kN)	(GQE) Oranı	Eksenel Kuvvet Sınırı	Kullanılan Etriye	Genel Kontrol
+3,00	C10	C80X80	22400	7962	0,36	5675	0,25	Nd>0,2	4Ø12/10	✔
+3,00	C11	C80X80	22400	7962	0,36	5675	0,25	Nd>0,2	4Ø12/10	✔
+3,00	C12	C80X80	22400	4672	0,21	3390	0,15	Nd>0,2	4Ø12/10	✔
+3,00	C3	C80X80	22400	7277	0,32	5226	0,23	Nd>0,2	4Ø12/10	✔
+3,00	C4	C80X80	22400	7277	0,32	5226	0,23	Nd>0,2	4Ø12/10	✔
+3,00	C5	C80X80	22400	4672	0,21	3390	0,15	Nd>0,2	4Ø12/10	✔
+3,00	C53	C80X80	22400	7118	0,32	5109	0,23	Nd>0,2	4Ø12/10	✔
+3,00	C54	C80X80	22400	7118	0,32	5109	0,23	Nd>0,2	4Ø12/10	✔
+3,00	C55	C80X80	22400	7277	0,32	5226	0,23	Nd>0,2	4Ø12/10	✔
+3,00	C56	C80X80	22400	7277	0,32	5226	0,23	Nd>0,2	4Ø12/10	✔
+3,00	C6	C80X80	22400	7962	0,36	5675	0,25	Nd>0,2	4Ø12/10	✔
+3,00	C7	C80X80	22400	7962	0,36	5675	0,25	Nd>0,2	4Ø12/10	✔
+3,00	C71	C80X80	22400	7118	0,32	5109	0,23	Nd>0,2	4Ø12/10	✔
+3,00	C72	C80X80	22400	7118	0,32	5109	0,23	Nd>0,2	4Ø12/10	✔
+3,00	C8	C80X80	22400	4672	0,21	3390	0,15	Nd>0,2	4Ø12/10	✔
+3,00	C9	C80X80	22400	4672	0,21	3390	0,15	Nd>0,2	4Ø12/10	✔

Kolonlarda ihtiyaç duyulan boyuna donatı oranları ve kullanılan donatılar Tablo 5.21'de verilmektedir.

Tablo 5.21. 12 katlı yapıda boyuna donatı oranları

Kat Kotu	Kolon	Kesit (cmxcm)	Alan (m²)	Donatı Adeti	Donatı Çapı	% Donatı Oranı	% Gerekli Donatı Oranı	Kontrol <%4
+3,00	C10	C80X80	0,64	24	ø22	1,43	1,42	✔
+3,00	C11	C80X80	0,64	24	ø22	1,43	1,42	✔
+3,00	C12	C80X80	0,64	24	ø22	1,43	1,42	✔
+3,00	C3	C80X80	0,64	24	ø22	1,43	1,42	✔
+3,00	C4	C80X80	0,64	24	ø22	1,43	1,42	✔
+3,00	C5	C80X80	0,64	24	ø22	1,43	1,42	✔
+3,00	C53	C80X80	0,64	24	ø22	1,43	1,42	✔
+3,00	C54	C80X80	0,64	24	ø22	1,43	1,42	✔
+3,00	C55	C80X80	0,64	24	ø22	1,43	1,42	✔
+3,00	C56	C80X80	0,64	24	ø22	1,43	1,42	✔
+3,00	C6	C80X80	0,64	24	ø22	1,43	1,42	✔
+3,00	C7	C80X80	0,64	24	ø22	1,43	1,42	✔
+3,00	C71	C80X80	0,64	24	ø22	1,43	1,42	✔
+3,00	C72	C80X80	0,64	24	ø22	1,43	1,42	✔
+3,00	C8	C80X80	0,64	24	ø22	1,43	1,42	✔
+3,00	C9	C80X80	0,64	24	ø22	1,43	1,42	✔

18 katlı yapıda:

Eksenel kuvvet etkisi yüksek olan C10 kolonudur. Bu kolona gelen kesme kuvveti D katsayısı dahil edilerek arttırılmış yük etkisi altında max kesme kuvveti 775 kN'dur. Seçilen enine donatı $5Ø\,12/20'$ dir. TBDY 2018 Bölüm 7.3.7.5'de verilen şartlar gereğince

$$V_{max} = 0{,}85 \times 900 \times 900 \times \sqrt{35}/1000 = 4073 \text{ kN}$$

$$V_w = \frac{5\times113}{200} \times 365 \times 860 /1000 = 887 \text{ kN}$$

Betonun, kesme dayanımına katkısı ihmal edilerek yapılan hesapta kolonun kesme dayanımı 887 kN bulunmuştur ve gerekli dayanım sağlanmıştır (Tablo 5.22).

Tablo 5.22. 18 katlı yapıda eksenel yük ve enine donatı kontrolü

Kat Kotu	Kolon	Kesit (cmxcm)	fck Ac (cm2)	(1,4G+1,6Q) Gelen Kuvvet (kN)	(1,4G+1,6Q) Oranı	(GQE) Gelen Kuvvet (kN)	(GQE) Oranı	Eksenel Kuvvet Sınırı	Kullanılan Etriye	Genel Kontrol
+3,00	C10	C90X90	24300	12389	0,49	8868	0,36	Nd>0,2	5Ø12/10	✔
+3,00	C11	C90X90	24300	12389	0,49	8868	0,36	Nd>0,2	5Ø12/10	✔
+3,00	C12	C90X90	24300	7408	0,30	5440	0,22	Nd>0,2	5Ø12/10	✔
+3,00	C3	C90X90	24300	11148	0,46	8093	0,33	Nd>0,2	5Ø12/10	✔
+3,00	C4	C90X90	24300	11149	0,46	8094	0,33	Nd>0,2	5Ø12/10	✔
+3,00	C5	C90X90	24300	7408	0,30	5440	0,22	Nd>0,2	5Ø12/10	✔
+3,00	C53	C90X90	24300	10977	0,45	7953	0,33	Nd>0,2	5Ø12/10	✔
+3,00	C54	C90X90	24300	10977	0,45	7953	0,33	Nd>0,2	5Ø12/10	✔
+3,00	C55	C90X90	24300	11148	0,46	8093	0,33	Nd>0,2	5Ø12/10	✔
+3,00	C56	C90X90	24300	11149	0,46	8094	0,33	Nd>0,2	5Ø12/10	✔
+3,00	C6	C90X90	24300	12389	0,49	8867	0,36	Nd>0,2	5Ø12/10	✔
+3,00	C7	C90X90	24300	12389	0,49	8867	0,36	Nd>0,2	5Ø12/10	✔
+3,00	C71	C90X90	24300	10977	0,45	7953	0,33	Nd>0,2	5Ø12/10	✔
+3,00	C72	C90X90	24300	10977	0,45	7953	0,33	Nd>0,2	5Ø12/10	✔
+3,00	C8	C90X90	24300	7408	0,30	5440	0,22	Nd>0,2	5Ø12/10	✔
+3,00	C9	C90X90	24300	7408	0,30	5440	0,22	Nd>0,2	5Ø12/10	✔

Kolonlarda ihtiyaç duyulan boyuna donatı oranları ve kullanılan donatılar Tablo 5.23'de verilmektedir.

Tablo 5.23. 18 katlı yapıda boyuna donatı oranları

Kat Yüksekliği (m)	Kolon	Kesit (cmxcm)	Alan (m²)	Donatı Adeti	Donatı Çapı	% Donatı Oranı	% Gerekli Donatı Oranı	Kontrol <%4
+3,00	C10	C90X90	0,81	26	ø20	1,01	1,00	✔
+3,00	C11	C90X90	0,81	26	ø20	1,01	1,00	✔
+3,00	C12	C90X90	0,81	26	ø20	1,01	1,00	✔
+3,00	C3	C90X90	0,81	26	ø20	1,01	1,00	✔
+3,00	C4	C90X90	0,81	26	ø20	1,01	1,00	✔
+3,00	C5	C90X90	0,81	26	ø20	1,01	1,00	✔
+3,00	C53	C90X90	0,81	26	ø20	1,01	1,00	✔
+3,00	C54	C90X90	0,81	26	ø20	1,01	1,00	✔
+3,00	C55	C90X90	0,81	26	ø20	1,01	1,00	✔
+3,00	C56	C90X90	0,81	26	ø20	1,01	1,00	✔
+3,00	C6	C90X90	0,81	26	ø20	1,01	1,00	✔
+3,00	C7	C90X90	0,81	26	ø20	1,01	1,00	✔
+3,00	C71	C90X90	0,81	26	ø20	1,01	1,00	✔
+3,00	C72	C90X90	0,81	26	ø20	1,01	1,00	✔
+3,00	C8	C90X90	0,81	26	ø20	1,01	1,00	✔
+3,00	C9	C90X90	0,81	26	ø20	1,01	1,00	✔

24 katlı yapıda:

Eksenel kuvvet etkisi yüksek olan C10 kolonudur. Bu kolona gelen kesme kuvveti D katsayısı dahil edilerek arttırılmış yük etkisi altında max kesme kuvveti 855 kN'dur. Seçilen enine donatı$7\emptyset\,12/20'$ dir. TBDY 2018 Bölüm 7.3.7.5'de verilen şartlar gereğince

$$V_{max} = 0{,}85 \times 1100 \times 1100 \times \sqrt{35}/1000 = 6085 \text{ kN}$$

$$V_w = \frac{7\times 113}{200} \times 365 \times 1060 / 1000 = 866 \text{ kN}$$

Betonun, kesme dayanımına katkısı ihmal edilerek yapılan hesapta kolonun kesme dayanımı 866 kN bulunmuştur ve gerekli dayanım sağlanmıştır (Tablo 5.24).

Tablo 5.24. 24 katlı yapıda eksenel yük ve enine donatı kontrolü

Kat Kotu	Kolon	Kesit (cmxcm)	fck Ac (cm2)	(1,4G+1,6Q) Gelen Kuvvet (kN)	(1,4G+1,6Q) Oranı	(GQE) Gelen Kuvvet (kN)	(GQE) Oranı	Eksenel Kuvvet Sınırı	Kullanılan Etriye	Genel Kontrol
+3,00	C10	C110X110	42350	17597	0,42	12748	0,30	Nd>0,2	7Ø12/10	✔
+3,00	C11	C110X110	42350	17597	0,42	12748	0,30	Nd>0,2	7Ø12/10	✔
+3,00	C12	C110X110	42350	10929	0,26	8221	0,19	Nd>0,2	7Ø12/10	✔
+3,00	C3	C110X110	42350	15939	0,38	11816	0,28	Nd>0,2	7Ø12/10	✔
+3,00	C4	C110X110	42350	15939	0,38	11816	0,28	Nd>0,2	7Ø12/10	✔
+3,00	C5	C110X110	42350	10929	0,26	8221	0,19	Nd>0,2	7Ø12/10	✔
+3,00	C53	C110X110	42350	15748	0,37	11638	0,27	Nd>0,2	7Ø12/10	✔
+3,00	C54	C110X110	42350	15748	0,37	11638	0,27	Nd>0,2	7Ø12/10	✔
+3,00	C55	C110X110	42350	15939	0,38	11816	0,28	Nd>0,2	7Ø12/10	✔
+3,00	C56	C110X110	42350	15939	0,38	11816	0,28	Nd>0,2	7Ø12/10	✔
+3,00	C6	C110X110	42350	17597	0,42	12748	0,30	Nd>0,2	7Ø12/10	✔
+3,00	C7	C110X110	42350	17597	0,42	12748	0,30	Nd>0,2	7Ø12/10	✔
+3,00	C71	C110X110	42350	15748	0,37	11638	0,27	Nd>0,2	7Ø12/10	✔
+3,00	C72	C110X110	42350	15748	0,37	11638	0,27	Nd>0,2	7Ø12/10	✔
+3,00	C8	C110X110	42350	10929	0,26	8221	0,19	Nd>0,2	7Ø12/10	✔
+3,00	C9	C110X110	42350	10929	0,26	8221	0,19	Nd>0,2	7Ø12/10	✔

Kolonlarda ihtiyaç duyulan boyuna donatı oranları ve kullanılan donatılar Tablo 5.25'de verilmektedir.

Tablo 5.25. 24 katlı yapıda boyuna donatı oranları

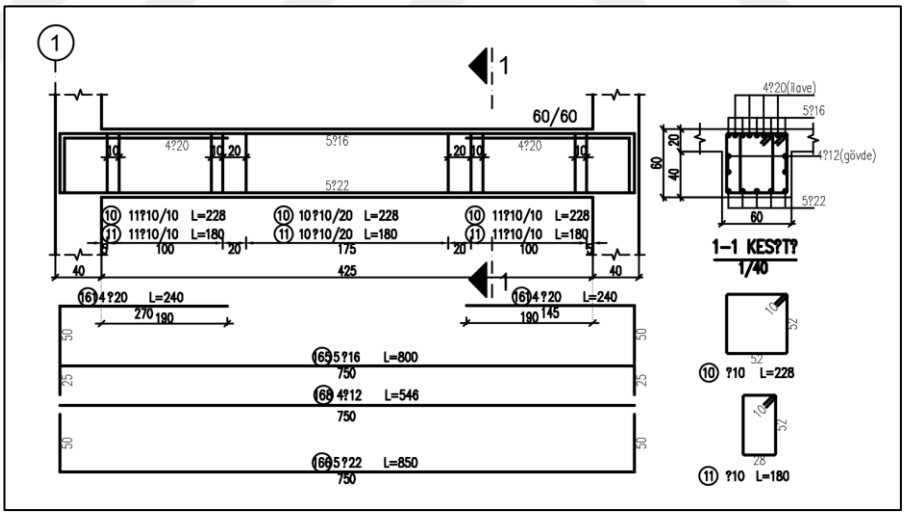
Kat Yüksekliği (m)	Kolon	Kesit (cmxcm)	Alan (m²)	Donatı Adeti	Donatı Çapı	% Donatı Oranı	% Gerekli Donatı Oranı	Kontrol <%4
+3,00	C10	C110X110	1,21	39	ø20	1,01	1,00	✔
+3,00	C11	C110X110	1,21	39	ø20	1,01	1,00	✔
+3,00	C12	C110X110	1,21	39	ø20	1,01	1,00	✔
+3,00	C3	C110X110	1,21	39	ø20	1,01	1,00	✔
+3,00	C4	C110X110	1,21	39	ø20	1,01	1,00	✔
+3,00	C5	C110X110	1,21	39	ø20	1,01	1,00	✔
+3,00	C53	C110X110	1,21	39	ø20	1,01	1,00	✔
+3,00	C54	C110X110	1,21	39	ø20	1,01	1,00	✔
+3,00	C55	C110X110	1,21	39	ø20	1,01	1,00	✔
+3,00	C56	C110X110	1,21	39	ø20	1,01	1,00	✔
+3,00	C6	C110X110	1,21	39	ø20	1,01	1,00	✔
+3,00	C7	C110X110	1,21	39	ø20	1,01	1,00	✔
+3,00	C71	C110X110	1,21	39	ø20	1,01	1,00	✔
+3,00	C72	C110X110	1,21	39	ø20	1,01	1,00	✔
+3,00	C8	C110X110	1,21	39	ø20	1,01	1,00	✔
+3,00	C9	C110X110	1,21	39	ø20	1,01	1,00	✔

5.2.11. Betonarme kiriş kesit hesabı

Kirişlerin betonarme hesabı Bölüm 3.7.2'de verilen kurallar doğrultusunda yapılmıştır. Bu hesap kapsamında 12, 18 ve 24 katlı binalarda kullanılan çerçeve kirişler incelenmektedir. Kiriş boyutları 3 binada da değişmediğinden diğerlerine göre daha yüksek eğilme momenti ve kesme kuvvetini karşılayan 24 katlı binanın çerçeve kirişleri bu hesap kapsamında anlatılmaktadır. Binalarda çerçeve kiriş kesitlerinde herhangi bir değişiklik mevcut değildir. Kirişler için gereken eğilme donatısı hesabı, ETABS programından alınarak yapılmıştır. Çerçeve kirişlerde kullanılan enine ve boyuna donatılar Tablo 5.26 ve Şekil 5.10'da gösterilmektedir.

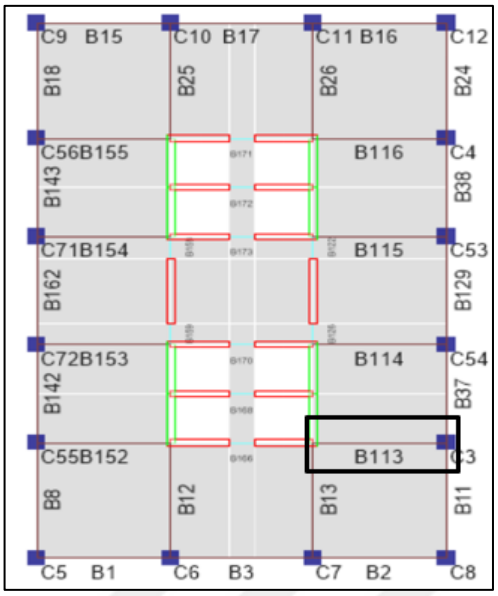
Tablo 5.26. 12, 18, 24 katlı binalarda çerçeve kiriş donatıları

ÇERÇEVE KİRİŞ							
Katlar	**Kiriş**	**Kesit**	**Kiriş Enine Donatı**	**Mesnet İlave Donatısıı**	**Üst Montaj Donatısı**	**Alt Açıklık Donatısı**	**Gövde Donatısı**
12_18_24 Katlı Binalar	B113	B60X60	4ø10/10	4ø20	5ø16	5ø22	4ø12



Şekil 5.10. Çerçeve kirişlerde kullanılan eğilme ve kesme donatıları

B113 kirişi bütün binalarda kesme ve eğilme kuvveti en yüksek çıkan kritik kesittir (Şekil 5.11).



Şekil 5.11. Kritik çerçeve kirişi

B113 kirişi kesme kuvveti = 475 kN

Kiriş boyutları : 60/60

Seçilen enine donatı = 4 Ø 10/10

$V_{max} = 0{,}85 \times 600 \times 600 \times \sqrt{35}/1000 = 1810$ kN

$V_c = 0$ (Betonun kesme dayanımına katkısı ihmal edildi)

$$V_w = \frac{4\times 78}{100} \times 365 \times 560 / 1000 = 638 \text{ kN}$$

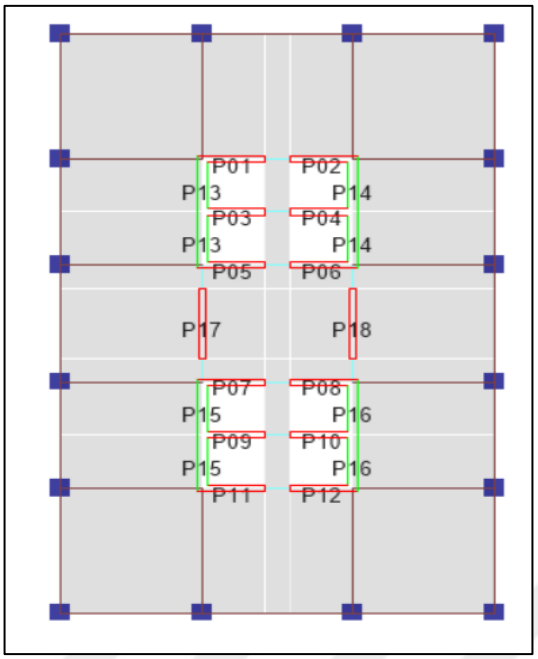
Kirişin kesme dayanımı 638 kN olarak bulunmuştur ve gerekli dayanım sağlanmıştır.

5.2.12. Betonarme perde kesit hesabı

Bu bölüm kapsamında perdelerde eksenel kuvvet ve kesme kuvveti kontrolleri yapılmıştır. Bölüm 3.7.3'de verilen kurallar, bir perde örneğiyle çözümlenerek açıklanmıştır.

Kesit kontrolü:

12, 18, 24 katlı binalarda minimum perde kalınlıkları 40 cm'dir (Şekil 5.12). Perdeler tüm binalarda aynı olduğundan bu bölüm kapsamında 24 katlı binada bulunan perdeler incelenmiştir.



Şekil 5.12. Bina perde isimleri

Eksenel yük kontrolü:

Perde elemanlarında düşey yüklerin ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında oluşam en büyük eksenel basınç kuvveti $0,35A_cf_{ck}$ değerini aşmamalıdır. 1.katta olan +3,00 m kotu baz alınarak yapılan eksenel kuvvet kontrolü Tablo 5.27'de gösterilmektedir.

Tablo 5.27. 24 katlı binadaki 1.kat perdelerinde eksenel yük kontrolü

PERDE EKSENEL YÜK KONTROLÜ								
Kat Kotu (m)	**Perde**	**Kesit (cmxcm)**	**fckAc**	**P (1,4G+1,6Q)**	**Oran (1,4G+1,6Q)**	**P (G+Q+E)**	**Oran (G+Q+E)**	**Kontrol <0,35**
+3,00	P01	40x350	49000	10029	0,20	11447	0,23	✔
+3,00	P02	40x350	49000	10029	0,20	11447	0,23	✔
+3,00	P03	40x350	49000	9521	0,19	8136	0,17	✔
+3,00	P04	40x350	49000	9521	0,19	8136	0,17	✔
+3,00	P05	40x350	49000	9682	0,20	9187	0,19	✔
+3,00	P06	40x350	49000	9682	0,20	9187	0,19	✔
+3,00	P07	40x350	49000	9682	0,20	9187	0,19	✔
+3,00	P08	40x350	49000	9682	0,20	9187	0,19	✔
+3,00	P09	40x350	49000	9521	0,19	8136	0,17	✔
+3,00	P10	40x350	49000	9521	0,19	8136	0,17	✔
+3,00	P11	40x350	49000	10029	0,20	11447	0,23	✔
+3,00	P12	40x350	49000	10029	0,20	11447	0,23	✔
+3,00	P13	40x680	95200	21344	0,20	25323	0,24	✔
+3,00	P14	40x680	95200	21344	0,20	25323	0,24	✔
+3,00	P15	40x680	95200	21344	0,20	25323	0,24	✔
+3,00	P16	40x680	95200	21344	0,20	25323	0,24	✔
+3,00	P17	40x450	63000	13317	0,21	12247	0,19	✔
+3,00	P18	40x450	63000	13317	0,21	12247	0,19	✔

Perde kritik yüksekliği, başlık ve gövde donatıları:

TDBY 7.6.1.3'te belirtilen poligon perdeleri için verilen maddede perdelerin gövde bölgesindeki perde kalınlığı kat yüksekliğinin 1/16'sından ve 25 cm'den küçük olamaz. Perde elemanlarda belirlenen doğrultularda perde kesitinde daralma ya da genişlemeler tercih edilmemektedir. Bu nedenle perde kalınlıkları en az 40 cm seçildiğinden belirtilen şarta uyulmaktadır. Yapıdaki tüm perdelerde Hcr sınırları Denklem 3.13.'den hesaplanabilir. Tüm binalarda Hcr sınırı 24 katlı binaya göre seçilmiştir. 24 katlı bina yüksekliği 72,00 m'dir. Bina perde kritik yüksekliği 72,00 / 6 = 12,00 m'dir. 12,00 / 3 = 4 kattır. Ayrıca plandaki en uzun perdenin boyu 6,80 m olduğundan kritik perde yüksekliği perde uzun doğrultusunun 2 katıdır olmak şartıyla 6,80 x 2 = 13,60 m 'ye göre de hesap yapılmalıdır. Seçilen Hcr sınırı 4 kat seçilerek perde tasarımına devam edilmiştir.

Perde başlık bölgelerinde ve perde gövde bölgesinde boyuna donatıların düzenlenmesi Bölüm 7.6.4 ve 7.6.5'e göre yapılmıştır. Yapı donatı talepleri ETABS programından alınarak perdeler talebi karşılayacak şekilde donatılmıştır. Perdelerin her iki yüzündeki gövde donatılarının toplam enkesit alanı, düşey ve yatay donatıların her biri için, perde uç bölgelerinin arasında kalan perde gövdesi brüt enkesit alanının 0,0025'inden az olmayacak ve perde gövdesinde boyuna ve enine donatı aralığı 25 cm'den fazla olmayacak şekilde seçilmiştir. Perde uç bölgelerinin her birinde, düşey donatı toplam alanının perde brüt enkesit alanına oranı 0,001'den az olmayacaktır. Ancak, kritik perde yüksekliği boyunca bu oran 0,002'ye çıkarılacaktır.

P13 perdesi (40/680) H_{cr} için başlık boyuna donatı kontrolünde:

Perde başlık kesiti = 40 - 140 cm

26 ϕ 22 seçilen uç bölgesi için:

As=83,82 cm^2

$A_{c,perde}$ = 40 x140=5600 cm^2

83,82 / (2 x 5600 + 16000) = 0,0031 > 0,002 koşul sağlanmaktadır.

P13 perdesi (40/680) hcr için gövde boyuna donatı kontrolünde:

Gövde en kesiti = 680 - 2 x 140 = 400 cm'dir.

$A_s = 107{,}2\ cm^2$

$A_{c,gövde} = 16000\ cm^2$

107,2 /16000 = 0,0067 > 0,0025 koşul sağlanmaktadır.

Perde başlık bölgesi enine donatıların belirlenmesi:

Kritik kat yüksekliği boyunca perde başlık bölgesi enine donatı hesabı Denklem 3.14'e göre belirlenecektir. Poligon perdesinde y doğrultusunda bulunan etkin P13 perdesi bu kapsamda incelenecektir.

$A_{sh} = {}^{2}/_{3} \times 0{,}075 \times 100 \times 1320 \times (35/420) = 550\ mm^2$ (Uzun doğrultu)

Seçilen donatı=8Ø10/10 (624 mm^2) İstenilen donatı alanı sağlanmaktadır.

$A_{sh} = {}^{2}/_{3} \times 0{,}075 \times 100 \times 320 \times (35/420) = 133\ mm^2$ (Kısa doğrultu)

Seçilen donatı = 2 Ø 10 / 10 (156 mm^2) İstenilen donatı alanı sağlanmaktadır.

Perde kesme kontrolü ve yatay donatı hesabı:

Perdelerin yatay donatı hesabı Denklem 3.16, 3.18'e göre yapılacaktır. Bu kapsamda P13 perdesi değerlendirilerek aşamalar anlatılacaktır. P13 perdesi doğrultu boyunca P17 perdesine bağ kirişle bağlandığından boşluklu perde sınıfına girmektedir. P13 perdesi kesme kuvveti kontrolü ve talep edilen yatay donatı kontrolü Şekil 5.13'te gösterilmektedir.

P13 perdesi +6,00 kotunda enine donatı hesabı aşağıda gösterilmiştir.

P13 Perdesinin boyutları : 40/680

Perde kesme kuvveti = 7987 kN

$V_{max} = 0{,}65 \times 6800 \times 400 \times \sqrt{35} / 1000 = 10450\ kN$

Seçilen donatı = Ø 16/15 x2 (2814 mm^2)

Minimum gövde donatı alanı = $0{,}0025 \times 1000 \times 400 = 1000\ mm^2$

$V_r = 6800 \times 400 \times (0{,}65 \times 1{,}38 + 0{,}00670 \times 365)/1000 = 9092\ kN$'dir. P13 perdesinin kesme güvenliği koşulunu sağladığı hesaplar sonucunda doğrulanmıştır.

BETON SINIFI	C35	DONATI	S420a		35000 kN/m2	fck=	420000 kN/m2	fcd=	23333 kN/m2	fctd=	1400 kN/m2	fyd=	365217 kN/m2	
Perde Kesme Kuvveti ve Enine Donatı Kontrolü														
Kat	Perde	Uzun Kenar Lw (m)	Kısa Kenar Bw (m)	Ach (m2)	Donatı Kol adeti	Donatı çapı (mm)	Donatı aralığı (cm)	Ve D=2,5 I=1,4	Ve=0.65×Ach×√(fck)	Kesit Kontrolü	Vrc=Ach*0,65*fctd	Vrw=Ach*ρch*fyd	Vr=Vrc+Vrw	Donatı Kontrolü	Vr/Ve Güvenlik Faktörü	min Donatı alanı kontrolü	Başlık Donatı Oranı	Toplam Donatı Oranı	ÇALIŞMA KAPASİTESİ ORANI %(Ve/Vmax)
72,00	P13	6,80	0,40	2,72	2	ø12,0	15	2163	10450	✓	2785	3745	6530	✓	3,02	✓	0,003351	1,34	% 20,7
69,00	P13	6,80	0,40	2,72	2	ø12,0	15	2604	10450	✓	2785	3745	6530	✓	2,51	✓	0,003351	1,34	% 24,9
66,00	P13	6,80	0,40	2,72	2	ø12,0	15	3143	10450	✓	2785	3745	6530	✓	2,08	✓	0,003351	1,34	% 30,1
63,00	P13	6,80	0,40	2,72	2	ø12,0	15	3416	10450	✓	2785	3745	6530	✓	1,91	✓	0,003351	1,34	% 32,7
60,00	P13	6,80	0,40	2,72	2	ø12,0	15	3560	10450	✓	2785	3745	6530	✓	1,83	✓	0,003351	1,34	% 34,1
57,00	P13	6,80	0,40	2,72	2	ø12,0	15	3700	10450	✓	2785	3745	6530	✓	1,76	✓	0,003351	1,34	% 35,4
54,00	P13	6,80	0,40	2,72	2	ø12,0	15	3868	10450	✓	2785	3745	6530	✓	1,69	✓	0,003351	1,34	% 37,0
51,00	P13	6,80	0,40	2,72	2	ø12,0	15	4018	10450	✓	2785	3745	6530	✓	1,63	✓	0,003351	1,34	% 38,4
48,00	P13	6,80	0,40	2,72	2	ø12,0	15	4127	10450	✓	2785	3745	6530	✓	1,58	✓	0,003351	1,34	% 39,5
45,00	P13	6,80	0,40	2,72	2	ø12,0	15	4232	10450	✓	2785	3745	6530	✓	1,54	✓	0,003351	1,34	% 40,5
42,00	P13	6,80	0,40	2,72	2	ø12,0	15	4368	10450	✓	2785	3745	6530	✓	1,49	✓	0,003351	1,34	% 41,8
39,00	P13	6,80	0,40	2,72	2	ø12,0	15	4529	10450	✓	2785	3745	6530	✓	1,44	✓	0,003351	1,34	% 43,3
36,00	P13	6,80	0,40	2,72	2	ø12,0	15	4676	10450	✓	2785	3745	6530	✓	1,40	✓	0,003351	1,34	% 44,7
33,00	P13	6,80	0,40	2,72	2	ø12,0	15	4816	10450	✓	2785	3745	6530	✓	1,36	✓	0,003351	1,34	% 46,1
30,00	P13	6,80	0,40	2,72	2	ø12,0	15	5002	10450	✓	2785	3745	6530	✓	1,31	✓	0,003351	1,34	% 47,9
27,00	P13	6,80	0,40	2,72	2	ø12,0	15	5247	10450	✓	2785	3745	6530	✓	1,24	✓	0,003351	1,34	% 50,2
24,00	P13	6,80	0,40	2,72	2	ø12,0	15	5516	10450	✓	2785	3745	6530	✓	1,18	✓	0,003351	1,34	% 52,8
21,00	P13	6,80	0,40	2,72	2	ø12,0	15	5803	10450	✓	2785	3745	6530	✓	1,13	✓	0,003351	1,34	% 55,5
18,00	P13	6,80	0,40	2,72	2	ø12,0	15	6188	10450	✓	2785	3745	6530	✓	1,06	✓	0,003351	1,34	% 59,2
15,00	P13	6,80	0,40	2,72	2	ø12,0	15	6678	10450	✓	2785	5097	7882	✓	1,18	✓	0,0045611	1,82	% 63,9
12,00	P13	6,80	0,40	2,72	2	ø14,0	15	7165	10450	✓	2785	5097	7882	✓	1,10	✓	0,0045611	1,82	% 68,6
9,00	P13	6,80	0,40	2,72	2	ø14,0	15	7616	10450	✓	2785	5097	7882	✓	1,03	✓	0,0045611	1,82	% 72,9
6,00	P13	6,80	0,40	2,72	2	ø14,0	15	7987	10450	✓	2785	5097	7882	✓	1,02	✓	0,0045611	1,82	% 76,4
3,00	P13	6,80	0,40	2,72	2	ø14,0	15	6237	10450	✓	2785	3745	6530	✓	1,05	✓	0,003351	1,34	% 59,7

Şekil 5.13. P13 perdesi kesme kontrolü

Perde sürtünme kesmesi kontrolü:

Perde sürtünme kesmesi kontrolü Denklem 3.19 ve Denklem 3.20 ile kontrol edilmiştir. Şekil 5.14'te P13 perdesinin sürtünme kesmesi kontrolü verilmektedir.

Seçilen başlık bölgesi donatısı = 26 Ø 22 x 2 (19760 mm^2)

Seçilen gövde bölgesi donatısı =Ø 16/15 x 2 (10720 mm^2)

Toplam donatı alanı = 19760 + 10720 = 30480 mm^2

Sürtünme katsayısı (μ) = 1,0

Maksimum kesme kuvveti (V_e) = 7987kN

$$\text{Kapasite} = (30480 \times 365 \times 1{,}0 + 1{,}38 \times 6800 \times 400)/1000 = 14879 \text{ kN}$$

$$V_{e,1} = 0{,}2 \times 35 \times 6800 \times 400/1000 = 19040 \text{ kN}$$

$$V_{e,2} = (3{,}3 + 0{,}08 \times 35) \times 6800 \times 400/1000 = 16590 \text{ kN}$$

Yapılan tüm kontroller sonucunda binalarda bulunan perde kontrolleri tamamlanmıştır. Perde başlık bölgeleri ve kullanılan boyuna ve yatay donatılar Tablo 5.28'de gösterilmiştir.

Tablo 5.28. Perdelerde kullanılan boyuna donatılar ve yatay donatılar

12, 18, 24 Katlı Binalarda Perdelerin Boyuna ve Enine Donatıları							
Katlar	**Perde**	**Başlık Bölgesi Uzunlukları**	**Başlık Bölgesi Boyuna Donatı**	**Gövde Bölgesi**		**Başlık Bölgesi Enine Donatı**	
				Yatay Donatı	**Boyuna Donatı**	**X Yönü**	**Y Yönü**
12_Hcr - Üstü	P01_P12	40/50	12ø16	2ø14/15	ø14/15	2ø10/10	4ø10/10
12_H_{cr}	P01_P12	40/80	16ø20	2ø16/15	ø16/15	3ø10/10	6ø10/10
18_Hcr - Üstü	P01_P12	40/50	12ø16	2ø14/15	ø14/15	2ø10/10	4ø10/10
18_H_{cr}	P01_P12	40/80	16ø20	2ø18/15	ø16/15	3ø10/10	6ø10/10
24_Hcr- Üstü	P01_P12	40/50	12ø16	2ø14/15	ø14/15	2ø10/10	4ø10/10
24_H_{cr}	P01_P12	40/80	16ø20	2ø18/15	ø16/15	3ø10/10	6ø10/10
12_Hcr - Üstü	P13_P16	40/70	14ø18	2ø14/15	ø14/15	2ø10/10	4ø10/10
12_H_{cr}	P13_P16	40/140	26ø22	2ø16/15	ø16/15	2ø10/10	8ø10/10
18_Hcr - Üstü	P13_P16	40/70	14ø18	2ø14/15	ø14/15	2ø10/10	4ø10/10
18_H_{cr}	P13_P16	40/140	26ø22	2ø16/15	ø16/15	2ø10/10	8ø10/10
24_Hcr - Üstü	P13_P16	40/70	14ø18	2ø14/15	ø14/15	2ø10/10	4ø10/10
24_H_{cr}	P13_P16	40/140	26ø22	2ø16/15	ø16/15	2ø10/10	8ø10/10
12_Hcr - Üstü	P17_P18	40/50	12ø16	2ø14/15	ø14/15	2ø10/10	4ø10/10
12_H_{cr}	P17_P18	40/90	18ø20	2ø16/15	ø16/15	3ø10/10	6ø10/10
18_Hcr - Üstü	P17_P18	40/50	12ø16	2ø14/15	ø14/15	2ø10/10	4ø10/10
18_H_{cr}	P17_P18	40/90	18ø20	2ø16/15	ø16/15	3ø10/10	6ø10/10
24_Hcr - Üstü	P17_P18	40/50	12ø16	2ø14/15	ø14/15	2ø10/10	4ø10/10
24_H_{cr}	P17_P18	40/90	18ø20	2ø16/15	ø16/15	3ø10/10	6ø10/10

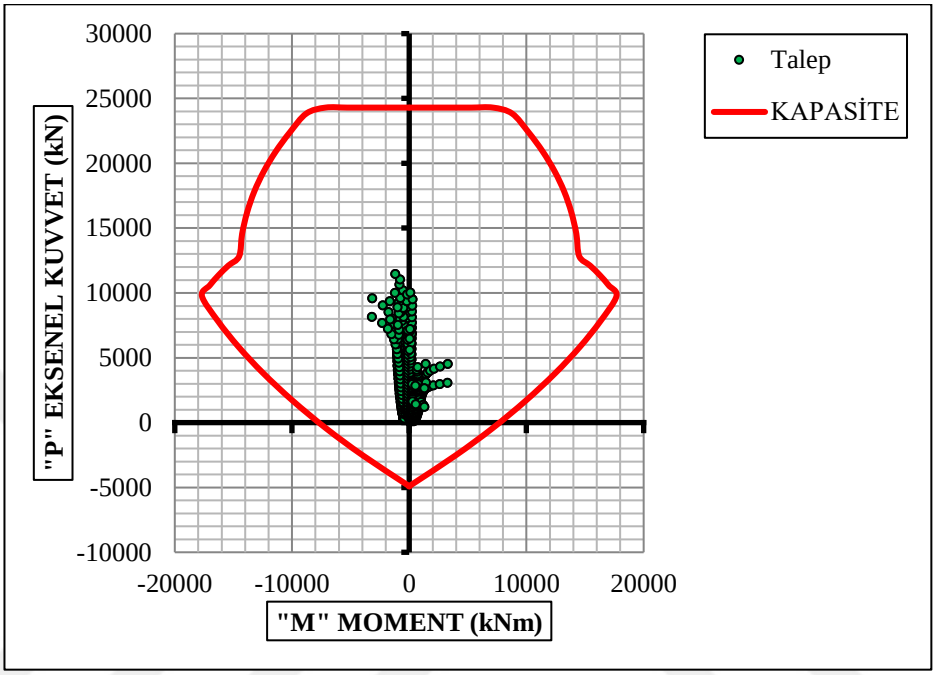
PERDE SÜRTÜNME KESMESİ KONTROLÜ

Katlar	Perde	Kesit Bw* Lw (m)	Ach(m2)	Başlık Bölgesi (KISA) (m)	Başlık Bölgesi (UZUN) (m)	Gövde Bölgesi (m)	Ve D=2,5 I=1,4	μ perde	Başlık Bölgesinin Donatısı		Gövde Bölgesi Donatı		Gövde Bölgesi Donatı Adeti	Perde Donatısı (cm2)	Vedred×Ac+ μ×As×fyd	Vd≤Vr	D/C Vr/Vd	ρbaşlık Awf/Ach ‰	ρgövde Hacimsel Oran ‰	ρ Awf/Ach ‰	Gerekli Eğilme Donatısı Oranı ‰	Kontrol
72,00	P13	0,4*6,8	2,72	0,40	0,70	5,40	2163	1,0	14	ø18,0	ø14,0	/15	72	182,09	10395,00	✓	0,33	1,16	4,56	6,12	2,5	✓
69,00	P13	0,4*6,8	2,72	0,40	0,70	5,40	2604	1,0	14	ø18,0	ø14,0	/15	72	187,18	10395,00	✓	0,38	1,16	4,56	6,12	2,5	✓
66,00	P13	0,4*6,8	2,72	0,40	0,70	5,40	3143	1,0	14	ø18,0	ø14,0	/15	72	187,18	10395,00	✓	0,46	1,16	4,56	6,12	2,5	✓
63,00	P13	0,4*6,8	2,72	0,40	0,70	5,40	3416	1,0	14	ø18,0	ø14,0	/15	72	187,18	10395,00	✓	0,50	1,16	4,56	6,12	2,5	✓
60,00	P13	0,4*6,8	2,72	0,40	0,70	5,40	3360	1,0	14	ø18,0	ø14,0	/15	72	187,18	10395,00	✓	0,52	1,16	4,56	6,12	2,5	✓
57,00	P13	0,4*6,8	2,72	0,40	0,70	5,40	3700	1,0	14	ø18,0	ø14,0	/15	72	187,18	10395,00	✓	0,54	1,16	4,56	6,12	2,5	✓
54,00	P13	0,4*6,8	2,72	0,40	0,70	5,40	3868	1,0	14	ø18,0	ø14,0	/15	72	187,18	10395,00	✓	0,57	1,16	4,56	6,12	2,5	✓
51,00	P13	0,4*6,8	2,72	0,40	0,70	5,40	4018	1,0	14	ø18,0	ø14,0	/15	72	187,18	10395,00	✓	0,59	1,16	4,56	6,12	2,5	✓
48,00	P13	0,4*6,8	2,72	0,40	0,70	5,40	4127	1,0	14	ø18,0	ø14,0	/15	72	187,18	10395,00	✓	0,60	1,16	4,56	6,12	2,5	✓
45,00	P13	0,4*6,8	2,72	0,40	0,70	5,40	4262	1,0	14	ø18,0	ø14,0	/15	72	187,18	10395,00	✓	0,62	1,16	4,56	6,12	2,5	✓
42,00	P13	0,4*6,8	2,72	0,40	0,70	5,40	4368	1,0	14	ø18,0	ø14,0	/15	72	187,18	10395,00	✓	0,64	1,16	4,56	6,12	2,5	✓
39,00	P13	0,4*6,8	2,72	0,40	0,70	5,40	4519	1,0	14	ø18,0	ø14,0	/15	72	187,18	10395,00	✓	0,66	1,16	4,56	6,12	2,5	✓
36,00	P13	0,4*6,8	2,72	0,40	0,70	5,40	4676	1,0	14	ø18,0	ø14,0	/15	72	187,18	10395,00	✓	0,68	1,16	4,56	6,12	2,5	✓
33,00	P13	0,4*6,8	2,72	0,40	0,70	5,40	4816	1,0	14	ø18,0	ø14,0	/15	72	187,18	10395,00	✓	0,70	1,16	4,56	6,12	2,5	✓
30,00	P13	0,4*6,8	2,72	0,40	0,70	5,40	5002	1,0	14	ø18,0	ø14,0	/15	72	187,18	10395,00	✓	0,73	1,16	4,56	6,12	2,5	✓
27,00	P13	0,4*6,8	2,72	0,40	0,70	5,40	5247	1,0	14	ø18,0	ø14,0	/15	72	187,18	10395,00	✓	0,77	1,16	4,56	6,12	2,5	✓
24,00	P13	0,4*6,8	2,72	0,40	0,70	5,40	5516	1,0	14	ø18,0	ø14,0	/15	72	187,18	10395,00	✓	0,81	1,16	4,56	6,12	2,5	✓
21,00	P13	0,4*6,8	2,72	0,40	0,70	5,40	5803	1,0	14	ø18,0	ø14,0	/15	72	187,18	10395,00	✓	0,85	1,16	4,56	6,12	2,5	✓
18,00	P13	0,4*6,8	2,72	0,40	0,70	5,40	6188	1,0	14	ø18,0	ø14,0	/15	72	187,18	10395,00	✓	0,91	1,16	4,56	6,12	2,5	✓
15,00	P13	0,4*6,8	2,72	0,40	0,70	5,40	6678	1,0	14	ø18,0	ø14,0	/15	72	187,18	10395,00	✓	0,98	1,16	4,56	6,12	2,5	✓
12,00	P13	0,4*6,8	2,72	0,40	1,40	4,00	7165	1,0	26	ø22,0	ø16,0	/15	52	302,22	14879,00	✓	0,65	3,23	5,96	9,88	2,5	✓
9,00	P13	0,4*6,8	2,72	0,40	1,40	4,00	7616	1,0	26	ø22,0	ø16,0	/15	52	302,22	14879,00	✓	0,69	3,23	5,96	9,88	2,5	✓
6,00	P13	0,4*6,8	2,72	0,40	1,40	4,00	7987	1,0	26	ø22,0	ø16,0	/15	52	302,22	14879,00	✓	0,72	3,23	5,96	9,88	2,5	✓
3,00	P13	0,4*6,8	2,72	0,40	1,40	4,00	6237	1,0	26	ø22,0	ø16,0	/15	52	302,22	14879,00	✓	0,57	3,23	5,96	9,88	2,5	✓

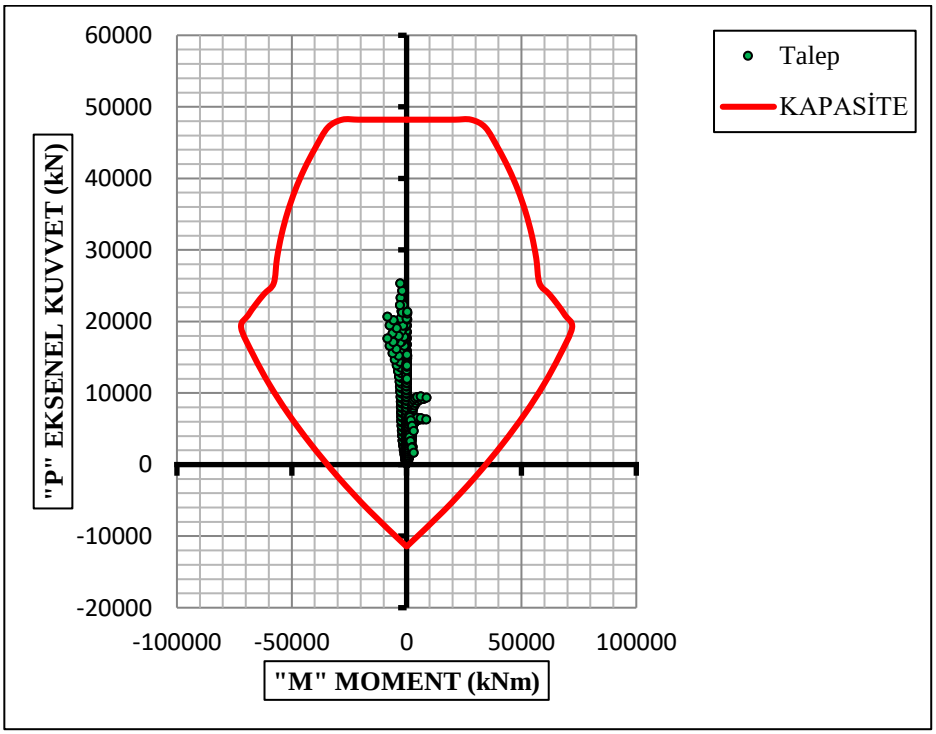
Şekil 5.14. P13 perdesi sürtünme kesmesi kontrolü

Perdelerde P-M-M kontrolü:

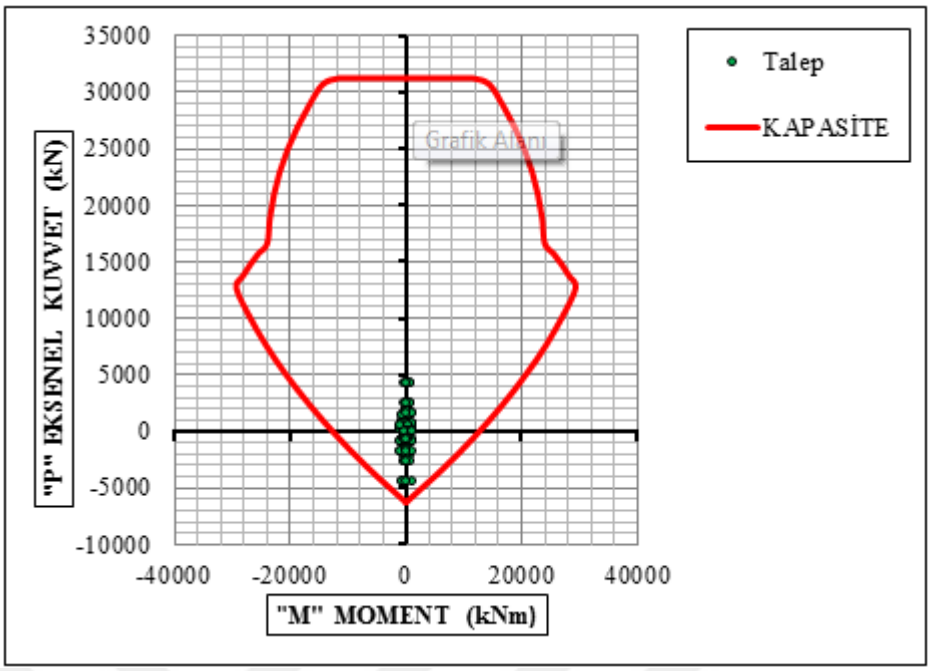
Perde kesitlerinde seçilen hcr ve kullanılan donatıların gerekli eğilme dayanımını sağlayıp sağlamadığını anlamak için karşılıklı etkileşim diyagramı çizdirilmiştir (Şekil 5.15, 5.16, 5.17).



Şekil 5.15. 24 katlı binada P01 perdesi P-M-M kontrolü



Şekil 5.16. 24 katlı binada P13 perdesi P-M-M kontrolü



Şekil 5.17. 24 katlı binada P17 perdesi P-M-M kontrolü

5.2.13. Betonarme bağ kiriş kesit hesabı

Bağ kirişli perdelerin tasarımı Bölüm 3.7.3.3'e göre yapılmıştır. Bu kapsamda öncelik olarak yapının bağ kirişe sahip olduğunun belirlenmesi için bağ derece katsayısının 0,33'ten büyük olup olmadığı kontrol edilmiştir. Binalarda 10'ar adet bağ kiriş bulunmaktadır (Şekil 5.1, 5.2, 5.3, 5.4). Bu bağ kirişlerin 6'sı x doğrultusunda olup, 4'ü y doğrultusundadır. Bağ derece katsayısının hesabı Denklem 4.13 ve Denklem 4.14 ile kontrol edilmiştir.

12 katlı yapıda:

Bağ kirişlerde oluşan kesme kuvvetleri

775 x 5,0 = 3875 kN

X doğrultusunda meydana gelen toplam moment

3875 + 1900 + 1900 = 7675 kNm

Ω = 3875 / (7675) = 0,51 > 0,33 √

Bağ kirişlerde oluşan kesme kuvvetlerinin toplanmasıyla elde edilen eksenel kuvvet

870 x 5,45 = 4742 kN

Y doğrultusunda meydana gelen toplam moment

4742 + 4500 + 2870 = 12112 kNm

Ω = 4742 / (12112) = 0,39 > 0,33 √

18 katlı yapıda:

Bağ kirişlerde oluşan kesme kuvvetleri

945 x 5,0 = 4725 kN

X doğrultusunda meydana gelen toplam moment

4725+ 2100 + 2100 = 8925 kNm

Ω = 4725 / (8925) = 0,54 > 0,33 √

Bağ kirişlerde oluşan kesme kuvvetleri

1030 x 5,45 = 5615 kN

Y doğrultusunda meydana gelen toplam moment

5615 + 4675 + 2750 = 13040 kNm

Ω = 5615 / (13040) = 0,43 > 0,33 √

24 katlı yapıda:

Bağ kirişlerde oluşan kesme kuvvetleri

1185 x 5,0 = 5925 kN

X doğrultusunda meydana gelen toplam moment

5925+ 2350 + 2350 = 10625 kNm

Ω = 5925 / (10625) = 0,57 > 0,33 √

Bağ kirişlerde oluşan kesme kuvvetleri

1400 x 5,45 = 7630 kN

Y doğrultusunda meydana gelen toplam moment

7630 + 5100 + 3100 = 14815 kNm

Ω = 7630 / (14815) = 0,49 > 0,33 √

Bağ kirişlerin donatılması:

Betonarme bağ kirişlerin açıklık / derinlik oranı çerçeve kirişlere göre daha azdır. Rijitlikleri yüksek yapı elemanlarıdır. Bağ kirişlerde kesme kuvveti eğilme momentine oranla daha yüksek olduğundan tasarım kesme kuvveti esas alınarak donatılandırma yapılmaktadır. Öncelikle betonarme bağ kirişler Denklem 3.21 ve 3.22'de verilen şartlara göre kontrol edilmiştir. Denklemlerde verilen şartın sağlanamaması durumunda bağ kirişlerdeki kesme kuvvetini ve kesme kuvvetinin oluşturduğu eğilme momentini karşılayacak şekilde çapraz donatılar kullanılacaktır. Çapraz donatıların toplam donatı alanı Denklem 3.22'ye göre belirlenecektir.

12 katlı yapıda:

l_n = 150 cm < 2 x 80 = 160 cm X

V_d = 775 kN < 1,5 x 0,8 x 0,4 x 1380 = 662 kN X

X doğrultusunda bağ kirişler yukarıda verilen iki şartı da sağlamadığı için çapraz donatı hesabı yapılacaktır.

A_{sd} = 775 / (2 x 365000 x sin 17,74^o) x 10^6 = 3485 mm^2 < (6∅28, 3696 mm^2) seçilmiştir.

l_n = 150 cm < 2 x 80 = 160 cm X

V_d = 870 kN < 1,5 x 0,8 x 0,4 x 1380 =662 kN X

Y doğrultusunda bağ kirişler yukarıda verilen iki şartı da sağlamadığı için çapraz donatı hesabı yapılacaktır.

A_{sd} = 870 / (2 x 365000 x sin 17,74^o) x 10^6 = 3911 mm^2 < (6∅30, 4242 mm^2) seçilmiştir.

Boyuna donatı: 3∅20

Enine donatı: 2∅10/10 (Çapraz donatı demetlerinde etriye kullanılacaktır.)

Gövde donatısı: 2x2∅12

18 katlı yapıda:

l_n = 150 cm < 2 x 80 = 160 cm X

V_d = 945 kN < 1,5 x 0,8 x 0,4 x 1380 = 662 kN X

X doğrultusunda bağ kirişler yukarıda verilen iki şartı da sağlamadığı için çapraz donatı hesabı yapılacaktır.

A_{sd} = 945 / (2 x 365000 x sin 17,74^o) x 10^6 = 4248 mm^2 < (8∅28, 4928 mm^2) seçilmiştir.

l_n = 150 cm < 2 x 80 = 160 cm X

V_d = 1030 kN < 1,5 x 0,8 x 0,4 x 1380 = 662 kN X

Y doğrultusunda bağ kirişler yukarıda verilen iki şartı da sağlamadığı için çapraz donatı hesabı yapılacaktır.

A_{sd} = 1030 / (2 x 365000 x sin 17,74^o) x 10^6 = 4630 mm^2 < (8∅30, 5664 mm^2) seçilmiştir.

Boyuna donatı: 3∅20, Gövde donatısı: 2x2∅12

Enine donatı: 2∅10/10 (Çapraz donatı demetlerinde etriye kullanılacaktır.)

24 katlı yapıda:

l_n = 150 cm < 2 x 80 = 160 cm X

V_d = 1185 kN < 1,5 x 0,8 x 0,4 x 1380 = 662 kN X

X doğrultusunda bağ kirişler yukarıda verilen iki şartı da sağlamadığı için çapraz donatı hesabı yapılacaktır.

A_{sd} = 1185 / (2 x 365000 x sin 17,74^o) x 10^6 = 5327 mm^2 < (8∅30, 5656 mm^2) seçilmiştir.

l_n = 150 cm < 2 x 80 = 160 cm X

V_d = 1400 kN < 1,5 x 0,8 x 0,4 x 1380 = 662 kN X

Y doğrultusunda bağ kirişler yukarıda verilen iki şartı da sağlamadığı için çapraz donatı hesabı yapılacaktır.

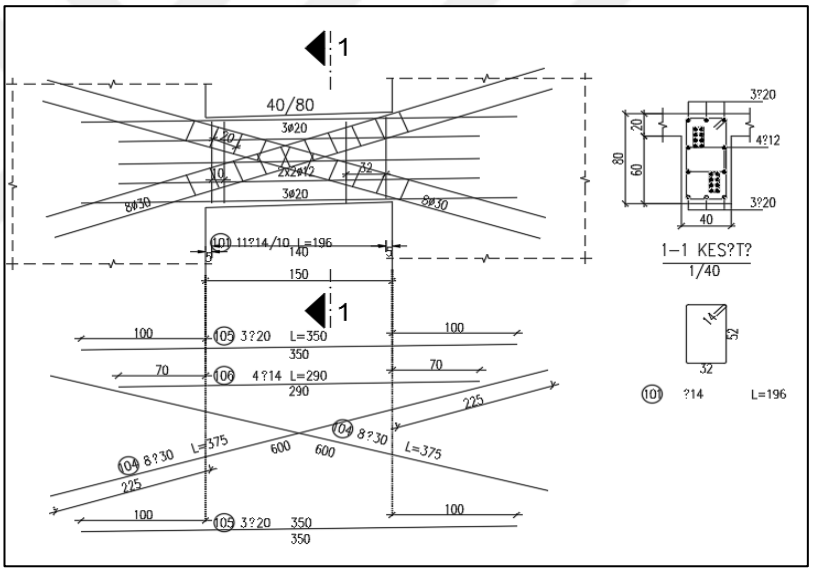
A_{sd} = 1400 / (2 x 365000 x sin 17,74^o) x 10^6 = 6299 mm^2 < (8∅32, 6432 mm^2) seçilmiştir.

Boyuna donatı: 3∅20

Bağ kiriş donatı demetlerinde 6'lı ve 8'li donatı demetleri kullanılarak çapraz donatılandırma yapılabilir. Kat yükseklikleri arttıkça kullanılan donatı adetleri ve donatı çapları da artmaktadır. Betonarme bağ kirişlerde kullanılan donatılar Tablo 5.29'da verilmiştir. Ayrıca 8 donatı adetli çapraz donatı demeti örnek detayı Şekil 5.18'de verilmiştir.

Tablo 5.29. Bağ kirişlerde kullanılan donatılar

Betonarme Bağ Kiriş				
Katlar	Kesit (cmxcm)	Çapraz Donatı	Enine Donatı	Boyuna Donatı
12 Kat	B40X80	**6Ø30**	2Ø10/10	3Ø20
18 Kat	B40X80	**8Ø28**	2Ø10/10	3Ø20
24 Kat	B40X80	**8Ø30**	2Ø10/10	3Ø20



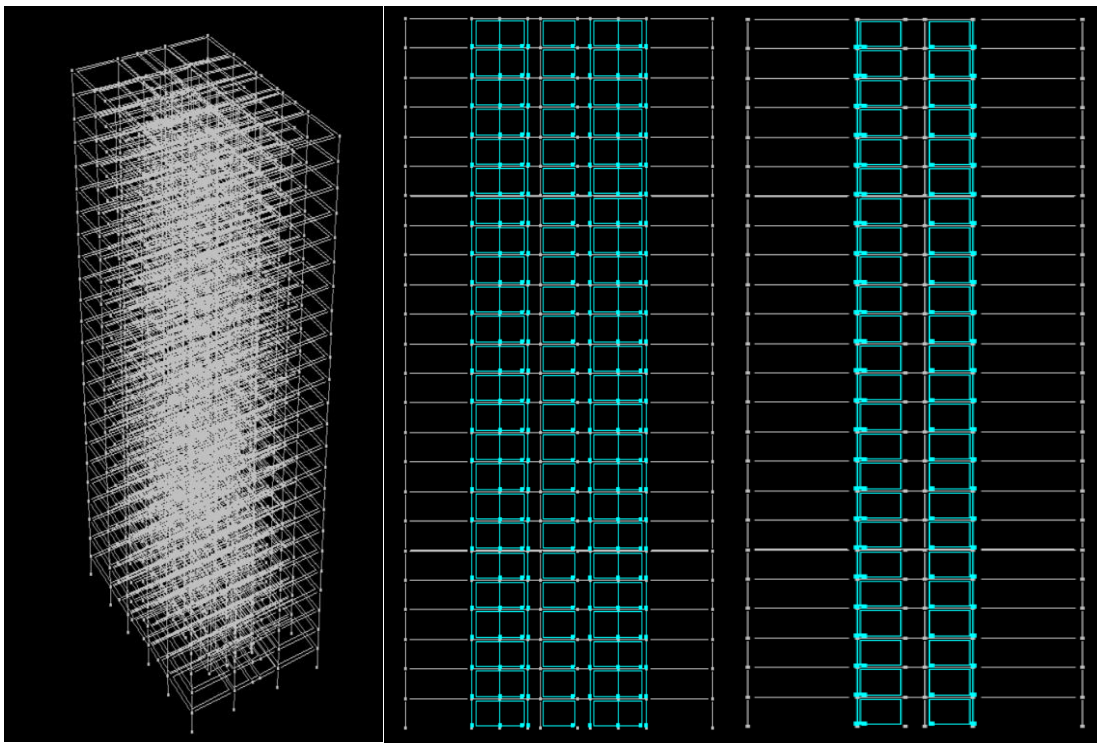
Şekil 5.18. Bağ kiriş detayı

6. İNCELENEN YAPILARIN DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZLERLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölüm kapsamında Bölüm 4'te anlatılan doğrusal olmayan tasarım aşamaları ve yüksek katlı yapılarda doğrusal olmayan tasarım anlatılmıştır. 12, 18, 24 katlı betonarme bağ kirişli yapıların ve 24 katlı çelik bağ kirişli yapının doğrusal olmayan analiz sonuç ve karşılaştırılmalarına yer verilmiştir.

6.1. Yapı Modelinin Oluşturulması

Doğrusal tasarımı ETABS programında yapılan binaların doğrusal olmayan tasarımları PERFORM 3D programıyla yapıldı. Binalar ETABS programından SAP2000 programına aktarıldı. Daha sonra SAP2000 programından PERFORM 3D programına aktarılarak sistem kurulmaya başlandı. Bina modellerinde yükler düğüm noktalarına tanımlandı. Tasarım aşamasında tüm yapı elemanları modellendi. 24 katlı binanın PERFORM 3D programındaki görünüşleri Şekil 6.1'de verilmektedir.



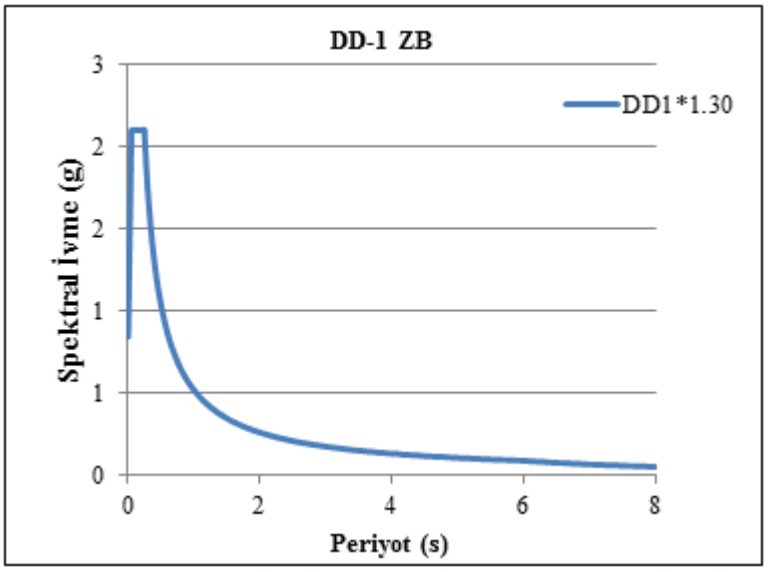
Şekil 6.1. 24 katlı binanın PERFORM 3D programındaki üç boyutlu ve kesit görünüşü

6.2. Deprem Etkisinin Tanımlanması ve Ölçeklendirme

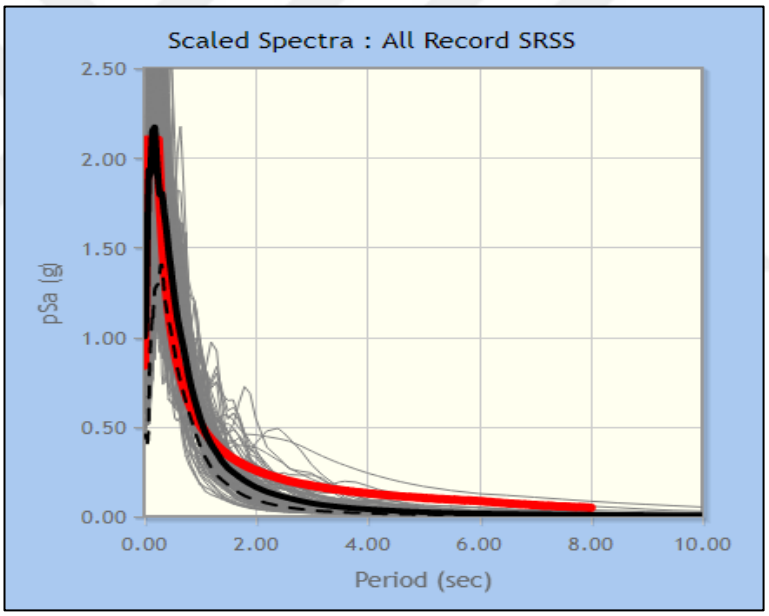
Deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirilmesi Bölüm 2.5'de açıklanmıştır. Zaman tanım alanında yapılacak olan analizlerde deprem seçimi için çeşitli parametreler mevcuttur. En az 11 deprem kullanılmalıdır. Kullanılan depremlerin binanın yapılacağı bölgeye göre verilen parametreleri sağlaması gerekmektedir. İstanbul'da yapılacak bir binaya etkitilecek deprem seçiminde kullanılan parametreler İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği'nden alınmıştır [34].

- Deprem büyüklüğü = 6,9 – 7,5 Mw olmalıdır.
- Yerel zemin koşulları = ZB - ZC olmalıdır.
- Kaynak mekanizması = Doğrultu atımlı fay olmalıdır.
- Aktif fay düzlemine uzaklık ≈ 15 km olmalıdır.

Seçilen deprem kayıtları, binaların yapıldığı yerden alınan spektral değerlerle ölçeklenmektedir. Bu spektral değerlerle oluşturulan spektruma hedef spektrumu denir. Hedef spektrumu Bölüm 5.1.2'deki verilere göre oluşturulacaktır. Bu spektrum DD1 deprem düzeyi ZB zemin sınıfı özelliklerine göre oluşturulacaktır. Tasarım spektrum değerlerinin DD1 deprem düzeyinde belirlenen spektrum değerlerinden en az 1,3 kat fazla olmalıdır. Deprem kayıtlarının ölçeklendirme aralığı yapı periyot değerlerinin 0,2 ve 1,5 katları arasında olacaktır.12, 18 ve 24 katlı binalarda bu işlemler tekrarlanarak 11 deprem ve ölçeklendirme katsayıları belirlenmiştir. Örnek olarak 24 katlı binanın hedef spektrumu Şekil 6.2'de verilmiştir. Hedef spektrumu ve verilen parametrelere göre seçilen depremlerin ölçeklendirilmesi Şekil 6.3'te verilmiştir.



Şekil 6.2. 24 katlı bina için hedef spektrumu



Şekil 6.3. Seçilen deprem kayıtlarının hedef spektrumu ile ölçeklendirilmesi

Seçilen depremler PEER Ground Motion Database veri bankasından alınmıştır [35]. Hedef spektrumuyla ölçeklendirilmiş deprem kayıtları ve özellikleri Tablo 6.1'de verilmiştir.

Tablo 6.1. Kullanılan depremler ve özellikleri

Kayıt	Deprem	İstasyon	Mw	Faylanma	Zemin Sınıfı	Deprem Süre (s)	Ölçek Katsayısı
K1	Landers	Barstow	7,28	DA(1)	ZC	40	**1,95**
K2	Landers	Featherly Park - Maint	7,28	DA(1)	ZC	44	**4,05**
K3	Kocaeli	Arcelik	7,51	DA(1)	ZC	30	**2,64**
K4	Kocaeli	Mecidiyekoy	7,51	DA(1)	ZC	44	**5,31**
K5	Düzce	Lamont-1061	7,14	DA(1)	ZC	42,23	**4,25**
K6	Düzce	Mudurnu	7,14	DA(1)	ZC	28,825	**4,59**
K7	Hector Mıne	Amboy	7,13	DA(1)	ZC	60	**1,38**
K8	Hector Mıne	San Bernardino	7,13	DA(1)	ZC	38	**5,46**
K9	Darfield	LPCC	7	DA(1)	ZC	53,625	**2,19**
K10	Darfield	LSRC	7	DA(1)	ZC	81,92	**2,91**
K11	El Mayor	Ocenside-Fire Station	7,2	DA(1)	ZC	78,08	**7,98**

6.3.Yapı Performans Hedefi

Şekil 4.1.1'e göre yapının performans hedefi; DD-3 ve DD-4 deprem düzeyi altında kesintisiz kullanım, DD-2 deprem düzeyi altında kontrollü hasar ve DD-1 deprem düzeyi altında göçmenin önlenmesi olarak belirlenmiştir.

12 ve 18 katlı yapılarda ileri deprem düzeyinde göçmenin önlenmesi şartının uygulanabilmesi için gereken özellikleri sağlamasa da, tez kapsamında bina yüksekliklerinin artması sonucu kesit değişimleri kontrol edildiğinden bu yapılarda DD1 depreminde göçmenin önlenmesi sınırına göre kontroller gerçekleşmiştir. Bir alt sınır olan kontrollü hasar sınırıda kontrol aşamalarında gösterilmektedir. Bu hesap yönteminde şekildeğiştirmeye göre tasarım ilkeleri uygulanarak kontroller tamamlanacaktır.

Kesintisiz kullanım performans hedefi için yapılan hesaplamalarda dayanıma göre tasarım yaklaşımı kullanılmıştır. Bu performans seviyesinde yapılan hesap, göçmenin önlenmesi seviyesinde yapılacak hesap için ön tasarım olarak kabul edilmiştir.

6.4.Yapı Malzeme Özellikleri ve Diğer Parametreler

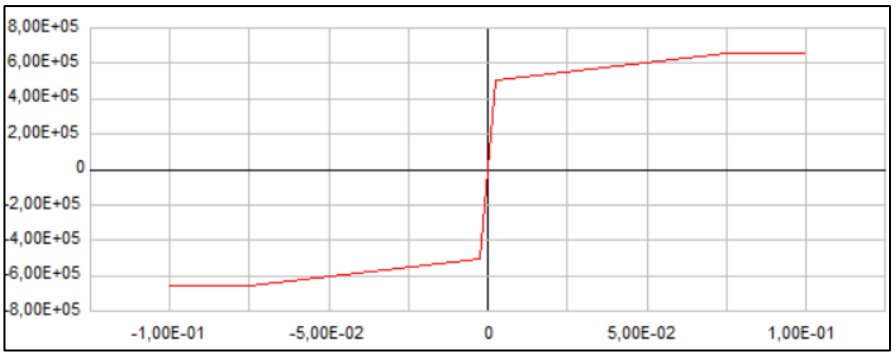
Bu bölüm kapsamında binalarda kullanılan malzemelerin özellikleri, modellemede kullanılan sönüm ve etkin rijitlik katsayıları anlatılacaktır.

6.4.1. Yapı malzeme özellikleri

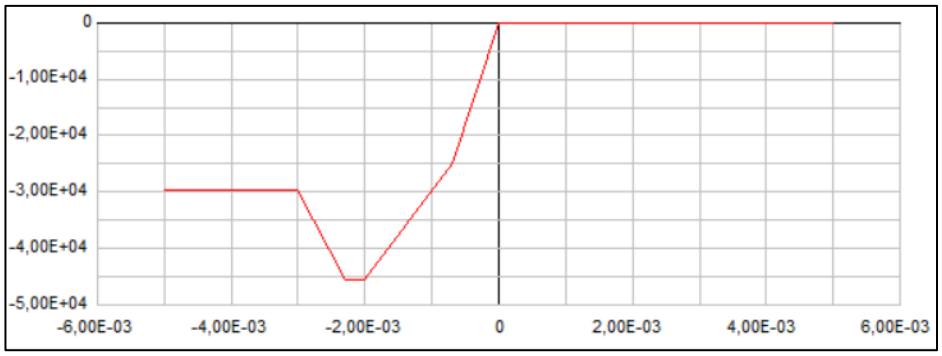
Doğrusal olmayan hesaplamalarda malzemelerin karakteristik dayanımları yerine beklenen dayanımları kullanılacaktır. Kullanılan malzemelerin ortalama dayanımları Tablo 4.2'ye göre hesaplanmıştır. 12, 18, 24 katlı binalarda aynı beton sınıfı ve donatı çeliği kullanılmıştır. 24 katlı çelik bağ kirişli binada ise yapı çeliği S275 olarak belirlenmiştir.

Beton Sınıfı	: C35	f_{ce} = 45500 kN/m^2
Elastisite Modülü	: C35	E = 35922 N/mm^2
Kayma Modülü	: C35	G = 14369 N/mm^2
Donatı Sınıfı	: B420C	f_{ye} = 504000 kN/m^2
Yapı Çeliği	: S275	f_{ye} = 357500 kN/m^2

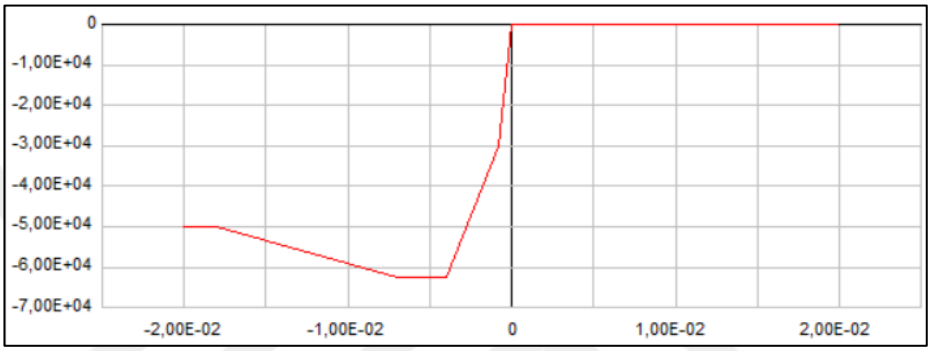
Sargılı ve sargısız beton modelleri, doğrusal olmayan tasarımda kullanılan donatı çeliği modeli için TBDY 2018 EK 5A kullanılmıştır. Donatı oranlarının farklı olması ve kesit değişimlerinden dolayı farklı beton modelleri oluşturulmuştur. Şekil 6.4 ve Şekil 6.5 ve 6.6'da donatı çeliği ve beton modellinin sargılı ve sargısız durumları gösterilmiştir. Doğrusal olmayan tasarım aşamasında kullanılan ortalama malzeme dayanımı görselleri 24 katlı yapıya ait örnekleridir.



Şekil 6.4. Binalarda kullanılan ortalama donatı çeliği σ- ε grafiği



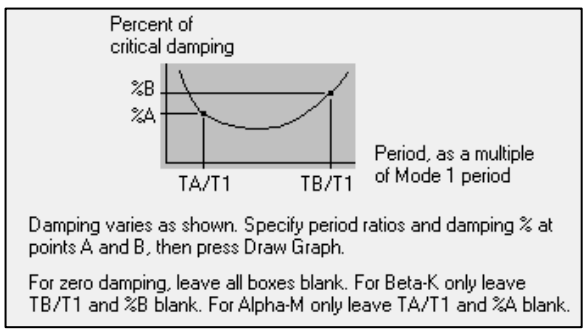
Şekil 6.5. 24 katlı binada kullanılan sargısız beton modeli σ- ε grafiği



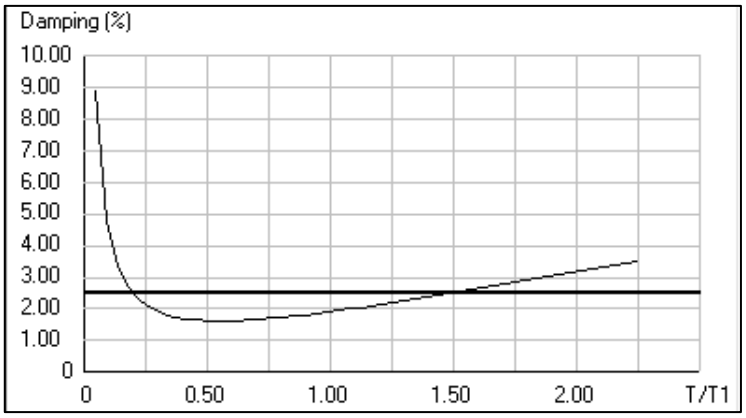
Şekil 6.6. 24 katlı binada kullanılan sargılı beton modeli σ-ε grafiği

6.4.2. Sönüm modeli

Bina sönümünde Rayleigh sönümü kullanılmıştır. Rayleigh sönüm oranı %2,5 olarak alınmıştır. Sönüm modelinin yapısal eleman rijitlikleriyle orantılı kısmı (T/T1)=0,2 olarak tanımlanmıştır. Periyot değeri bu değerden küçük olduğunda sönüm artmakta, periyot arttıkça sönüm belli bir değere kadar azalmaktadır. Bu değerden sonra sönüm tekrar artmaya başlamaktadır. Sönüm modelinin yapının kütlesiyle ilgili kısmı (T/T1)=1,5 olarak tanımlanmıştır. 0,2 – 1,5 (T/T1) aralığında sönüm %2,5 olmak üzere sabit alınmıştır. Sönüm parametleri Şekil 6.7 ve 6.8'de verilmiştir.



Şekil 6.7. Sönüm parametreleri



Şekil 6.8. Rayleigh sönüm oranı

6.4.3. Etkin kesit rijitliği hesabı

Bina eleman kesitlerinde etkin kesit rijitliği hesabı Bölüm 4.1.3.2'de gösterilmiştir. Kolon, kiriş ve bağ kiriş elemanları çubuk eleman olarak, perde elemanları kabuk eleman olarak modellenmiştir. Modelleme yönteminden yola çıkarak Denklem 4.1 ve 4.2'e göre hesaplar yapılmıştır.

Kolonlar için etkin kesit rijitliği hesabı:

Binalarda bulunan 80x80, 90x90 ve 110x110 kesitleri için etkin kesit rijitliği hesabı aşağıda sırasıyla gösterilmektedir. Kullanılan eğrilik değerleri SAP2000 section designer kısmından oluşturulan kesit verilerinden alınmıştır.

80x80 kolonunda:

$$\theta_y = \frac{0{,}0022\times 1{,}50}{3} + 0{,}0015 \times 1\left(1+ 1{,}5 \times \frac{0{,}8}{1{,}50}\right) + \frac{0{,}0022\times 0{,}018\times 504}{8\times\sqrt{45{,}5}} = 0{,}0042 \text{ rad}$$

$$(EI)_e = \frac{2214}{0{,}0042}\times\frac{1{,}50}{3} = 263571 \text{ kNm}^2 = \frac{263571}{1760000} = 0{,}15 \text{ 'dir}$$

90x90 kolonunda:

$$\theta_y = \frac{0{,}0035\times 1{,}50}{3} + 0{,}0015\times 1\left(1+1{,}5\times\frac{0{,}9}{1{,}50}\right) + \frac{0{,}0035\times 0{,}020\times 504}{8\times\sqrt{45{,}5}} = 0{,}0047 \text{ rad}$$

$$(EI)_e = \frac{4056}{0{,}0053}\times\frac{1{,}50}{3} = 383640 \text{ kNm}^2 = \frac{383640}{1804275} = 0{,}21 \text{ 'dir}$$

110x110 kolonunda:

$$\theta_y = \frac{0{,}00285\times 1{,}50}{3} + 0{,}0015\times 1\left(1+1{,}5\times\frac{1{,}1}{1{,}50}\right) + \frac{0{,}00285\times 0{,}020\times 504}{8\times\sqrt{45{,}5}} = 0{,}0051 \text{ rad}$$

$$(EI)_e = \frac{7259}{0{,}0051} \times \frac{1{,}50}{3} = 711667\ \text{kNm}^2 = \frac{711667}{12200833} = 0{,}06'\text{dır.}$$

Kirişler için etkin kesit rijitliği hesabı:

Binalarda bulunan çerçeve kirişler aynı kesite sahip ve 60x60'dır. İç akslarda bulunan 60x60'lık kirişin etkin rijitlik hesabı aşağıda gösterilmiştir.

60x60 kirişinde:

$$\theta_y = \frac{0{,}0047 \times 4}{3} + 0{,}0015 \times 1\left(1 + 1{,}5 \times \frac{0{,}6}{4}\right) + \frac{0{,}0047 \times 0{,}022 \times 504}{8 \times \sqrt{45{,}5}} = 0{,}0091\ \text{rad}$$

$$(EI)_e = \frac{400}{0{,}0091} \times \frac{4}{3} = 58610\ \text{kNm}^2 = \frac{58610}{356400} = 0{,}16'\text{dır.}$$

Bağ kirişler için etkin kesit rijitliği hesabı:

Binalarda bulunan betonarme bağ kirişler aynı kesite sahip ve 40x80'dir. Kritik bağ kiriş kesitinde etkin rijitlik hesabı aşağıda verilmiştir. Kullanılan çapraz donatılar hesaplara dahil edilmiştir.

40x80 kirişinde:

$$\theta_y = \frac{0{,}004 \times 0{,}75}{3} + 0{,}0015 \times 1\left(1 + 1{,}5 \times \frac{0{,}8}{1{,}5}\right) + \frac{0{,}004 \times 0{,}028 \times 504}{8 \times \sqrt{45{,}5}} = 0{,}00475\ \text{rad}$$

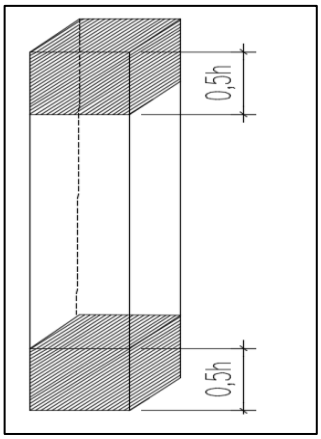
$$(EI)_e = \frac{1200}{0{,}00475} \times \frac{0{,}75}{3} = 63158\ \text{kNm}^2 = \frac{63158}{563200} = 0{,}11'\text{dir.}$$

6.5. Kesit tanımlamaları ve sınır değerler

Bu bölümde yapılarda kullanılan elemanların modelleme yöntemine değinilmiştir. Ayrıca yayılı ve yığılı modelleme yöntemleri kullanılarak oluşturulan plastik mafsal yerleri ve dönme sınırları hesaplanmıştır.

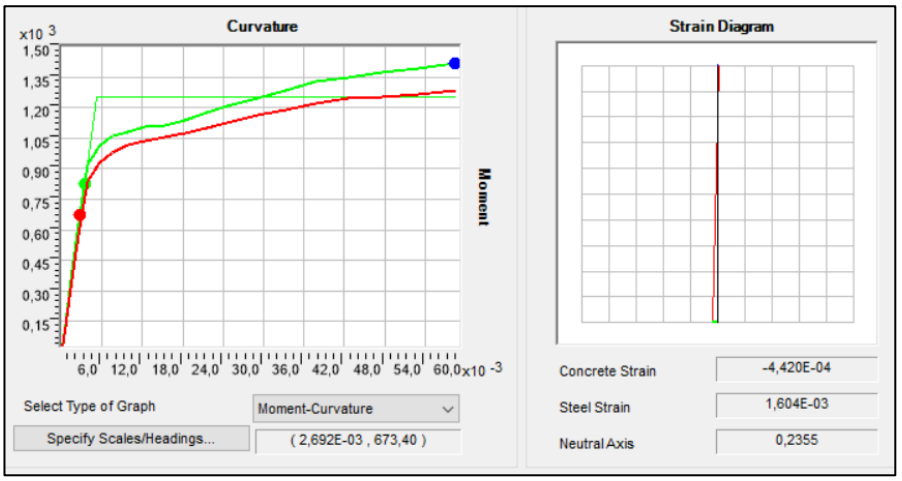
6.5.1. Kolonların modellenmesi ve sınır değerler

Yapılarda kullanılan kolonlar çubuk eleman olarak tasarlanmıştır. Çubuk elemanlarda plastik mafsallar Bölüm 4.1.2.1'de anlatıldığı gibi belirlenen bölgede yığılmalar meydana getirerek oluşur. Plastik mafsal boyu çalışan doğrultudaki kesit boyunun yarısına eşit alınmıştır (Şekil 6.9).



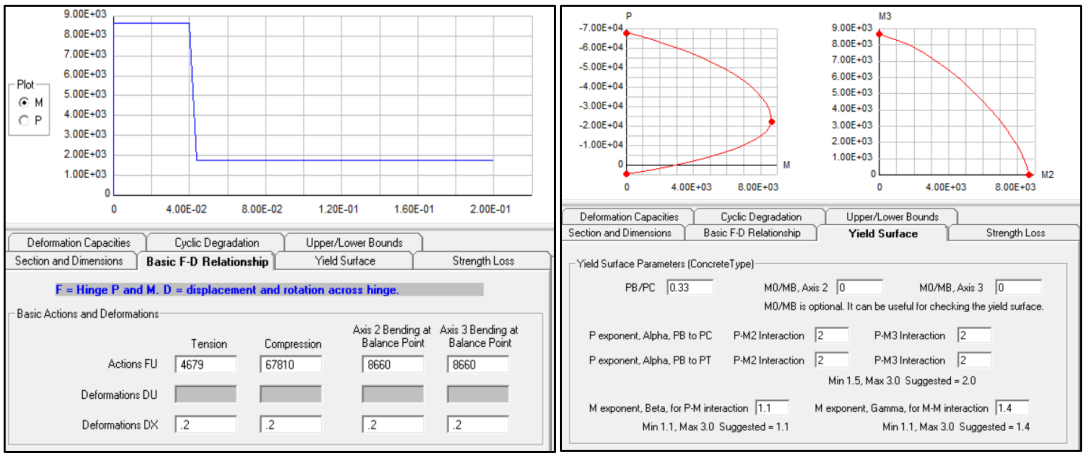
Şekil 6.9. Plastik mafsal bölgeleri

Kolonlar için dönme sınır değerleri Denklem 4.7'ye göre hesaplanmıştır. 110x110 kolonu için tipik örnek aşağıda verilmiştir. Tüm kolonların dönme sınır değerleri Tablo 6.2'de görülmektedir. Kolonlar için alınan eğrilik değerleri SAP2000 section designer kısmında oluşturulan moment-eğrilik değerlerinden alınmıştır (Şekil 6.10). Eğrilik değerleri mafsal boyuyla çarpılarak dönmeye çevrilmiş olup hesaplamalara dahil edilmiştir.



Şekil 6.10. Moment eğrilik grafiği

Kolonlarda için moment eğrilik grafiğinden alınan değerler PERFORM 3D programına girilerek kolonların yığılı mafsal modelleri oluşturulmuştur. 24 katlı binadaki kolonların temsili moment-dönme ve P-M diyagramı Şekil 6.11'de verilmiştir.



Şekil 6.11. 110 x 110 kolonunun moment-dönme ve eksenel kuvvet-moment grafiği

Seçilen donatı : 24Ø22 - 4Ø12/10

Plastik mafsal boyu = 0,80/2 =0,40 m

Kesme açıklığı = 3,00/2 =1,50 m

Akma eğriliği = 0,004 1/m

Kopma eğriliği = 0,061 1/m

$$\theta_p^{(GÖ)} = \frac{2}{3}\left[(0{,}061 - 0{,}004) \times 0{,}40\left(1 - 0{,}5\,\frac{0{,}40}{1{,}50}\right) + 4{,}5 \times 0{,}022 \times 0{,}061\right]$$

= 0,017 rad

Tablo 6.2. Kolon dönme sınırları

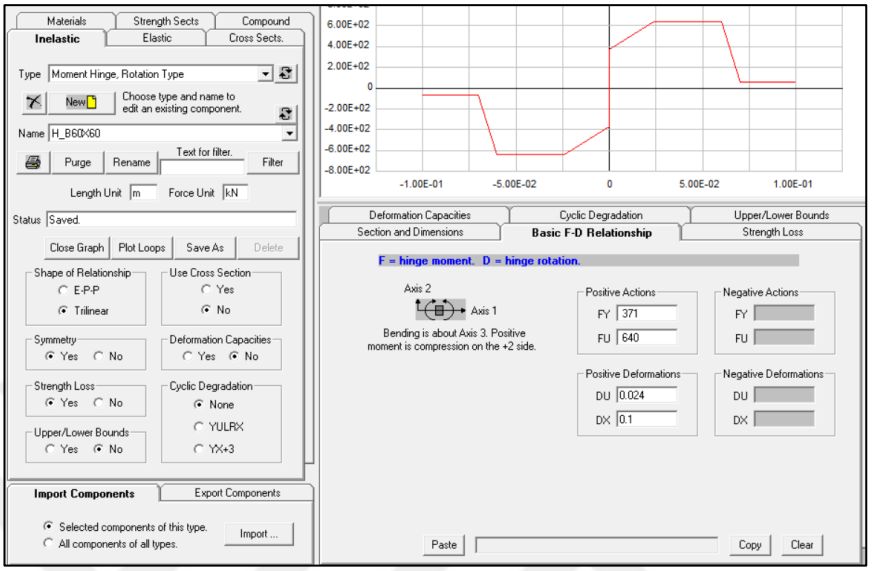
Yapı Katları	Kolon Boyut(cmxcm)	Seçilen donatı	Plastik Mafsal boyu (cm)	Akma ve Kopma Eğriliği	Dönme Sınır Değeri
12 Kat	80x80	24ø22-4ø12/10	40	0,004-0,061	0,017
18 Kat	90x90	26ø20-5ø12/10	45	0,0035-0,053	0,017
24 Kat B.B.K.*	110x110	39ø20-7ø12/10	55	0,00284-0,049	0,017
24 Kat Ç.B.K.*	110x110	39ø20-7ø12/10	55	0,00284-0,049	0,017

* B.B.K. terimi betonarme bağ kirişli yapı, Ç.B.K. terimi çelik bağ kirişli yapı için kullanılmıştır.

6.5.2. Kirişlerin modellenmesi ve sınır değerler

Yapılarda kullanılan kirişler çubuk eleman olarak tasarlanmıştır. Çubuk elemanlarda plastik mafsallar Bölüm 4.1.2.1'de belirtilmiştir. Kolonlarda yapılan işlemler kiriş için tekrarlanacaktır. Plastik mafsallar, kirişlerin mesnet bölgelerinde tanımlanacağı için hesaplamalarda kesitte negatif moment oluşacağı düşünülmüştür. Açıklık

ortasında, kiriş kesitlerinin pozitif moment altında doğrusal elastik kalacağı kabul edilmiştir. 24 katlı betonarme bağ kirişli betonarme binada bulunan çerçeve kirişin mafsal modeli Şekil 6.12'de gösterilmiştir.



Şekil 6.12. 60 x 60 kirişinin kuvvet-deformasyon ilişkisi grafiği

Seçilen alt-üst-ilave ve enine donatı: 5Ø22 - 5Ø16 - 4Ø20 - 4Ø10/10

Plastik mafsal boyu = 0,60/2 = 0,30 m

Kesme açıklığı = 8,00/2 = 4,00 m

Akma eğriliği = 0,0047 1/m

Kopma eğriliği = 0,22 1/m

$$\theta_p^{(GÖ)} = \frac{2}{3}\left[(0{,}19 - 0{,}0057) \times 0{,}30\left(1 - 0{,}5\frac{0{,}30}{4{,}00}\right) + 4{,}5 \times 0{,}19 \times 0{,}016\right]$$

= 0,067 rad

6.5.3. Perdelerin modellenmesi ve sınır değerler

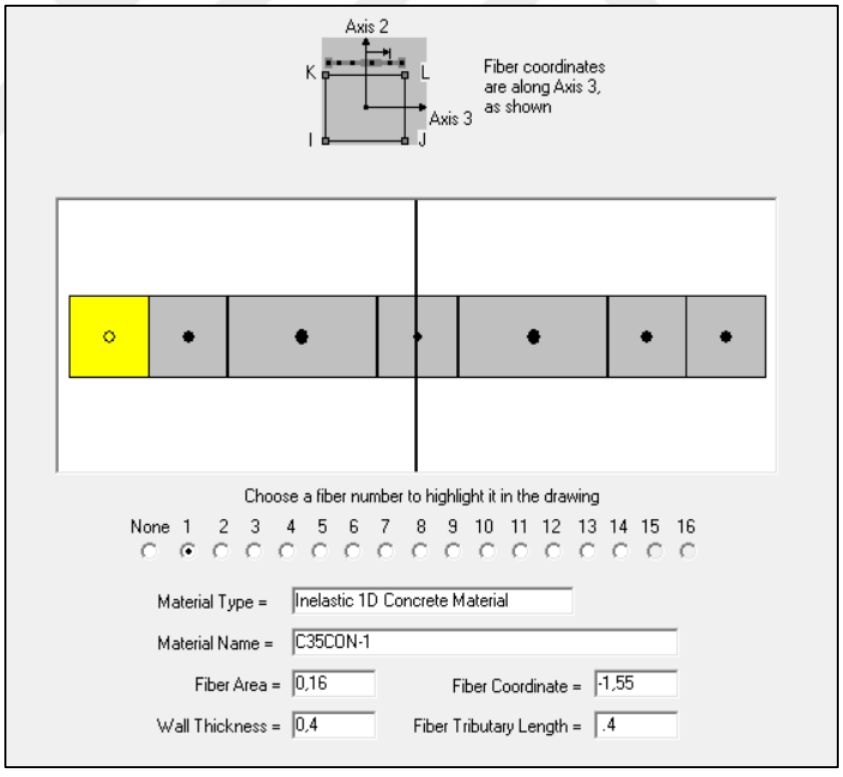
Yapılarda kullanılan perdeler kabuk eleman olarak modellenmiştir. Perde elemanları yayılı plastik mafsal yaklaşımı altında fiber elemanlar olarak modellenmiştir. Kesitlerin talep ettiği donatılar oluşturulan beton hücre kesitlerinin içerisine yerleştirilerek kesitler tanımlanmıştır. Bu kesitlerin donatı beton hücre alanları ve donatı alanları girilerek sistem perdeleri oluşturulmuştur. Perde uç bölgeleri H_{cr} ve $H_{crüstü}$ olarak iki farklı sargılı beton modeliyle tanımlanmıştır. Perde gövde bölgesinde ise sargısız beton modeli kullanılmıştır. PERFORM 3D programıyla

oluşturulan perdelerin hücre kesit tanımlaması Şekil 6.13'te verilmiştir. Ayrıca lif hücre modeli Şekil 6.14'te gösterilmektedir.

STRUCTURAL FIBER LIST (MAX 16) Click a fiber to highlight it for Insert, Replace or Delete. Double-click a fiber to set up its properties for editing.

No.	Type	Name	Coordinate	Area	T-Draw
1	Inelastic 1D Concrete Material	C35CON-1	-1,55	0,16	0,4
2	Inelastic 1D Concrete Material	C35CON-1	-1,15	0,16	0,4
3	Inelastic 1D Concrete Material	C35UNCON	-0,58	0,3	0,4
4	Inelastic 1D Concrete Material	C35UNCON	0	0,16	0,4
5	Inelastic 1D Concrete Material	C35UNCON	0,58	0,3	0,4
6	Inelastic 1D Concrete Material	C35CON-1	1,15	0,16	0,4
7	Inelastic 1D Concrete Material	C35CON-1	1,55	0,16	0,4
8	Inelastic Steel Material, Non-Bi	DONATI	-1,55	0,0025	
9	Inelastic Steel Material, Non-Bi	DONATI	-1,15	0,0025	
10	Inelastic Steel Material, Non-Bi	DONATI	-0,58	0,003	
11	Inelastic Steel Material, Non-Bi	DONATI	0	0,001	
12	Inelastic Steel Material, Non-Bi	DONATI	0,58	0,003	
13	Inelastic Steel Material, Non-Bi	DONATI	1,15	0,0025	
14	Inelastic Steel Material, Non-Bi	DONATI	1,55	0,0025	

Şekil 6.13. P01 perdesinin PERFORM 3D programında hücre kesiti tanımlanması



Şekil 6.14. P01 perdesi PERFORM 3D programında fiber modeli

Perdelerin birim şekil değiştirme hesapları Denklem 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 kullanılarak beton ve donatı çeliği için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Perde kesitleri tüm binalarda aynı boyutta olduğundan P01 perdesi için genel hesaplamalar yapılmıştır. Perde kritik kat ve üstü olarak iki aşamada hesaplanmıştır. Ayrıca PERFORM 3D programında perde uçlarındaki uzama kısalmaları okumak için perde uçlarına axial strangage elemanları tanımlanmıştır.

Perde kritik kat (40x80):

$$a_{se} = \left(1 - \frac{4 \times 120^2 + 240^2}{6\times\ 760 \times 320}\right)\left(1 - \frac{100}{2 \times 760}\right)\left(1 - \frac{100}{2 \times 320}\right) = 0{,}66$$

$$\rho_{sh} = \frac{6 \times 78}{760 \times 100} = 0{,}0062$$

$$\omega_{we} = 0{,}66 \times 0{,}0062 \times \frac{504}{45{,}5} = 0{,}047$$

$$\varepsilon_c^{(GÖ)} = 0{,}0035 + 0{,}04\sqrt{0{,}0470} = 0{,}0013 \leq 0{,}0018$$

$$\varepsilon_s^{(GÖ)} = 0{,}4 \text{ x } 0{,}08 = 0{,}03$$

Perde kritik kat üstü (40x50):

$$a_{se} = \left(1 - \frac{3\times120^2+2\times240^2}{6\times460\times320}\right)\left(1 - \frac{200}{2\times460}\right)\left(1 - \frac{200}{2\times320}\right) = 0{,}1$$

$$\rho_{sh} = \frac{5 \times 78}{760 \times 200} = 0{,}00257$$

$$\omega_{we} = 0{,}1 \times 0{,}00257 \times \frac{504}{45{,}5} = 0{,}00285$$

$$\varepsilon_c^{(GÖ)} = 0{,}0035 + 0{,}04\sqrt{0{,}00285} = 0{,}0006 \leq 0{,}0018$$

$\varepsilon_s^{(GÖ)} = 0{,}4 \text{ x } 0{,}08 = 0{,}032$ şeklindedir.

6.5.4. Bağ kirişlerin modellenmesi ve sınır değerler

6.5.4.1. Betonarme bağ kirişlerin modellenmesi ve sınır değerler

Betonarme bağ kirişleri doğrusal olmayan analiz modelinde çerçeve kirişleri gibi moment (M3) mafsalı ile tanımlanmıştır. Betonarme bağ kiriş modelleri ASCE 41-13 yönetmeliğine başvurularak modellenmiştir. Bağ kiriş sonuçlarını PERFORM 3D

programında okumak için perdeler arasında bağ kirişleri destekleyecek rijitlikleri yüksek embedded kirişler tanımlanmıştır. Yönetmelik kapsamında bağ kiriş modelleri verilen sınır değerler üzerinden kurulmuştur. Moment dönme grafiği belirlenen sınır değerlere göre tanımlanmıştır (Şekil 6.15).

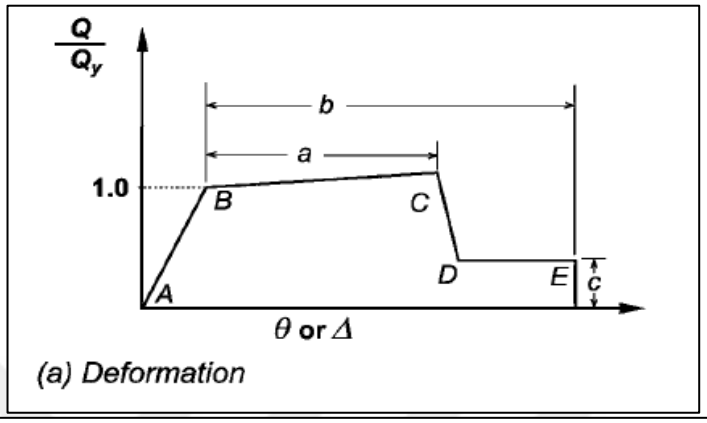


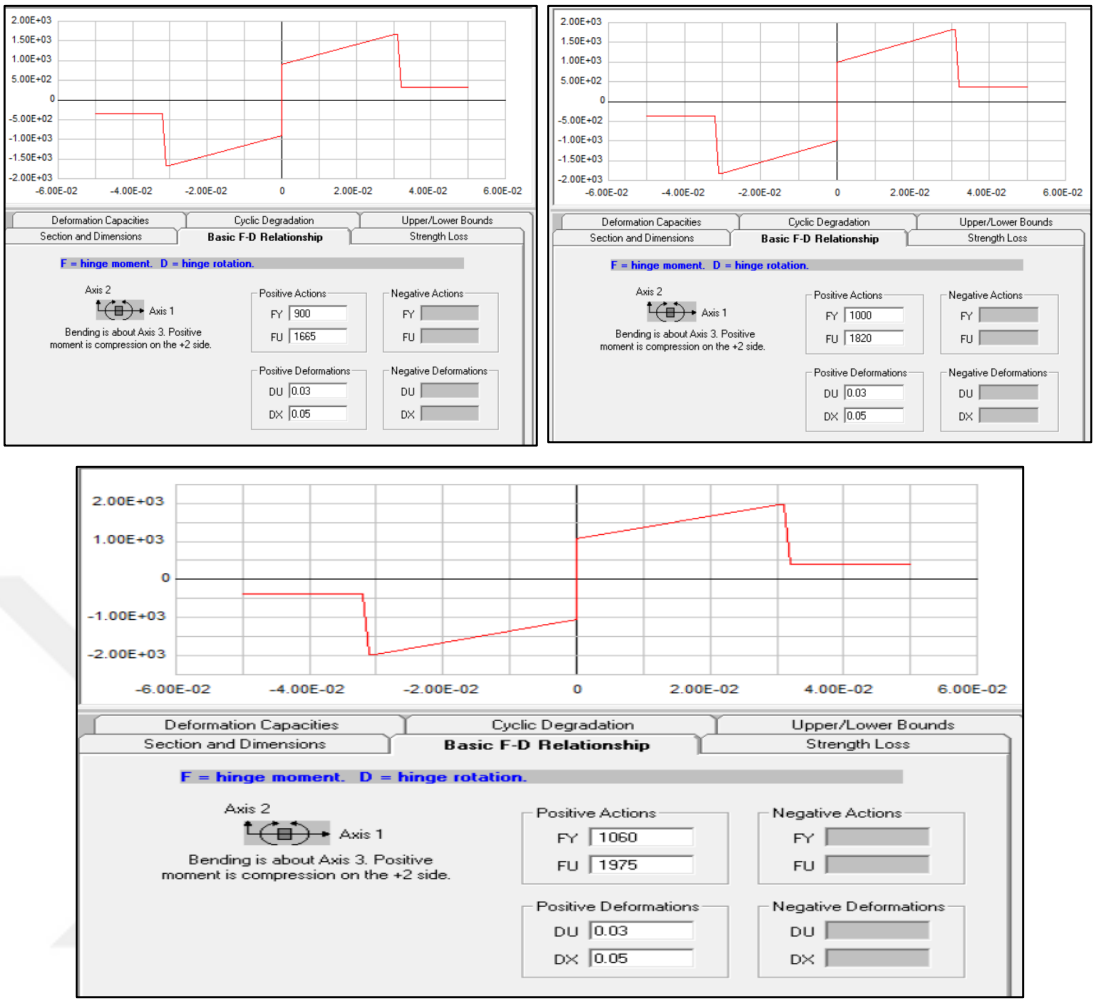
Table 10-19. Modeling Parameters and Numerical Acceptance Criteria for Nonlinear Procedures—R/C Shear Walls and Associated Components Controlled by Flexure

Conditions			Plastic Hinge Rotation (radians)		Residual Strength Ratio	Acceptable Plastic Hinge Rotation[a] (radians)		
						Performance Level		
			a	b	c	IO	LS	CP
i. Shear walls and wall segments								
$\frac{(A_s - A_s')f_y + P}{t_w l_w f_c'}$	$\frac{V}{t_w l_w \sqrt{f_c'}}$	Confined Boundary[b]	0.015					
≤0.1	≤4	Yes	0.010	0.020	0.75	0.005	0.015	0.020
≤0.1	≥6	Yes	0.009	0.015	0.40	0.004	0.010	0.015
≥0.25	≤4	Yes	0.005	0.012	0.60	0.003	0.009	0.012
≥0.25	≥6	Yes	0.008	0.010	0.30	0.0015	0.005	0.010
≤0.1	≤4	No	0.006	0.015	0.60	0.002	0.008	0.015
≤0.1	≥6	No	0.003	0.010	0.30	0.002	0.006	0.010
≥0.25	≤4	No	0.002	0.005	0.25	0.001	0.003	0.005
≥0.25	≥6	No	0.002	0.004	0.20	0.001	0.002	0.004
ii. Shear wall coupling beams[c]								
Longitudinal reinforcement and transverse reinforcement[d]	$\frac{V}{t_w l_w \sqrt{f_c'}}$			0.050				
Conventional longitudinal reinforcement with conforming transverse reinforcement	≤3		0.025	0.040	0.75	0.010	0.025	0.050
	≥6		0.020	0.035	0.50	0.005	0.020	0.040
Conventional longitudinal reinforcement with nonconforming transverse reinforcement	≤3		0.020	0.025	0.50	0.006	0.020	0.035
	≥6		0.010	0.050	0.25	0.005	0.010	0.025
Diagonal reinforcement	NA		0.030	0.050	0.80	0.006	0.030	0.050

[a]Linear interpolation between values listed in the table shall be permitted.
[b]A boundary element shall be considered confined where transverse reinforcement exceeds 75% of the requirements given in ACI 318 and spacing of transverse reinforcement does not exceed $8d_b$. It shall be permitted to take modeling parameters and acceptance criteria as 80% of confined values where boundary elements have at least 50% of the requirements given in ACI 318 and spacing of transverse reinforcement does not exceed $8d_b$. Otherwise, boundary elements shall be considered not confined.
[c]For coupling beams spanning <8 ft 0 in., with bottom reinforcement continuous into the supporting walls, acceptance criteria values shall be permitted to be doubled for LS and CP performance.
[d]Conventional longitudinal reinforcement consists of top and bottom steel parallel to the longitudinal axis of the coupling beam. Conforming transverse reinforcement consists of (a) closed stirrups over the entire length of the coupling beam at a spacing ≤ $d/3$, and (b) strength of closed stirrups $V_s \geq 3/4$ of required shear strength of the coupling beam.

Şekil 6.15. ASCE 41-13'e göre bağ kiriş model parametreleri [22]

Bina yüksekliğinin artması bağ kirişlerde kullanılan çapraz donatı demetlerinin sayılarını ve çaplarını arttırmıştır. Bağ kiriş mafsal modellemeleri yapılırken donatı artışı sonucunda ortaya çıkan kuvvet-deformasyon farklılıkları tasarıma dahil edilmiştir. Şekil 6.14'te göre PERFORM 3D programında bağ kiriş mafsalları modellenmiştir. 3 binada kullanılan bağ kiriş mafsal modelleri Şekil 6.16'da gösterilmiştir.



Şekil 6.16. 12, 18, 24 katlı binada betonarme bağ kiriş için kullanılan σ-ε mafsal modelleri

6.5.4.2. Çelik bağ kirişlerin modellenmesi ve sınır değerler

24 katlı betonarme bağ kirişli binadaki bağ kirişlerde bulunan diyagonal donatının, kat yüksekliğinin artmasıyla artması donatının kesite yerleşimini zorlaştırmaktadır. Alternatif olarak düşünülen ve EK 5C.4.'de verilen bilgiye göre betonarme bağ kiriş kesitinin eğilme rijitliğinin %60'ı alınarak çelik bağ kiriş kesiti belirlenmiştir (Tablo 6.3). 24 katlı çelik bağ kirişlere gelen kesme kuvveti 13 ve 14. katlarda çelik bağ kirişin kesme kapasitesini aşmaktadır. Bu nedenle bu katlarda çelik profil takviye edilerek kullanılabilir.

Tablo 6.3. Çelik bağ kiriş rijitliği

BA Bağ Kiriş	EI (kNm^2)	0,15EI (kNm2)	Çelik Bağ Kiriş	EI (kNm2)	0,6EI (kNm2)
40x80	615600	92340	HE450B	160000	96000

Çelik bağ kiriş plastik dönme sınırları Tablo 5C.'de verilmiştir (Şekil 6.17).

Eleman Tipi	Plastik Dönme Sınırları [rad]		
	SH	KH	GÖ
Çelik Bağ Kirişi			
$e \le 1.6\frac{M_{pe}}{V_{ye}}$	0.005	0.12	0.15
$e \ge 2.6\frac{M_{pe}}{V_{ye}}$	**Tablo 5C.1**'deki çelik kirişler ile aynıdır.		
$1.6\frac{M_{pe}}{V_{ye}} < e < 2.6\frac{M_{pe}}{V_{ye}}$	Doğrusal enterpolasyon yapılacaktır.		

Şekil 6.17. Çelik bağ kiriş dönme sınırları

Çelik bağ kiriş dönme sınır kontrolü aşağıda verilmiştir.

$V_{ye} = 0{,}6\ F_y\ A_w$ (6.1)

$M_{pe} = F_y\ W_p$ (6.2)

$V_{ye} = 0{,}6 \times 275 \times 1{,}3 \times 450 \times 14 \times 10^{-3} = 1352$ kN

$M_{pe} = 275 \times 1{,}3 \times 3982\ cm^3 \times 10^{-3} = 1424$ kNm

$e \le 1{,}6\left(\frac{M_{pe}}{V_{ye}}\right) = 1{,}6\frac{1424}{1352} = 1{,}68 > 1{,}5$ olduğundan Şekil 6.10.'da verilen sınır değerler kullanılarak bağ kiriş moment-dönme grafiği oluşturulacaktır.

M_{pe} : Beklenen plastik momenti kapasitesi

V_{ye} : Beklenen kesme kapasitesini ifade etmektedir.

F_y : Yapı çeliğinin karakteristik akma gerilmesidir.

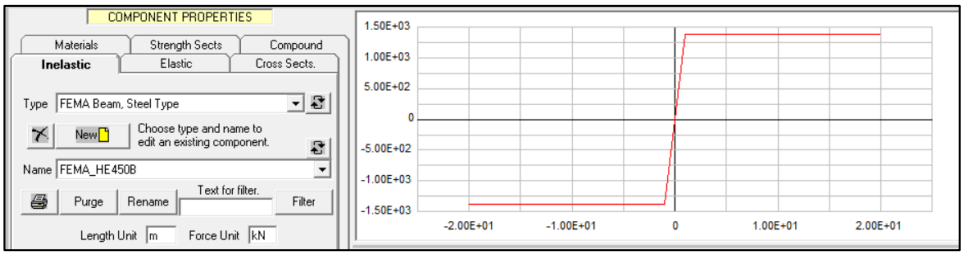
A_w : Gövde enkesit alanıdır.

W_p : Plastik mukavemet momentidir.

e : Bağ kiriş boyunu ifade etmektedir.

Çelik bağ kirişin plastik mafsal özellikleri tanımlanırken FEMA 440 yönetmeliği referans alınmıştır. Tanımlanan kesit özellikleri 'FEMA beam,steel type' da kullanılarak kuvvet-deformasyon değerleri girilmiştir. Gerekli tanımlamalar yapılarak moment-dönme grafiği tanımlanmıştır. Şekil 6.18'de çelik bağ kirişin plastik mafsal tanımı verilmiştir.

Kullanılan sınır değerlerin TBDY'den seçilmesinin nedeni FEMA yönetmeliğine göre daha düşük sınır değerlere sahip olmasıdır.



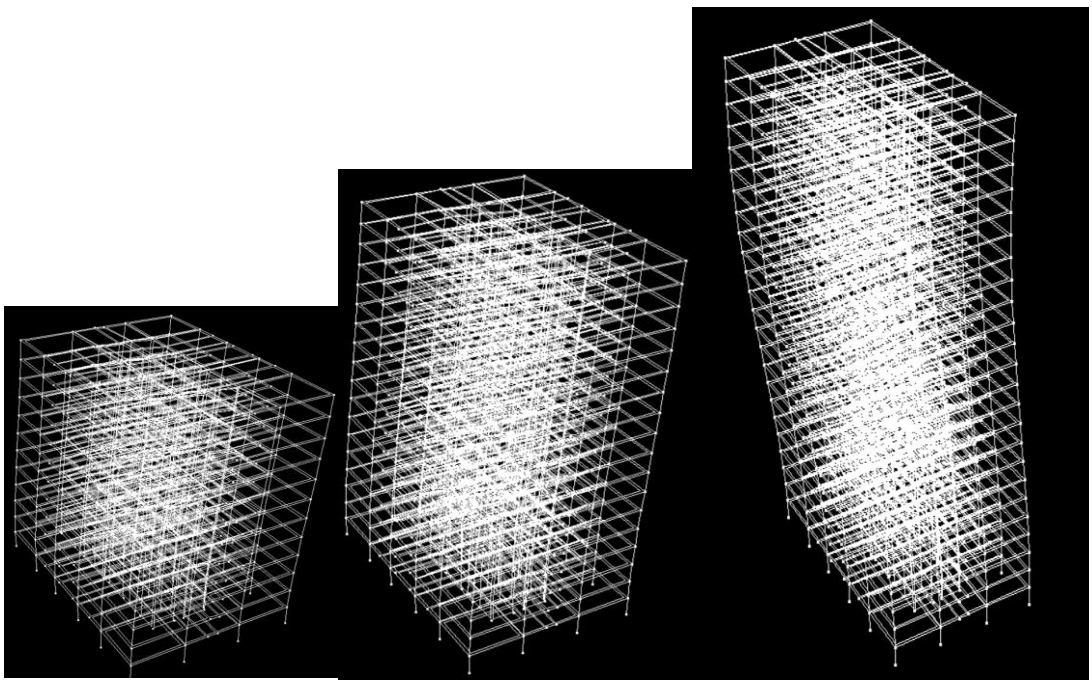
Şekil 6.18. HE450B çelik bağ kirişinin moment – dönme grafiği

6.6. Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçları

Bu bölümde 11 deprem etkisi altında 12, 18, 24 katlı betonarme bağ kirişli yapının ve 24 katlı çelik bağ kirişli yapının analiz sonuçları sunulmuştur. Kat yüksekliğinin artmasıyla eleman dönme ve şekildeğiştirmelerde değişimler karşılaştırmalarla gösterilmiştir. Ayrıca 24 katlı yapıda etkin bağ kirişlerin betonarme ve çelik kesitleri karşılaştırılarak farkları ortaya koyulmuştur.

6.6.1. Mod şekilleri ve kütle katılımları

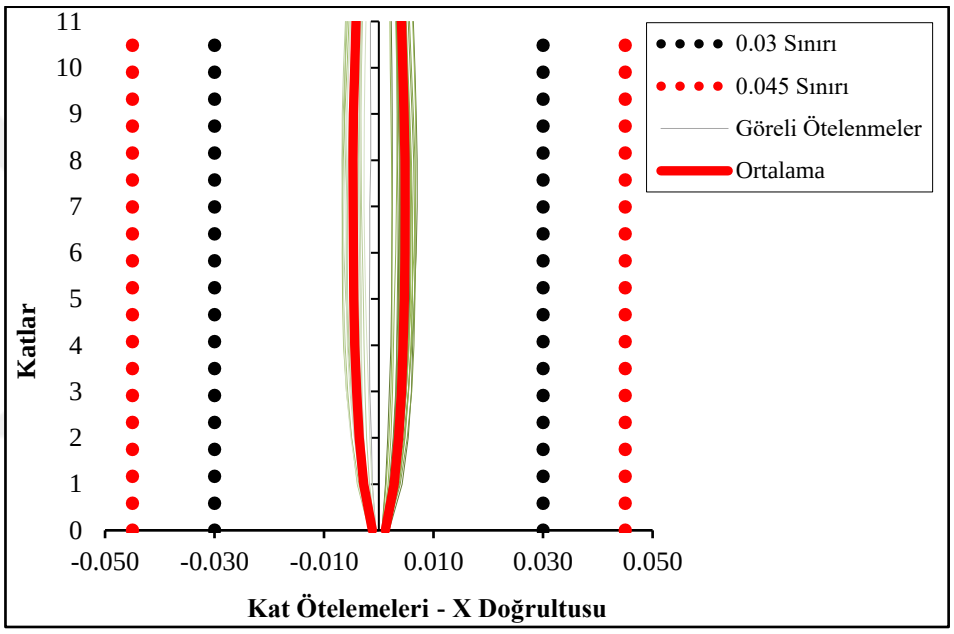
Doğrusal analizler ve doğrusal olmayan analizler karşılaştırıldığında periyot ve kütle katılımlarında farklılık oluşmadığı gözlemlenecektir. Yapıların kütle katılımları tüm binalarda %95'in üzerindedir. 24 katlı betonarme ve çelik bağ kirişli modellerin her ikisinde periyot ve kütle katılımlar aynıdır. Sayısal sonuçlar Ek 5A'da verilirken mod 1 şekilleri Şekil 6.19'da gösterilmiştir.



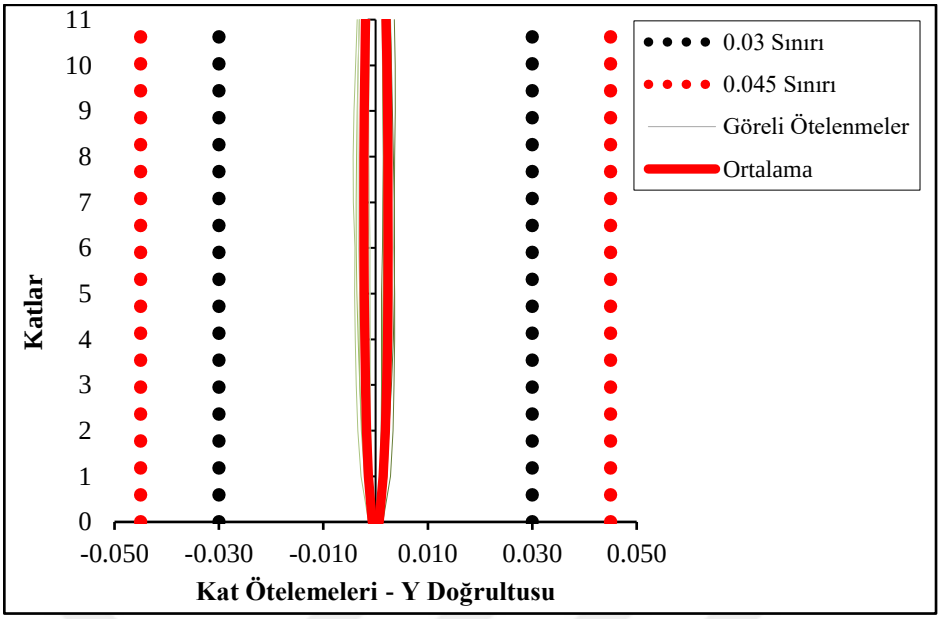
Şekil 6.19. Binalardaki 1.mod şekilleri

6.6.2. Göreli kat ötelemesi kontrolü ve karşılaştırmalar

Bu bölüm kapsamında binaların her iki doğrultuda Bölüm 4.2.1.3.'de verilen sınır değerlerin aşılıp aşılmadığı gösterilmiştir. Kontroller 11 depremin tekil ve ortalamaları alınarak yapılmıştır. Kontroller kapsamında 4 binada da sınır değerlerin aşılmadığı görülmektedir. 12 katlı binanın x ve y doğrultularında göreli kat öteleme kontrolleri Şekil 6.20 ve Şekil 6.21'de gösterilmiştir. Tekil depremler 0,045 sınırını aşmazken, depremlerin ortalamaları da 0,030 değerini aşmamaktadır.

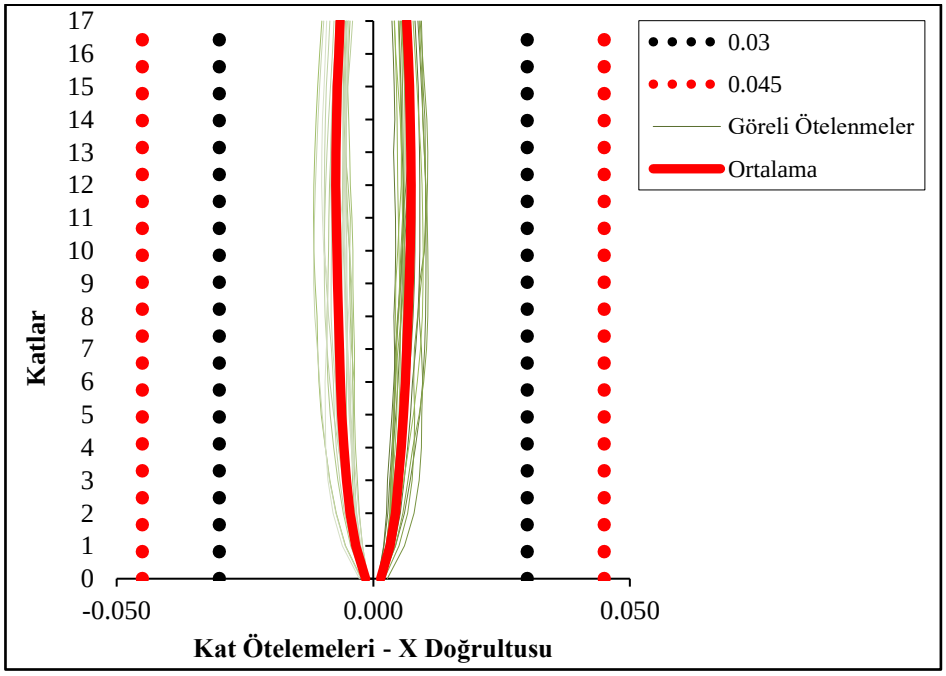


Şekil 6.20. 12 katlı binanın x yönü için göreli kat öteleme oranı kontrolü

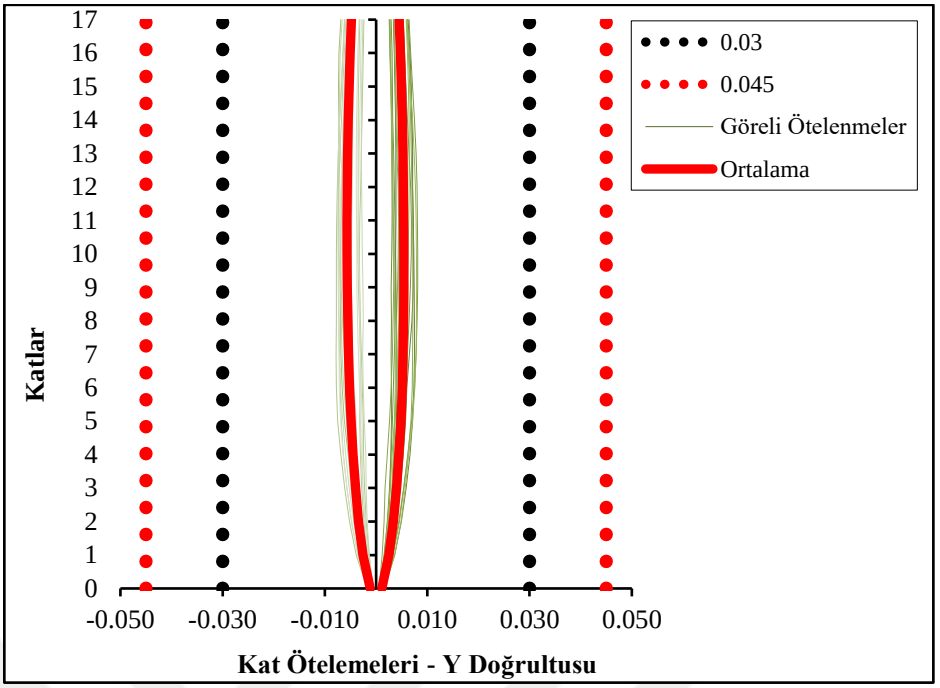


Şekil 6.21. 12 katlı binanın y yönü için göreli kat öteleme oranı kontrolü

Binaların y doğrultusundaki rijilikleri x doğrultusundan fazladır. Bu nedenle ötelenmeler y doğrultusunda daha düşük çıkmaktadır. 18 katlı yapının her iki doğrultuda ötelenme kontrolleri Şekil 6.22 ve 6.23'te mevcuttur. Kat yüksekliğinin artmasıyla binalarda göreli öteleme değerleri artmaktadır.

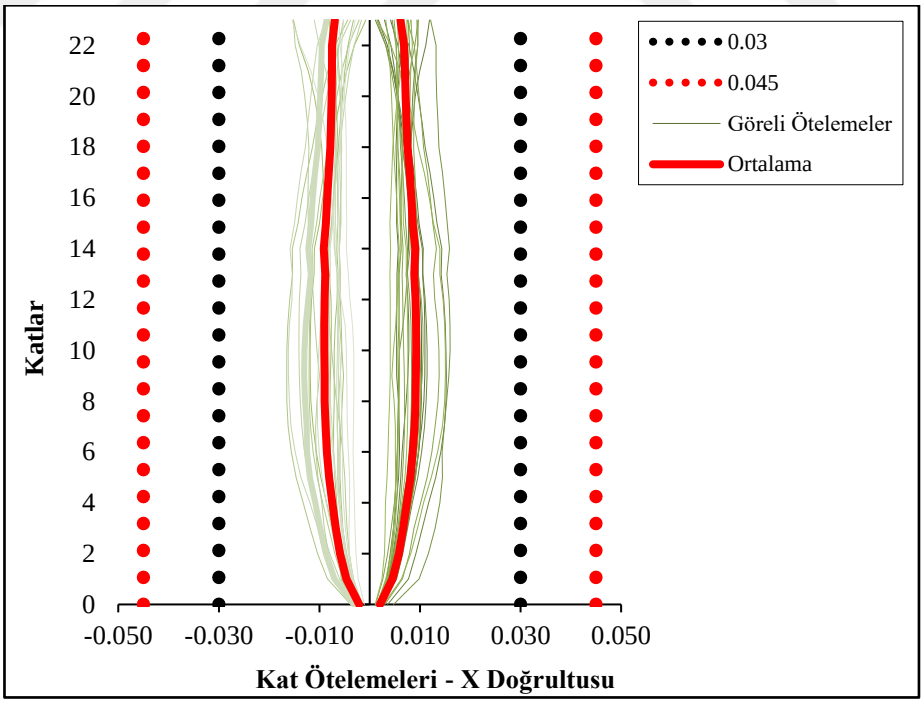


Şekil 6.22. 18 katlı binanın x yönü için göreli kat öteleme oranı kontrolü

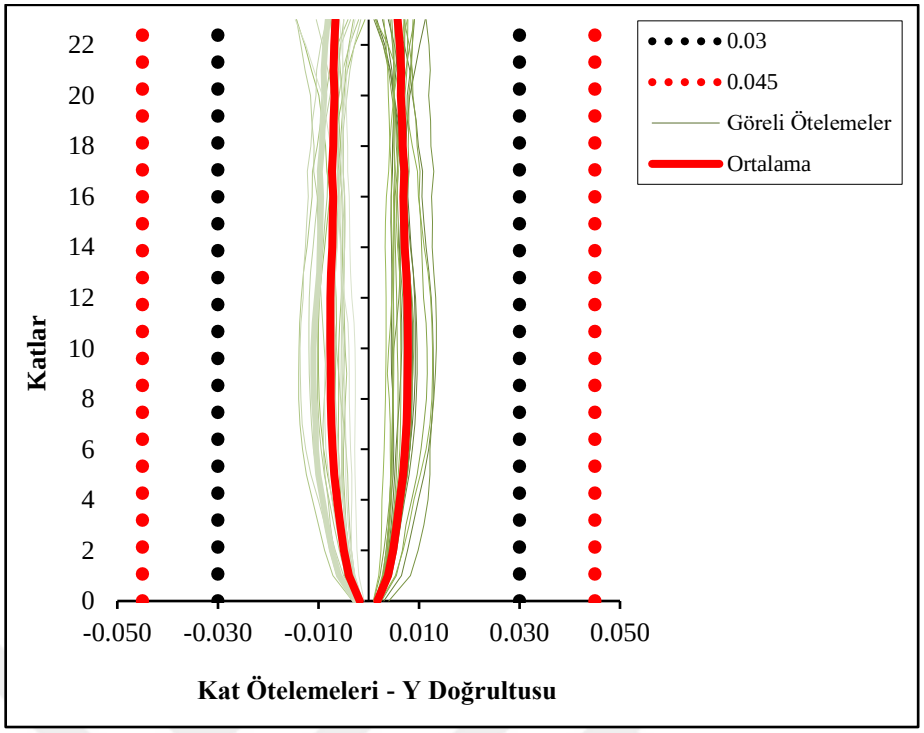


Şekil 6.23. 18 katlı binanın y yönü için göreli kat öteleme oranı kontrolü

24 katlı betonarme bağ kirişli betonarme binanın her iki doğrultudaki kontrolleri Şekil 6.24 ve Şekil 6.25'te gösterilmiştir.

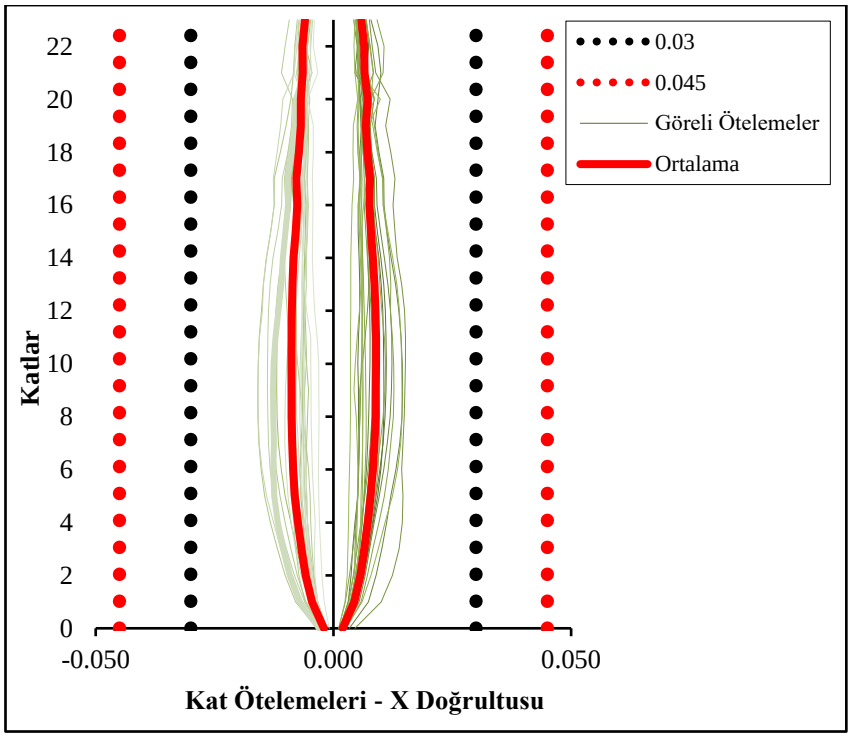


Şekil 6.24. 24 katlı betonarme bağ kirişli binanın x yönü için göreli kat öteleme oranı kontrolü

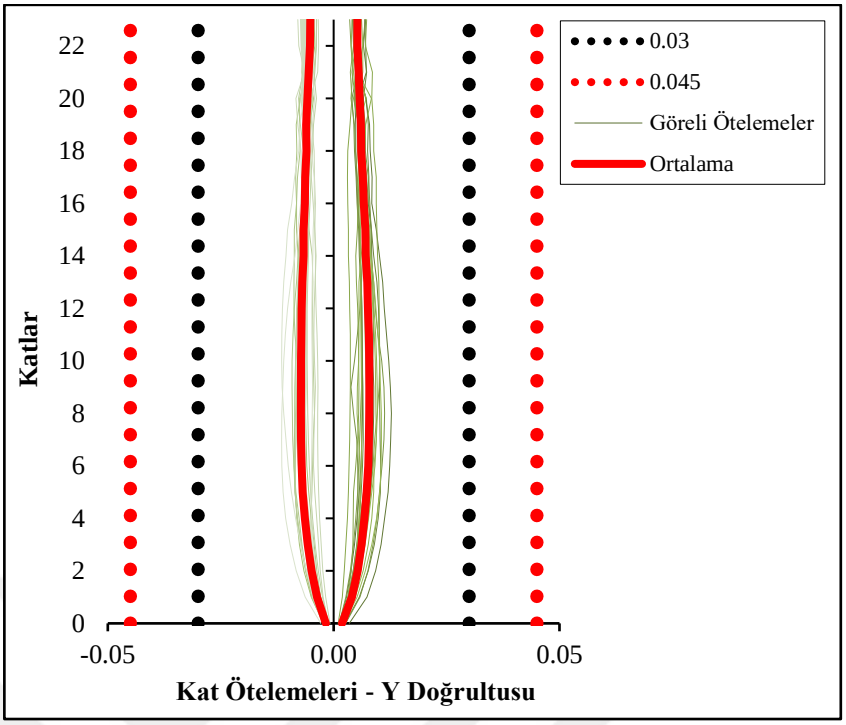


Şekil 6.25. 24 katlı betonarme bağ kirişli binanın y yönü için göreli kat öteleme oranı kontrolü

24 katlı çelik bağ kirişli betonarme binanın her iki doğrultudaki kontrolleri Şekil 6.26 ve Şekil 6.27'de gösterilmiştir.

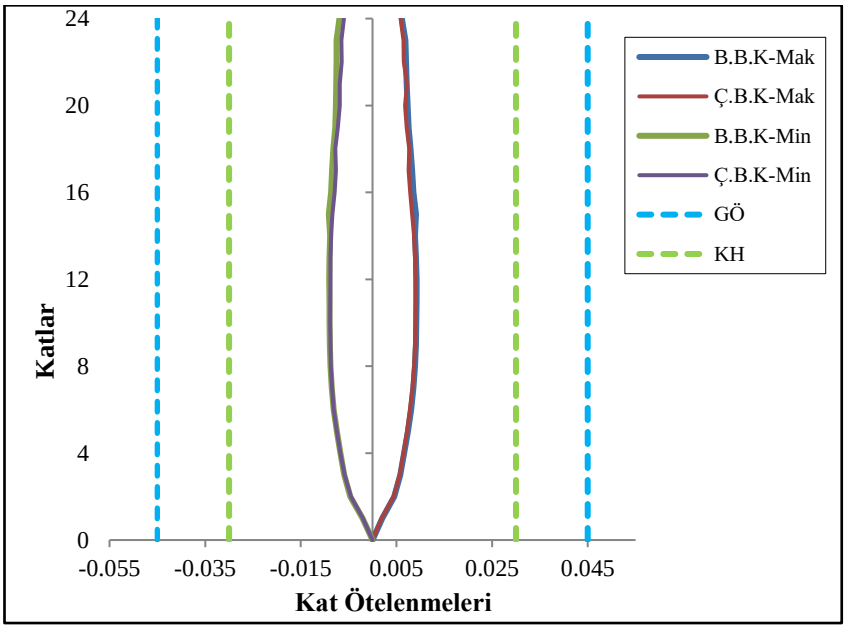


Şekil 6.26. 24 katlı çelik bağ kirişli binanın x yönü için göreli kat öteleme oranı kontrolü

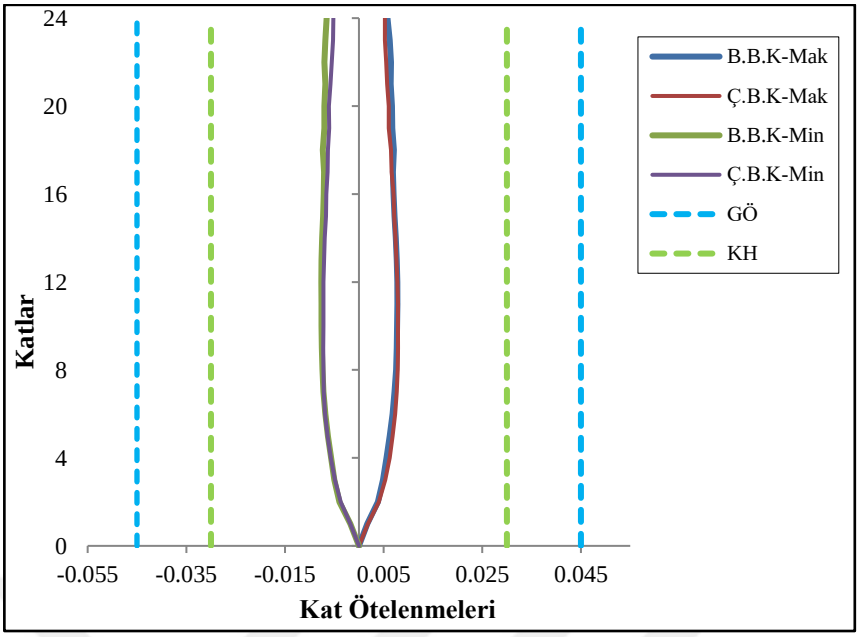


Şekil 6.27. 24 katlı çelik bağ kirişli binanın y yönü için göreli kat öteleme oranı kontrolü

Betonarme ve çelik bağ kirişli 24 katlı binaların göreli öteleme karşılaştırılmaları Şekil 28 ve Şekil 29'da verilmiştir. Binalardaki bağ kiriş kesit değişimi göreli öteleme oranlarında değişikliğe neden olmamıştır.



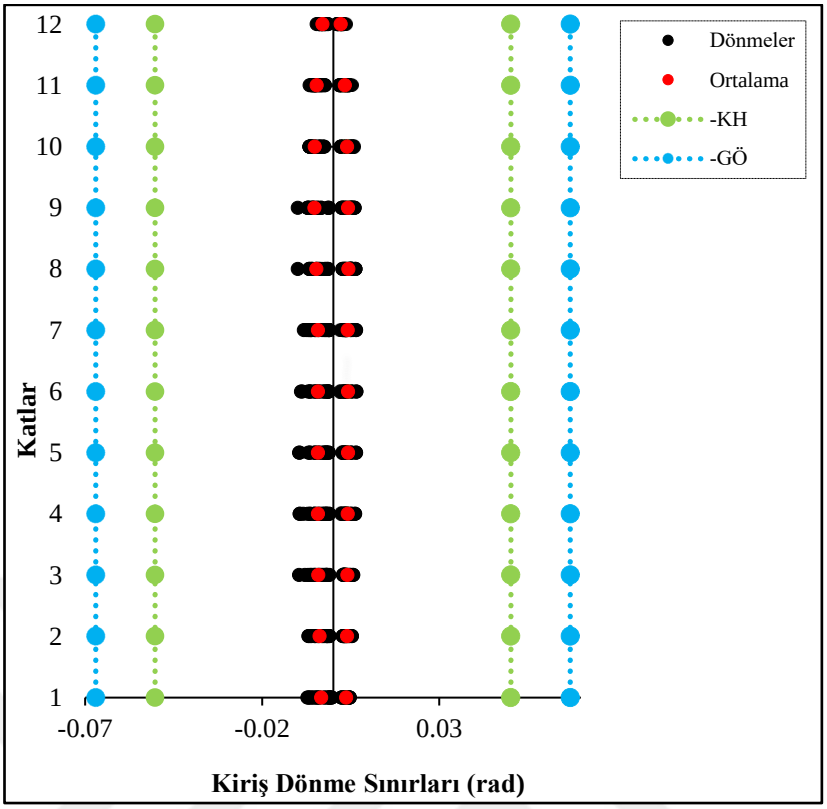
Şekil 6.28. 24 katlı binaların x yönü için göreli kat öteleme oranı karşılaştırmaları



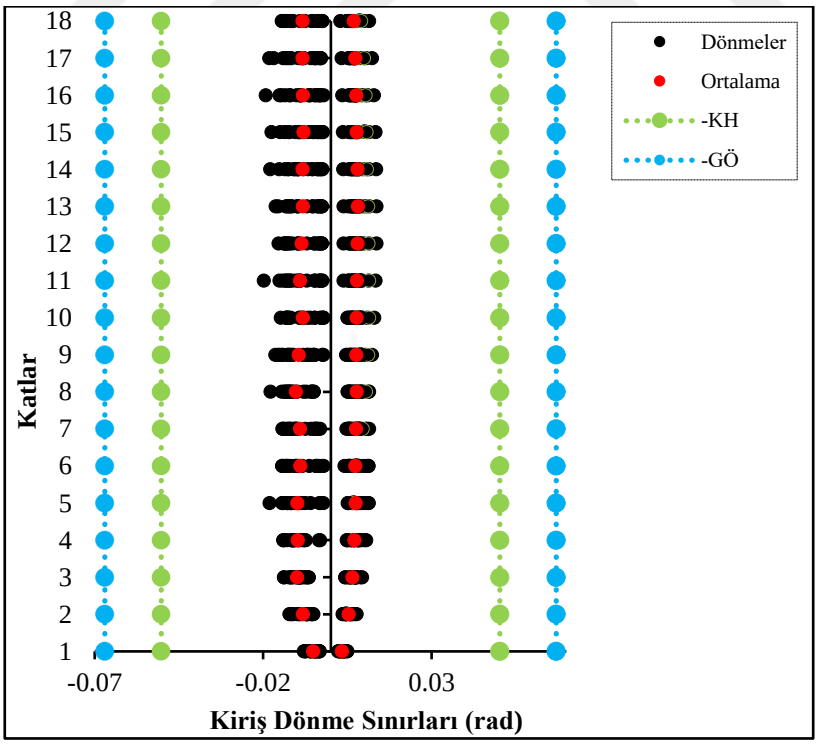
Şekil 6.29. 24 katlı binaların y yönü için göreli kat öteleme oranı karşılaştırmaları

6.6.3. Kiriş dönme kontrolleri ve karşılaştırmaları

Çerçeve kirişlerinin kontrolü doğrusal olmayan analizlerden elde edilen değerlerin Bölüm 6.5.2'de hesaplanan sınır değerlerle karşılaştırılmasıyla sağlanmıştır. Analiz sonucu kiriş uçlarında tanımlanmış olan plastik mafsallarda, negatif ve pozitif momentlerin etkisiyle oluşan plastik dönme değerleri ayrı ayrı okunmuştur. Okunan dönme değerleri göçmenin önlenmesi ve kontrollü hasar sınırlarıyla kontrol edilmiştir. Analizleri yapılan 12, 18 ve 24 katlı binaların 11 deprem etkisi altında tekil ve depremlerin ortalaması alınacak şekilde kontrolleri yapılmıştır. Kat yüksekliğinin artmasıyla kiriş dönmeleri de artmıştır. 24 katlı binada çerçeve kirişlerindeki dönmeler kendi aralarında yüksek oranda farklılığa neden olmazken, 8-14 kat aralığında kiriş dönmeleri maksimum değerlerini almıştır. Plastik uç dönme ortalamaları hedeflenen performans düzeyi olan göçmenin önlenmesi performans düzeyinin altında kalmaktadır. 12 katlı yapının kiriş dönme değerleri Şekil 6.30'da, 18 katlı yapının dönme değerleri Şekil 6.31'de gösterilmiştir.

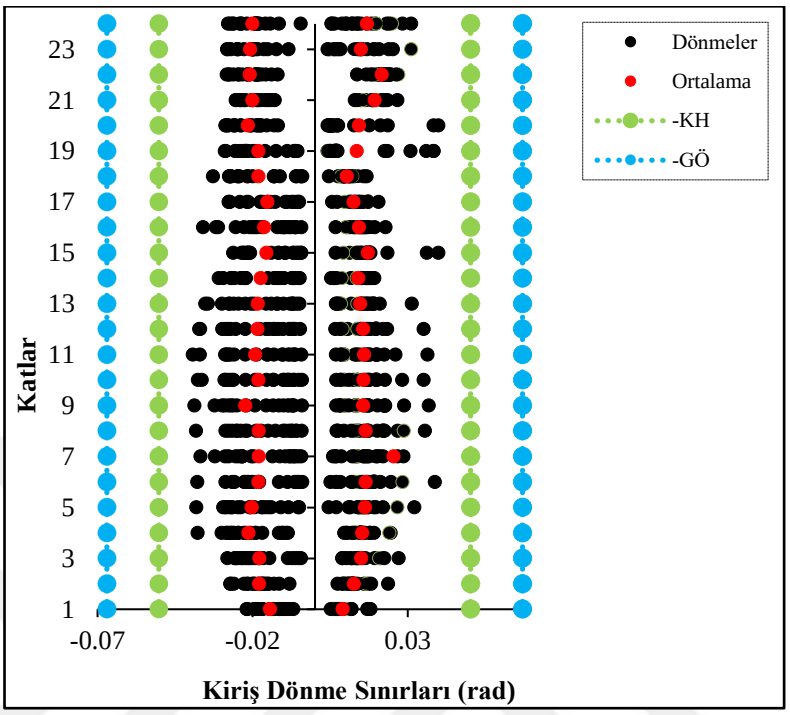


Şekil 6.30. 12 katlı binanın kiriş dönme değerleri

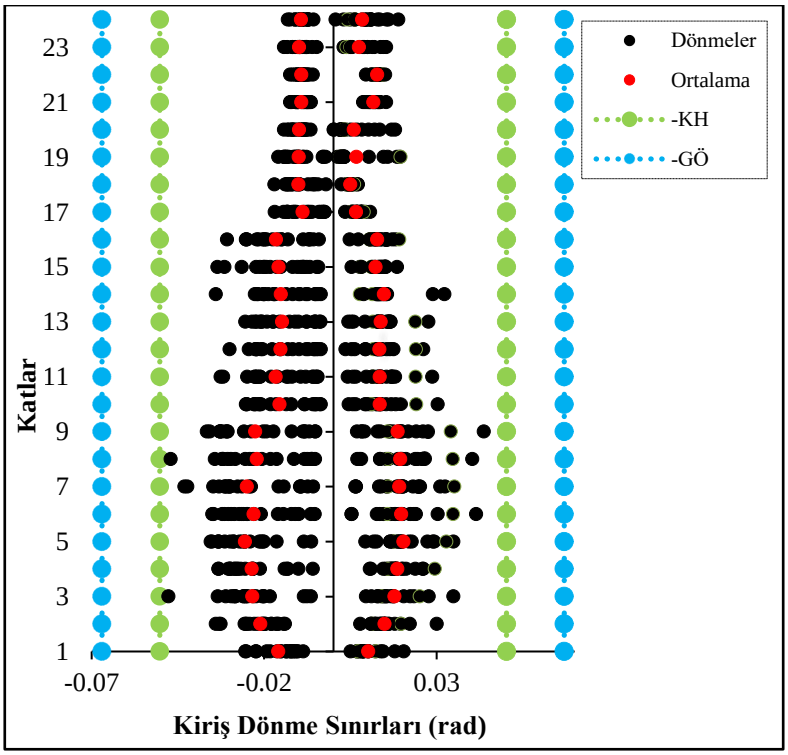


Şekil 6.31. 18 katlı binanın kiriş dönme değerleri

24 katlı betonarme ve çelik bağ kirişli binaların kiriş dönme değerleri sırasıyla Şekil 6.32 ve 6.33'te gösterilmiştir.

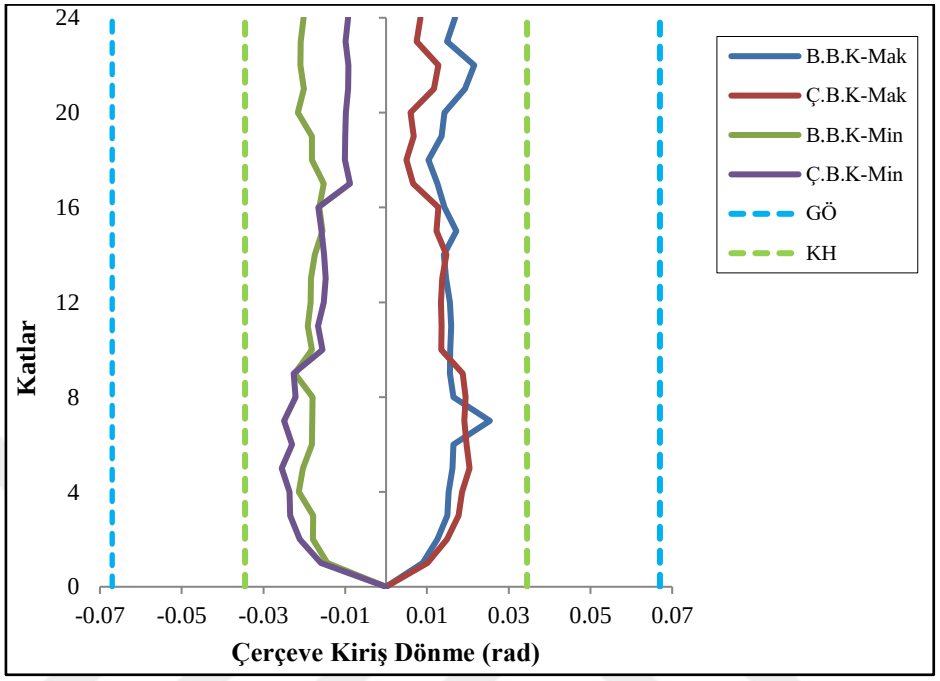


Şekil 6.32. 24 katlı B.B.K. binanın kiriş dönme değerleri



Şekil 6.33. 24 katlı Ç.B.K. binanın kiriş dönme değerleri

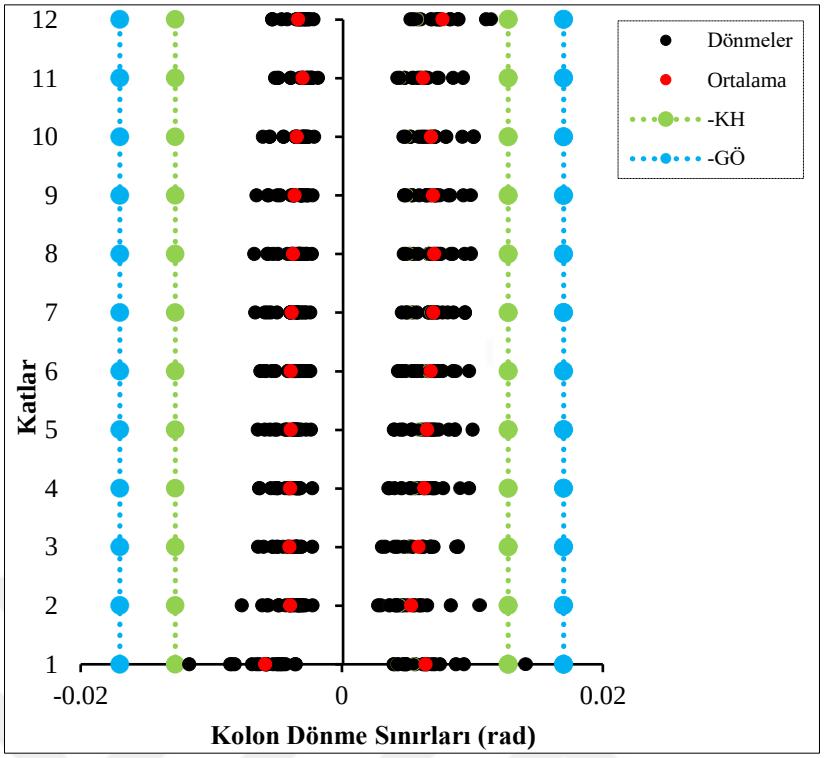
24 katlı betonarme ve çelik bağ kirişli binaların karşılaştırılması Şekil 6.34'te gösterilmiştir. Çelik bağ kirişli binanın kiriş dönme değerleri betonarme bağ kirişli yapıya göre azalmıştır. Bu azalma 16 kattan sonra etkin bir şekilde görülmektedir.



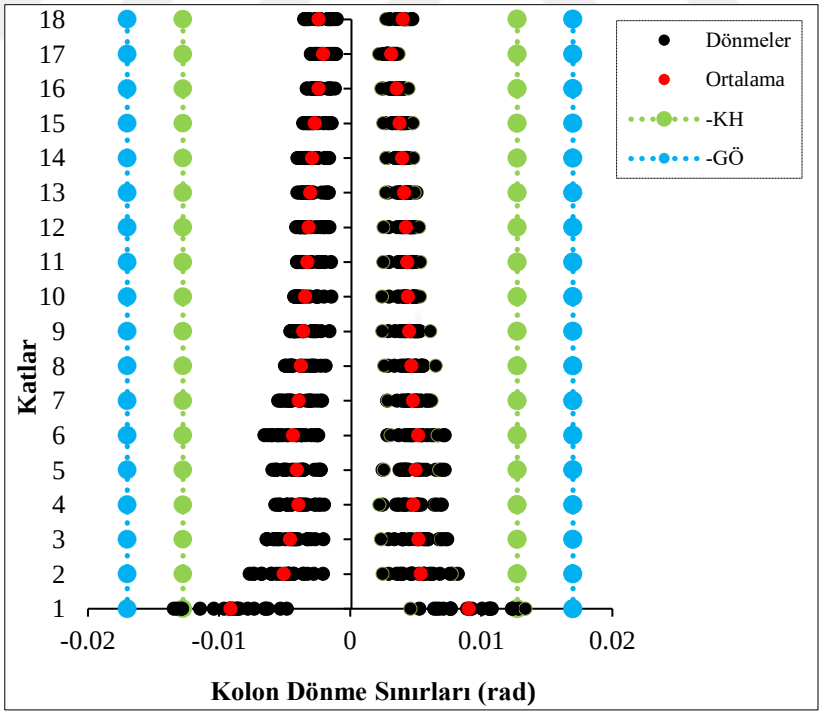
Şekil 6.34. 24 katlı binalardaki kiriş dönme değerleri karşılaştırması

6.6.4. Kolon dönme kontrolleri ve karşılaştırmaları

Kolonların plastik dönme kontrolleri kirişlerde olduğu gibi yapılmıştır. Bu kapsamda kritik kolonlar seçilerek dönme sınırlarına göre kontrolleri yapılmıştır. Kolon boyutlarında bina düzeyinde değişiklik yoktur. Yapı yüksekliğinin artması kolon dönmelerini arttırmıştır. Dönme artışları binalarda en yüksek zemin katta oluşmuştur. Göçmenin önlenmesi ve kontrollü hasar sınırları 11 depremden alınan dönme değerlerinin tekil ve ortalamalarının karşılaştırılmasıyla kontrol edilmiştir. Dönme sınırları Bölüm 6.5.1'de hesaplanan değerlerce karşılaştırılmıştır. 12 ve 18 kat kolon dönme değerleri Şekil 6.35 ve 6.36'da verilmiştir.

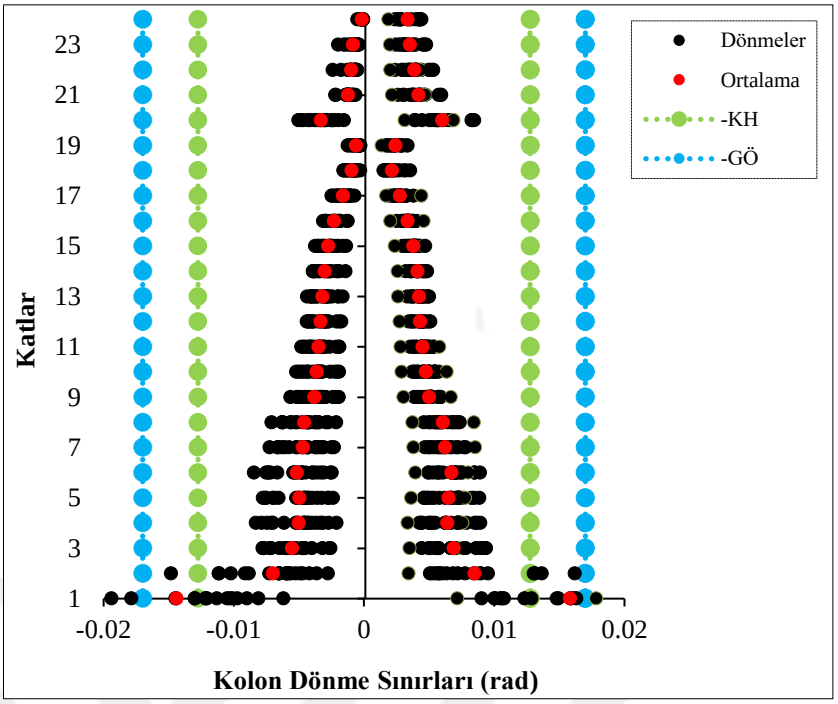


Şekil 6.35. 12 katlı binanın kolon dönme değerleri

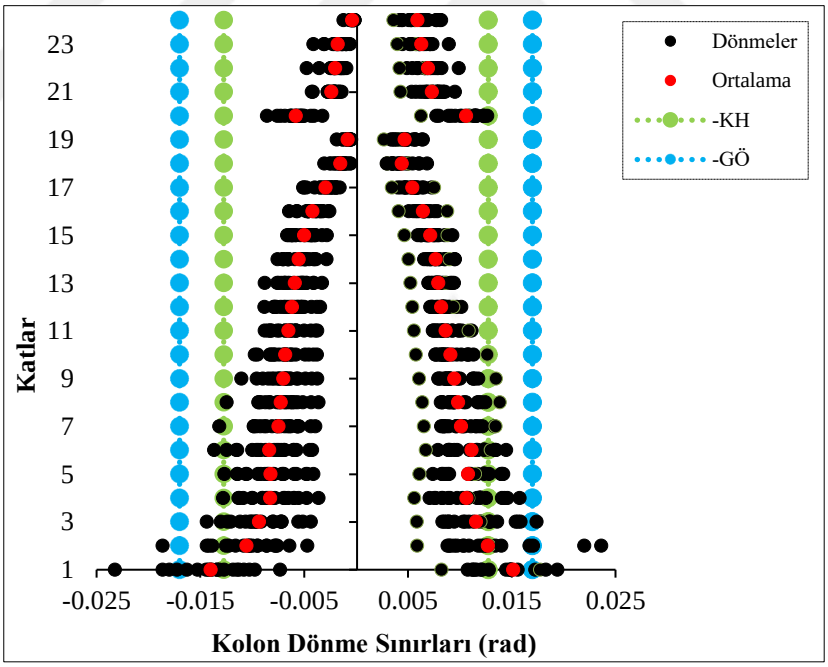


Şekil 6.36. 18 katlı binanın kolon dönme değerleri

24 katlı betonarme ve çelik bağ kirişli binaların kolon dönme değerleri sırasıyla Şekil 6.37 ve 6.38'de gösterilmiştir.



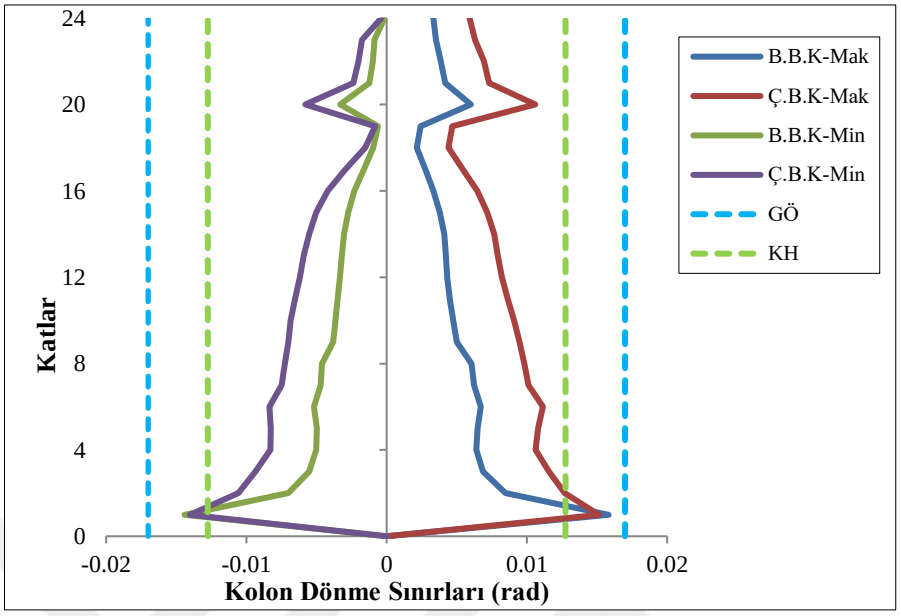
Şekil 6.37. 24 katlı B.B.K. binanın kolon dönme değerleri



Şekil 6.38. 24 katlı Ç.B.K. binanın kolon dönme değerleri

Depremlerin tekil olarak incelenmesi durumunda kolonların 24 katlı binalarda sınır değerini aştığı görülmektedir. Ancak kolon dönme ortalamaları performans hedef sınırlarının altındadır. 24 katlı betonarme ve çelik bağ kirişli binaların karşılaştırması

Şekil 6.39'da verilmiştir. Çelik bağ kirişli binada kolon dönmelerinin arttığı tespit edilmiştir.



Şekil 6.39. 24 katlı binanın kolon dönme değerleri karşılaştırması

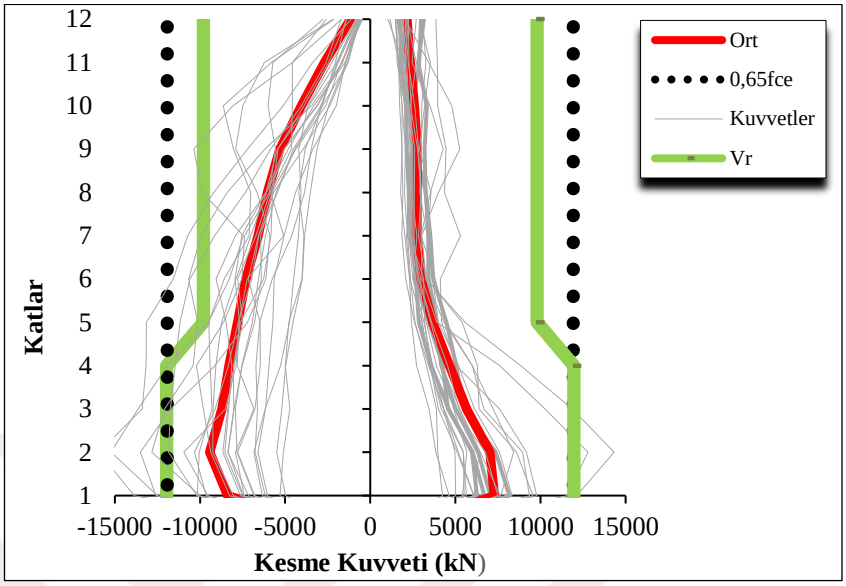
6.6.5. Perde kontrolleri ve karşılaştırmaları

Bu bölüm kapsamında betonarme perde elemanlarının kesme kapasite kontrolleri ve birim şekil değiştirme kontrolleri yapılmıştır. 12, 18, 24 katlı yapılarda poligon perde elemanı olan P13 perdesi seçilerek aşamalar anlatılmıştır.

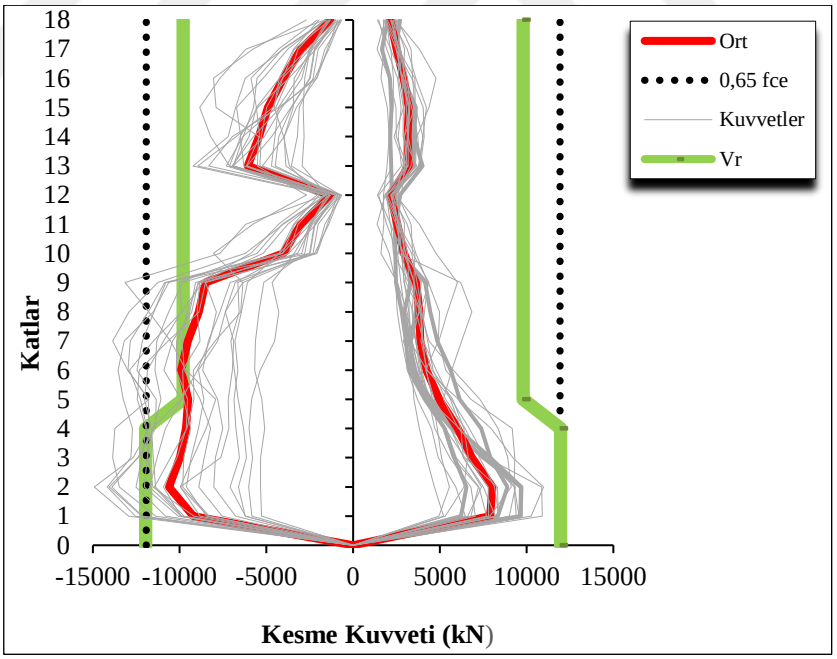
6.6.5.1. Perde kesme kapasitesi kontrolü ve karşılaştırmaları

Perde kesme kuvvetleri Tasarım III aşamasında verilen şartlara göre kontrol edilmiştir. Bu bölüm kapsamında, perde kesme kontrolü tüm depremlerden elde edilen ve kat bazında değerlendirilen standart sapma değerleriyle arttırılarak yapılmıştır. 12 ve 18 katlı binalarda perdeler, 11 deprem yer etkisi altında analiz sonucu elde edilen maksimum kesme kuvvetlerinin ortalamaları donatı ve kesit hesabı yapılarak hesaplanan kapasiteyi aşmamıştır. 24 katlı yapıda poligon perde elemanı olan P13 perdesine gelen kesme kuvveti kapasiteyi aşmaktadır. Kapasitesi aşılan perdede kesit seçimi ve donatı seçiminde artışa gidilmiştir. Donatı ve kesit değişimi sonucunda 24 katlı yapılarda analizler tekrar edilmiş olup, bu bölümde incelenen sonuçlar yeni verilere göre değerlendirilerek tez kapsamında anlatılmıştır. P13 bağ kirişli bir perde olarak tanımlandığından dolayı maksimum kesme kapasitesi

hesaplanırken $0{,}65A_{ch}\sqrt{f_{ck}}$ formülü kullanılmıştır. 12 ve 18 katlı binalarda perde kesme kapasitesi kontrolü Şekil 6.40 ve 6.41'de verilmiştir.



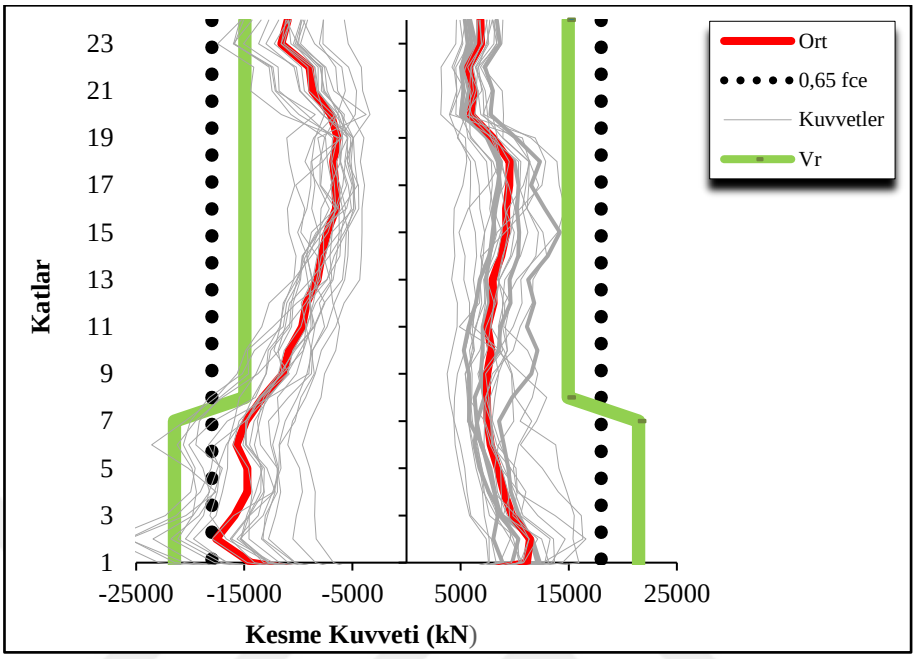
Şekil 6.40. 12 katlı binanın perde kesme kapasitesi kontrolü



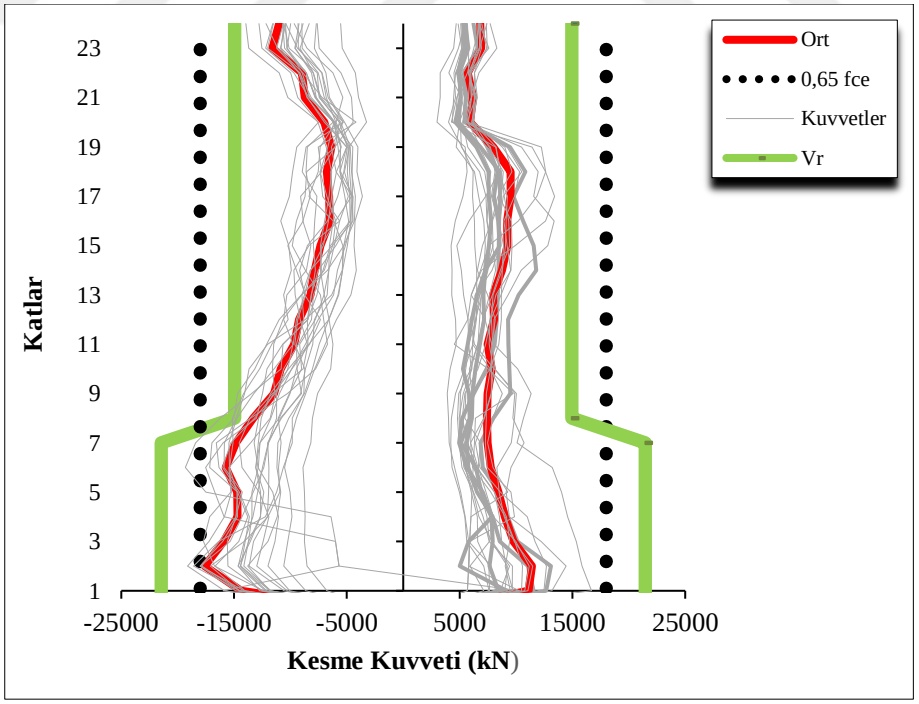
Şekil 6.41. 18 katlı binanın perde kesme kapasitesi kontrolü

18 katlı binada perde kesme kuvveti, 5-8 katlar arasında kesme kapasitesi sınıra yaklaşmıştır. 24 katlı yapıda bu sınır aşıldığından dolayı kritik kat seviyesi 7. kata çekilmiştir. Yatay donatı kritik kat ve üstü için revize edilmiştir. Tüm binaların kesit

ve donatı detayları Tablo 6.4'de verilmektedir. 24 kat betonarme ve çelik bağ kirişli yapıda P13 perde kesme kapasitesi kontrolü Şekil 6.42 ve 6.43'te verilmiştir.



Şekil 6.42. 24 katlı B.B.K. binanın perde kesme kapasitesi kontrolü

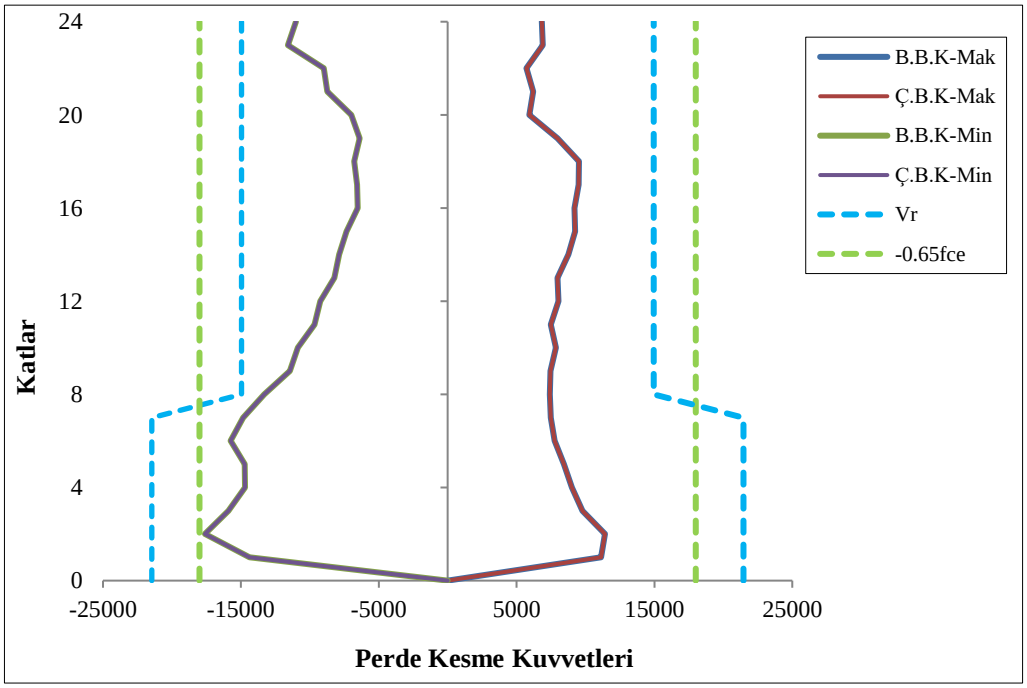


Şekil 6.43. 24 katlı Ç.B.K. binanın perde kesme kapasitesi kontrolü

Tablo 6.4. 12,18, 24 katlı binalarda doğrusal olmayan tasarımda kullanılan donatılar

12, 18, 24 Katlı Binalarda Perdelerin Boyuna ve Enine Donatıları							
Katlar	**Perde**	**Başlık Bölgesi Uzunlukları**	**Başlık Bölgesi Boyuna Donatı**	**Gövde Bölgesi**		**Başlık Bölgesi Enine Donatı**	
				Yatay Donatı	**Boyuna Donatı**	**X Yönü**	**Y Yönü**
12_HCR-ÜST	P01_P12	40/50	12ø16	2ø14/15	ø14/15	2ø10/10	4ø10/10
12_HCR	P01_P12	40/80	16ø20	2ø16/15	ø16/15	3ø10/10	6ø10/10
18_HCR-ÜST	P01_P12	40/50	12ø16	2ø14/15	ø14/15	2ø10/10	4ø10/10
18_HCR	P01_P12	40/80	16ø20	2ø18/15	ø16/15	3ø10/10	6ø10/10
24_HCR-ÜST	P01_P12	40/50	12ø16	2ø14/15	ø14/15	2ø10/10	4ø10/10
24_HCR	P01_P12	40/80	16ø20	2ø18/15	ø16/15	3ø10/10	6ø10/10
12_HCR-ÜST	P13_P16	50/70	16ø16	2ø14/15	ø14/15	2ø10/10	5ø10/10
12_HCR	P13_P16	50/140	28ø20	2ø16/15	ø16/15	3ø10/10	10ø10/10
18_HCR-ÜST	P13_P16	50/70	16ø16	2ø14/15	ø14/15	2ø10/10	5ø10/10
18_HCR	P13_P16	50/140	28ø20	2ø18/15	ø16/15	3ø10/10	10ø10/10
24_HCR-ÜST	P13_P16	50/70	16ø16	2ø16/15	ø14/15	2ø10/10	5ø10/10
24_HCR	P13_P16	50/140	28ø20	2ø20/15	ø16/15	3ø10/10	10ø10/10
12_HCR-ÜST	P17_P18	40/50	12ø16	2ø14/15	ø14/15	2ø10/10	4ø10/10
12_HCR	P17_P18	40/90	18ø20	2ø16/15	ø16/15	3ø10/10	6ø10/10
18_HCR-ÜST	P17_P18	40/50	12ø16	2ø14/15	ø14/15	2ø10/10	4ø10/10
18_HCR	P17_P18	40/90	18ø20	2ø16/15	ø16/15	3ø10/10	6ø10/10
24_HCR-ÜST	P17_P18	40/50	12ø16	2ø14/15	ø14/15	2ø10/10	4ø10/10
24_HCR	P17_P18	40/90	18ø20	2ø16/15	ø16/15	3ø10/10	6ø10/10

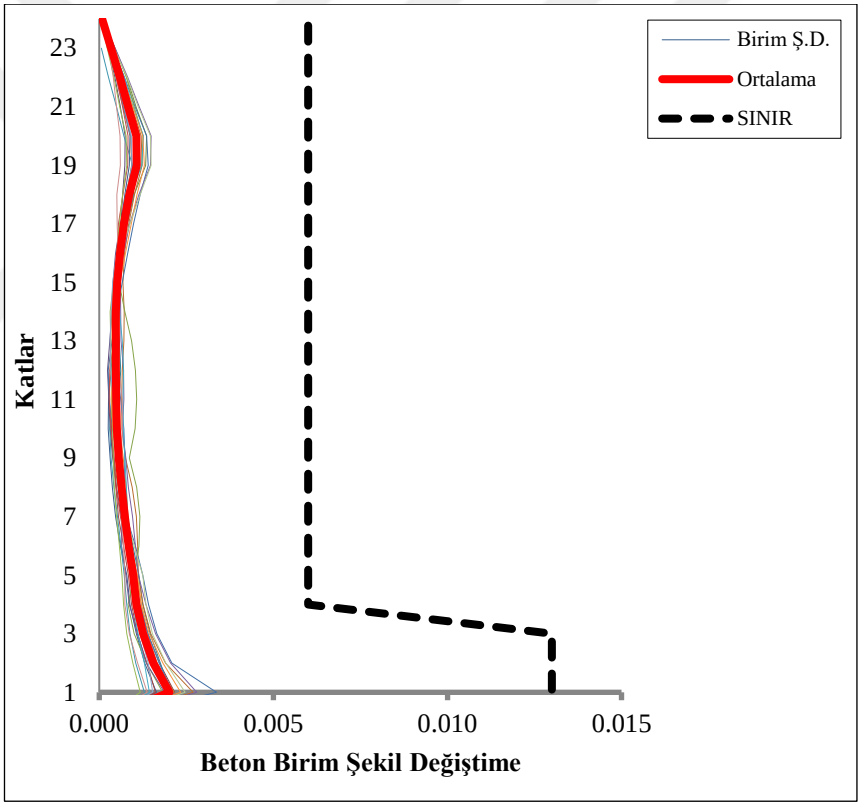
Betonarme ve çelik bağ kirişli binaların perde kesme kapasitesi karşılaştırmaları Şekil 6.44'te verilmiştir. Perde kesmelerinde herhangi bir değişiklik mevcut değildir.



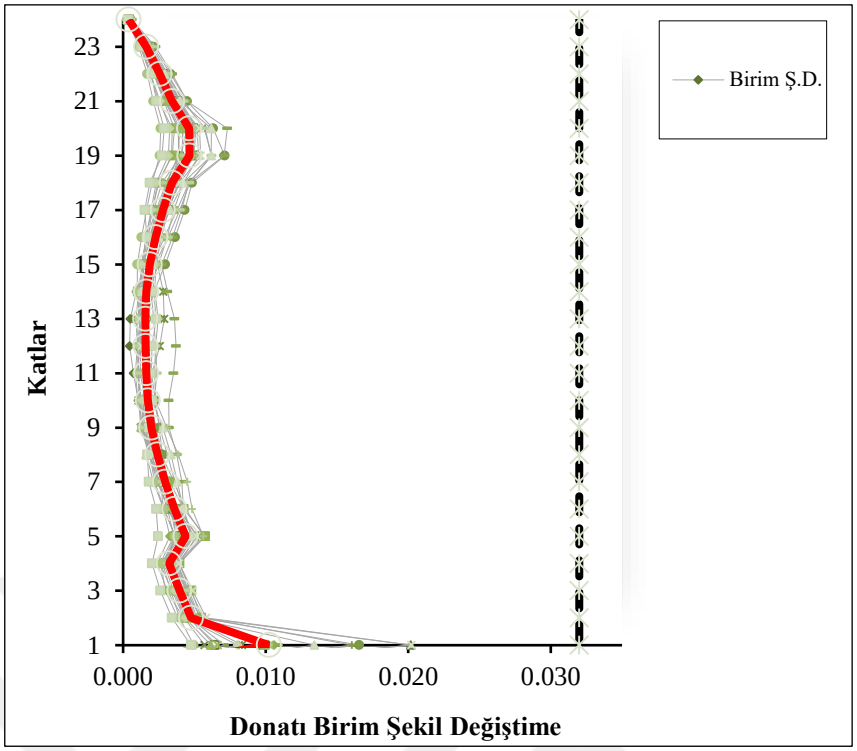
Şekil 6.44. 24 katlı binalardaki perdenin kesme kapasitesi karşılaştırmaları

6.6.5.2. Perde birim şekildeğiştirme kontrolü ve karşılaştırmaları

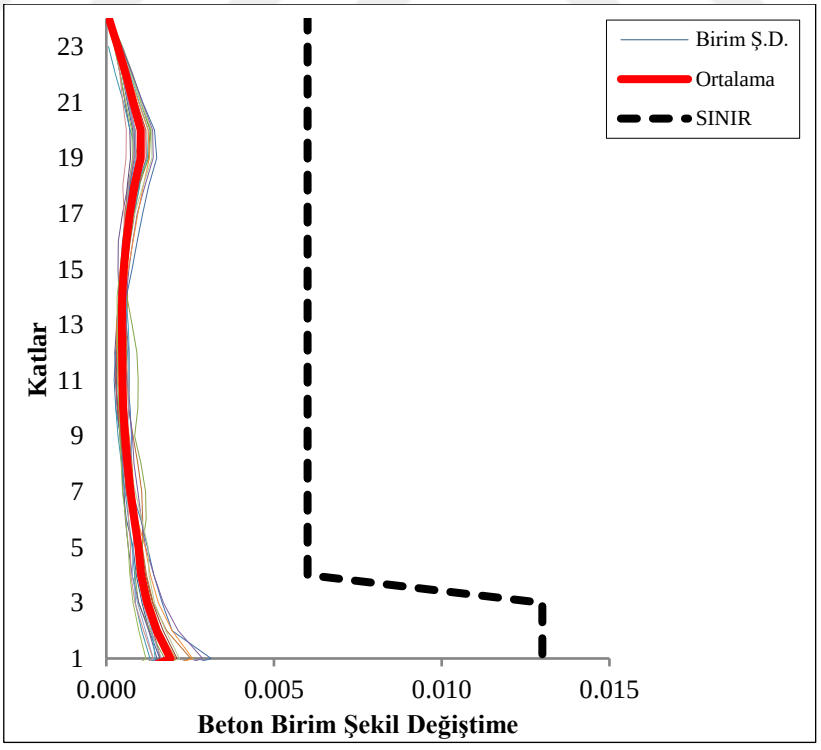
Fiber elemanlarla modellenen perdelerin uçlarına tanımlanan strain gage elemanlarından okunan çekme ve basınç değerleri, Bölüm 6.5.3'de hesaplanan sınırlarla karşılaştırılmıştır. Kritik kat ve kritik kat üstünde kullanılan boyuna donatılar farklı olduğundan şekildeğiştirme sınırları da kritik kat üstünde azalmaktadır. Bu kapsamda P13 perdesinin tüm binalarda şekildeğiştirme kontrolleri yapılmıştır. Ayrıca beton ezilme ve donatı uzama kontrolleri ayrı ayrı yapılmıştır. 24 kat betonarme ve çelik bağ kirişli binalarda poligon perdelerinin birim şekildeğiştirme kontrolleri Şekil 6.45, 6.46, 6.47 ve 6.48'de verilmiştir.



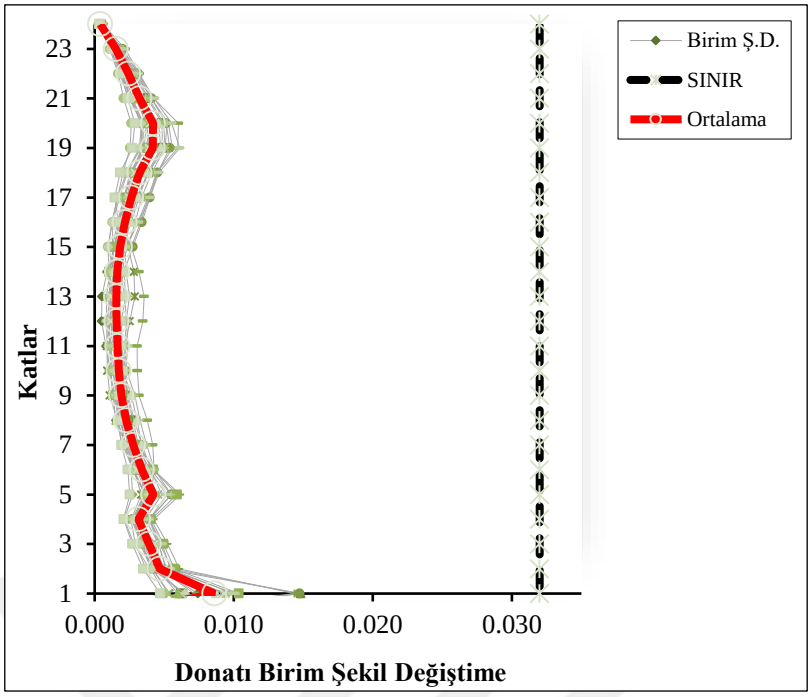
Şekil 6.45. Betonarme bağ kirişli perdede beton basınç birim şekildeğiştirme kontrolü



Şekil 6.46. Betonarme bağ kirişli perdenin donatı çeliğinde birim şekildeğiştirme kontrolü

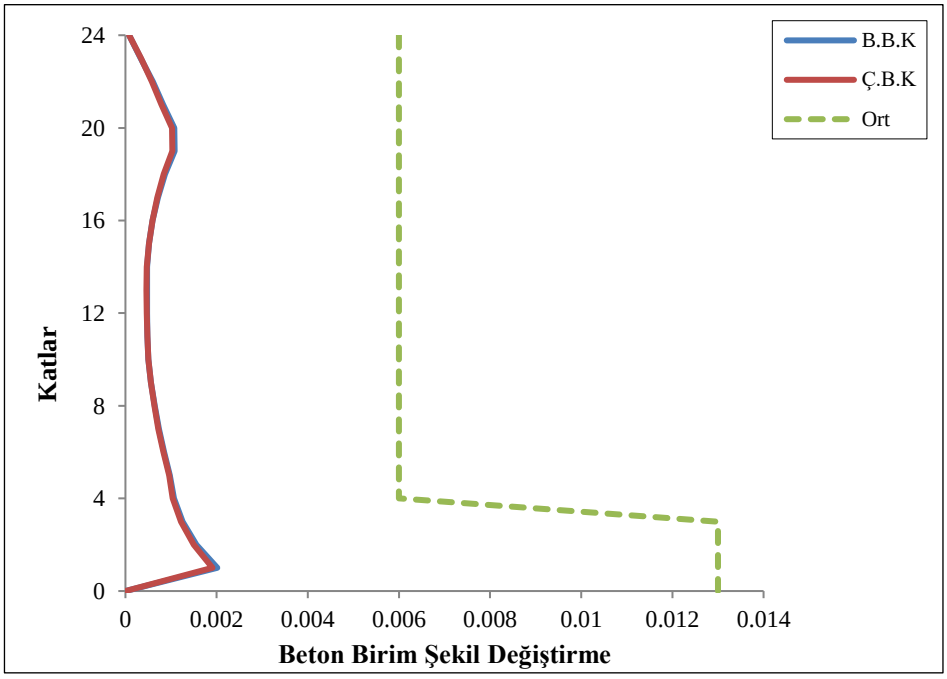


Şekil 6.47. Çelik bağ kirişli perdenin beton basınç birim şekildeğiştirme kontrolü

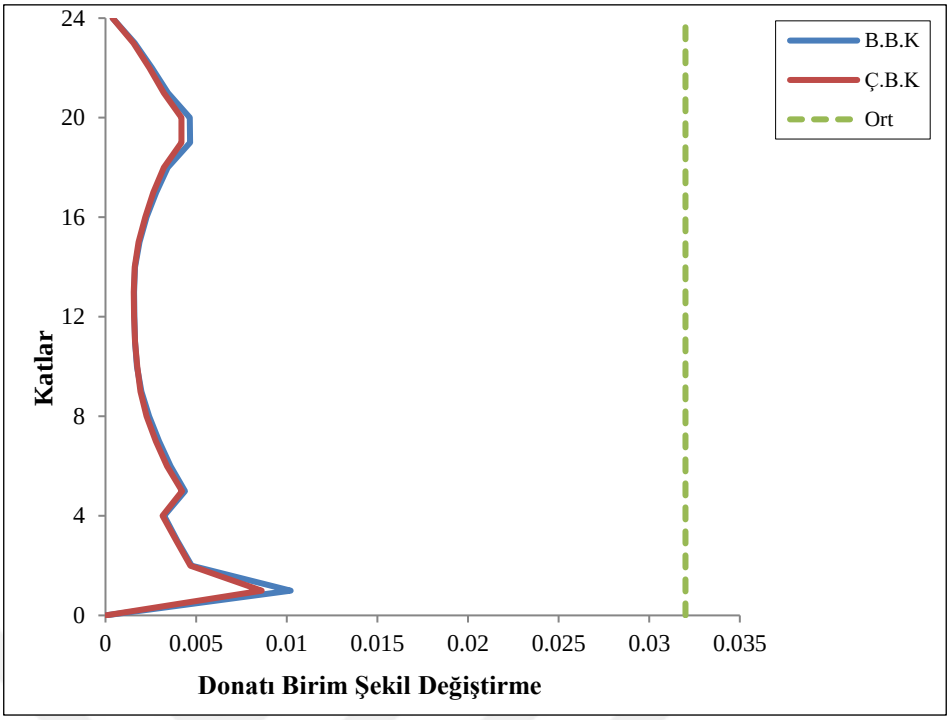


Şekil 6.48. Çelik bağ kirişli perdenin donatı çeliği birim şekildeğiştirme kontrolü

Betonarme ve çelik bağ kirişli yapıların poligon perde birim şekildeğiştirme karşılaştırmaları Şekil 6.49 ve 6.50'de verilmiştir. Beton ve donatı çeliği birim şekildeğiştirmelerinde bir farklılık bulunmamaktadır.



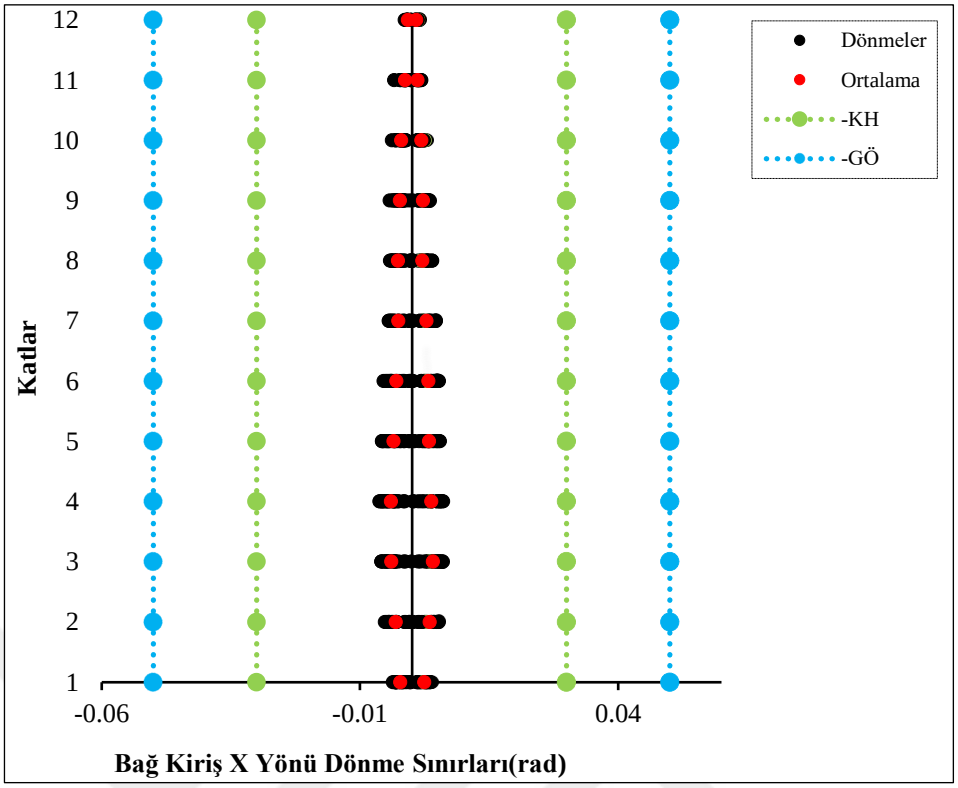
Şekil 6.49. 24 katlı binaların beton birim şekildeğiştirme karşılaştırmaları



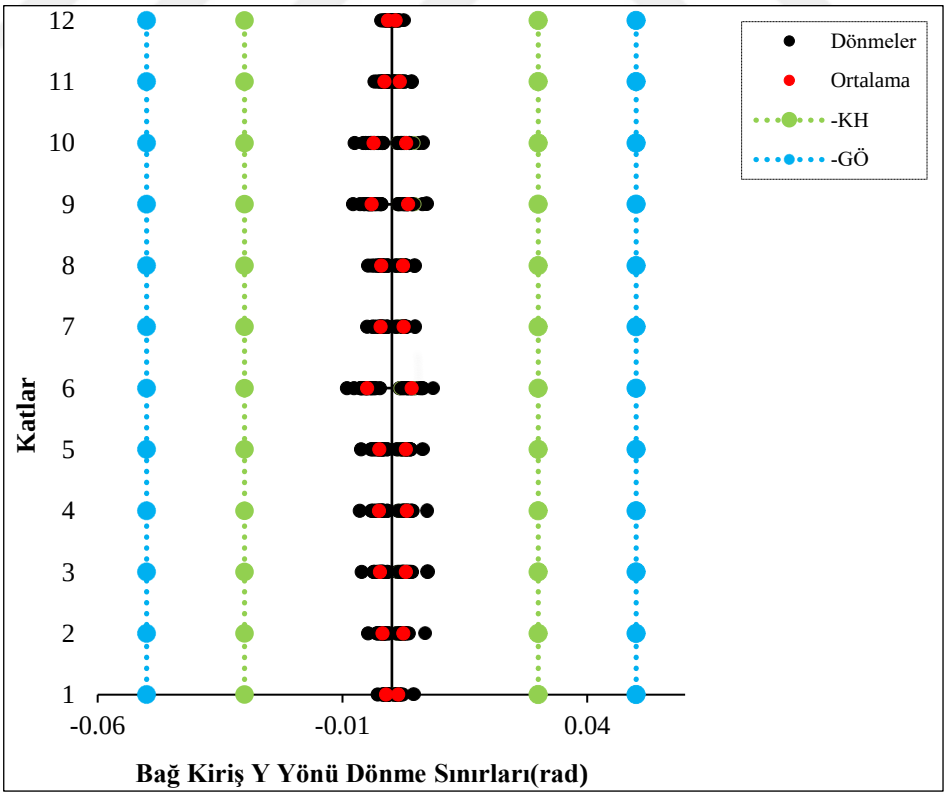
Şekil 6.50. 24 katlı binaların donatı çeliğindeki birim şekildeğiştirme karşılaştırmaları

6.6.6. Bağ kiriş kontrolleri ve karşılaştırmaları

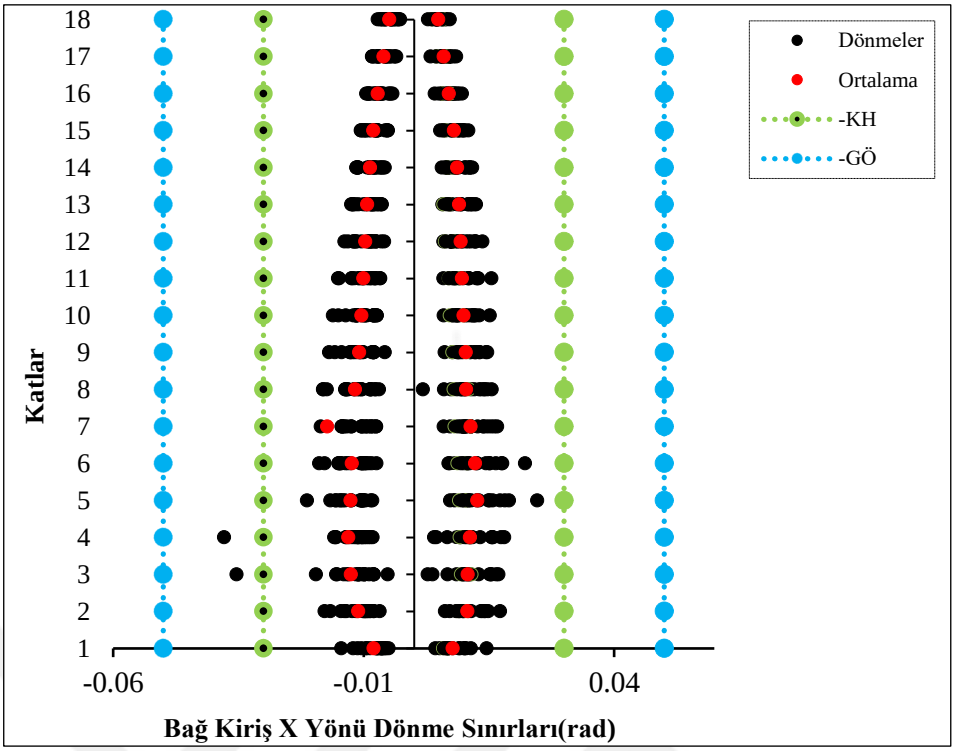
Bağ kiriş kontrolleri Bölüm 6.5.4'de verilen sınırlara göre yapılmıştır. Bağ kirişlerde moment-dönme (M3) mafsalı kullanılmıştır. Betonarme bağ kiriş kontrolleri 12,18 ve 24 katlı binalarda yapılmıştır. Bağ kiriş dönme değerleri yapı yükseklikleri arttıkça artmıştır. Kontroller tüm binalarda her iki doğrultuda yapılmıştır. 12 ve 18 katlı betonarme bağ kirişli binanın bağ kiriş dönme kontrolleri Şekil 6.51, 6.52, 6.53 ve 6.54'te verilmiştir.



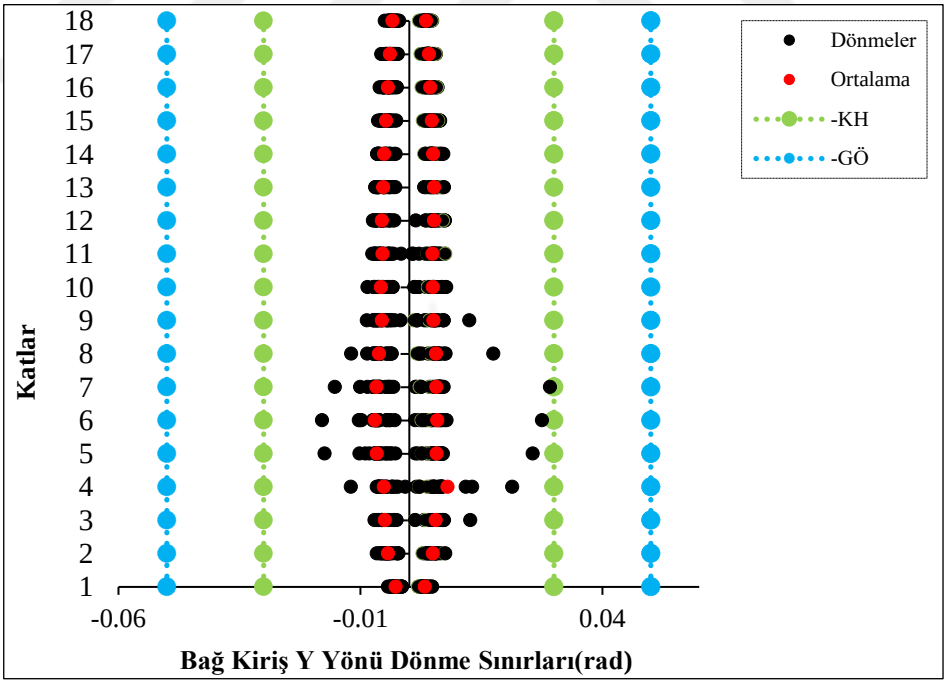
Şekil 6.51. 12 katlı binanın x yönü bağ kirişlerindeki dönme değerleri



Şekil 6.52. 12 katlı binanın y yönü bağ kirişlerindeki dönme değerleri



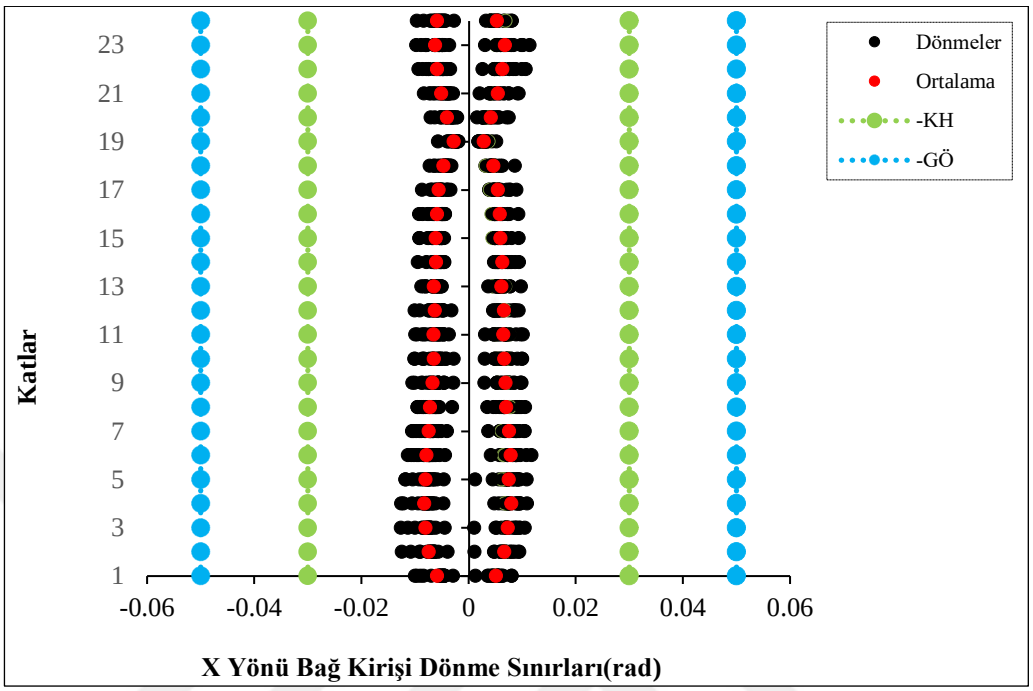
Şekil 6.53. 18 katlı binanın x yönü bağ kirişlerindeki dönme değerleri



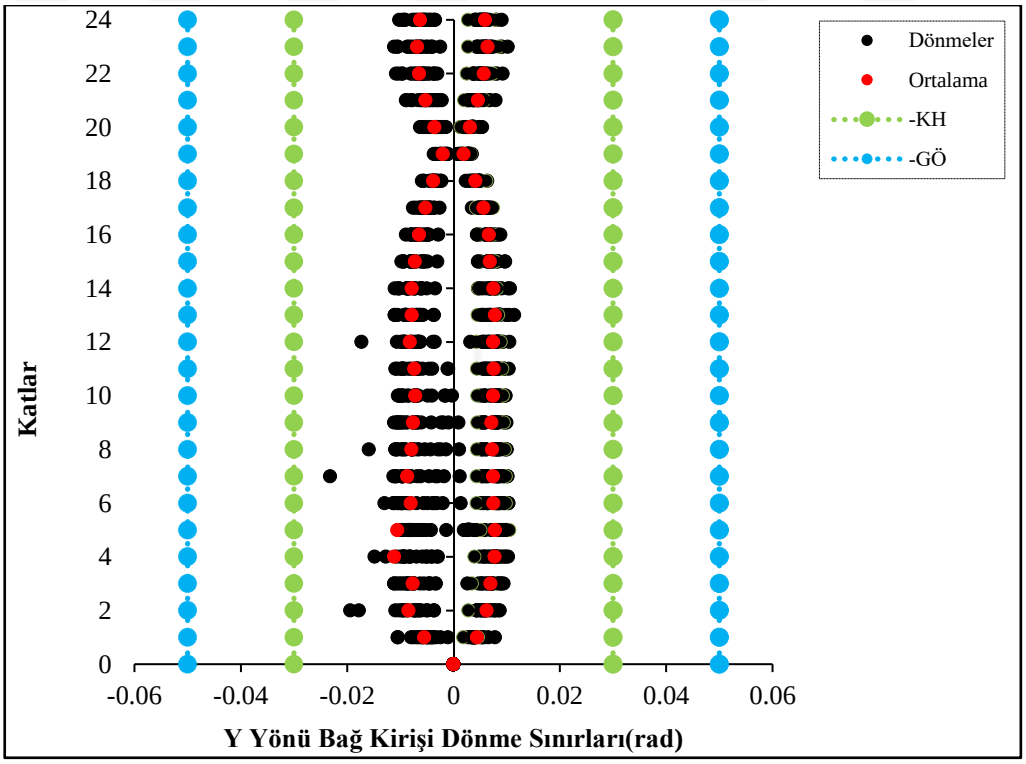
Şekil 6.54. 18 katlı binanın y yönü bağ kiriş dönme değerleri

24 kat betonarme ve çelik bağ kirişli binaların bağ kiriş dönme değerleri Şekil 6.55, 6.56, 6.57 ve 6.58'de verilmiştir. Betonarme ve çelik bağ kirişlerin dönme sınırları

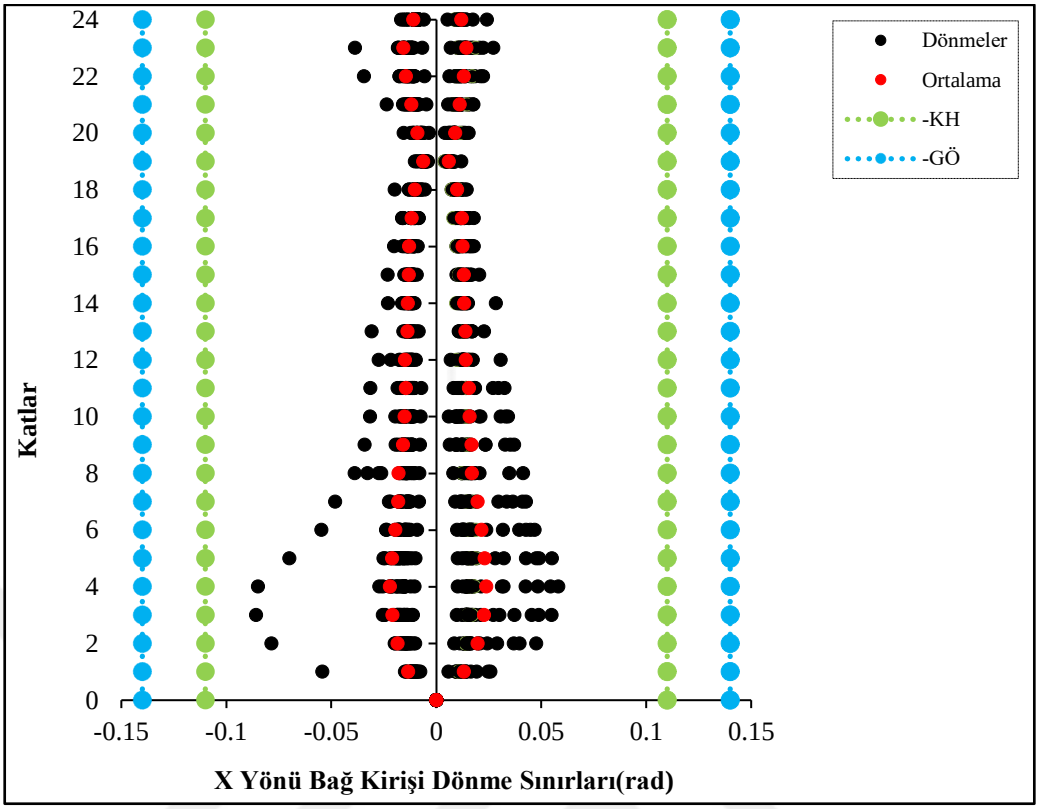
birbirinden farklıdır. Bu nedenle karşılaştırılmalarına yer verilmemiştir. Tüm binalarda bağ kiriş dönme değerleri göçme öncesi sınır değerinin altında kalmıştır.



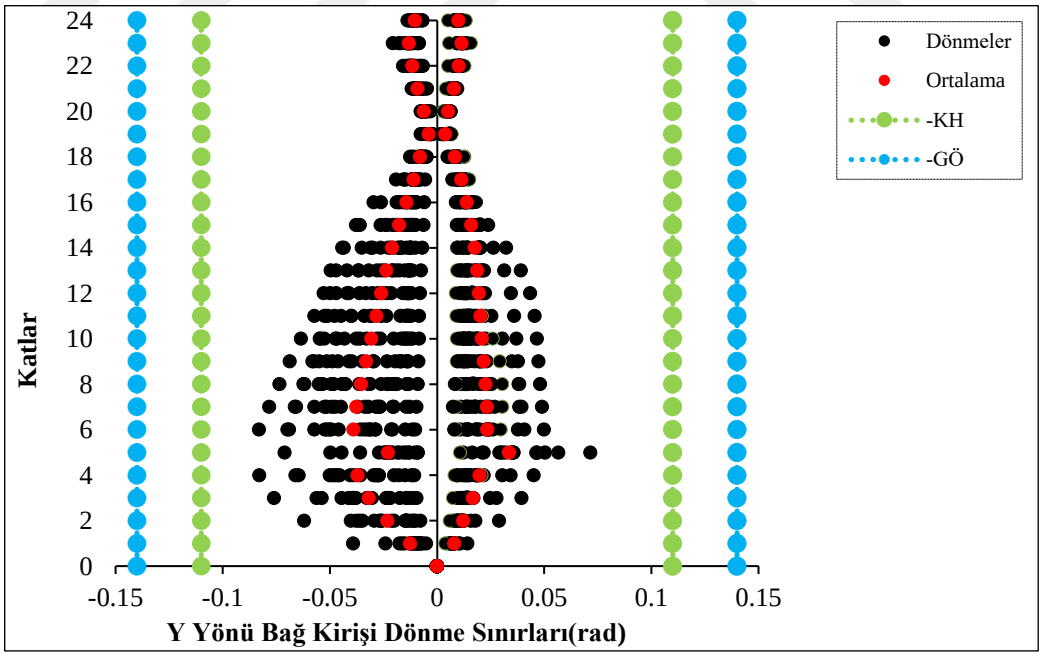
Şekil 6.55. 24 kat B.B.K. binanın x yönü bağ kirişlerindeki dönme değerleri



Şekil 6.56. 24 kat B.B.K. binanın y yönü bağ kirişlerindeki dönme değerleri



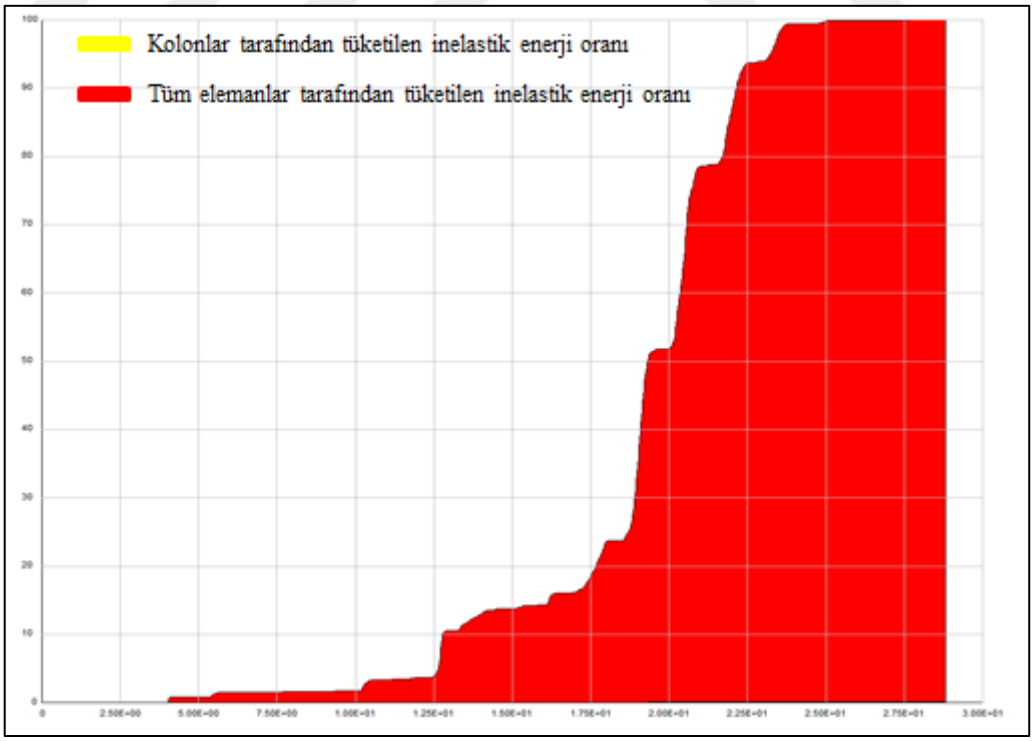
Şekil 6.57. 24 kat Ç.B.K. binanın x yönü bağ kirişlerindeki dönme değerleri



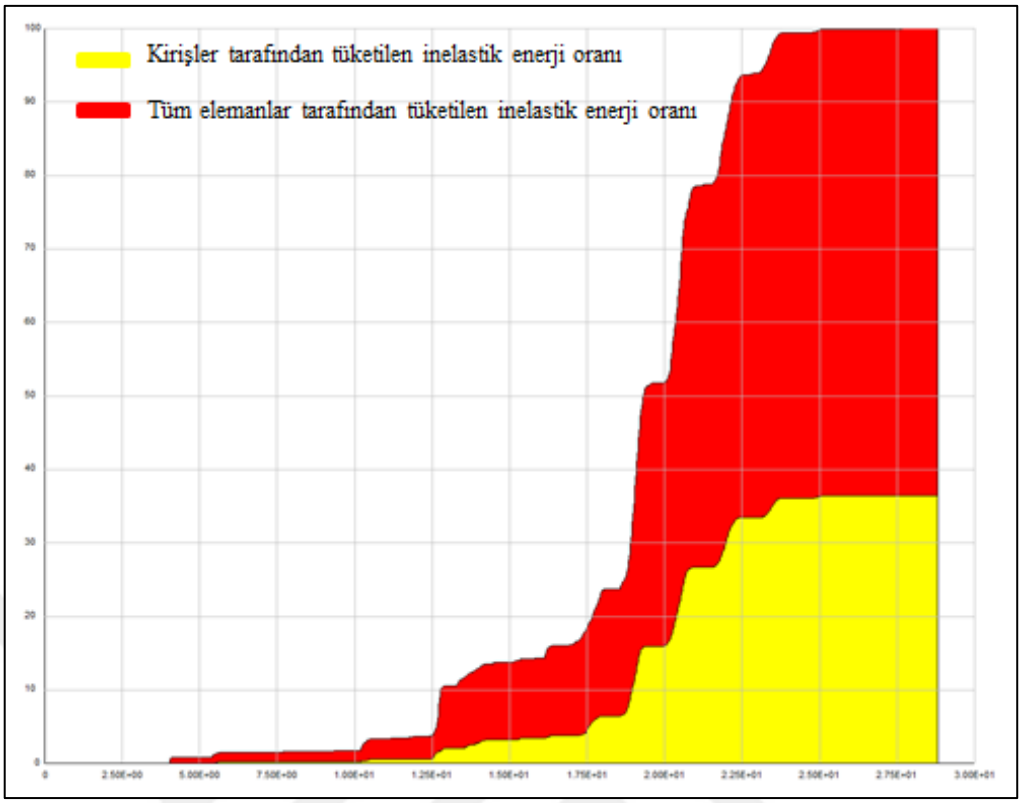
Şekil 6.58. 24 kat Ç.B.K. binanın y yönü bağ kirişlerindeki dönme değerleri

6.6.7. Enerji diyagramları

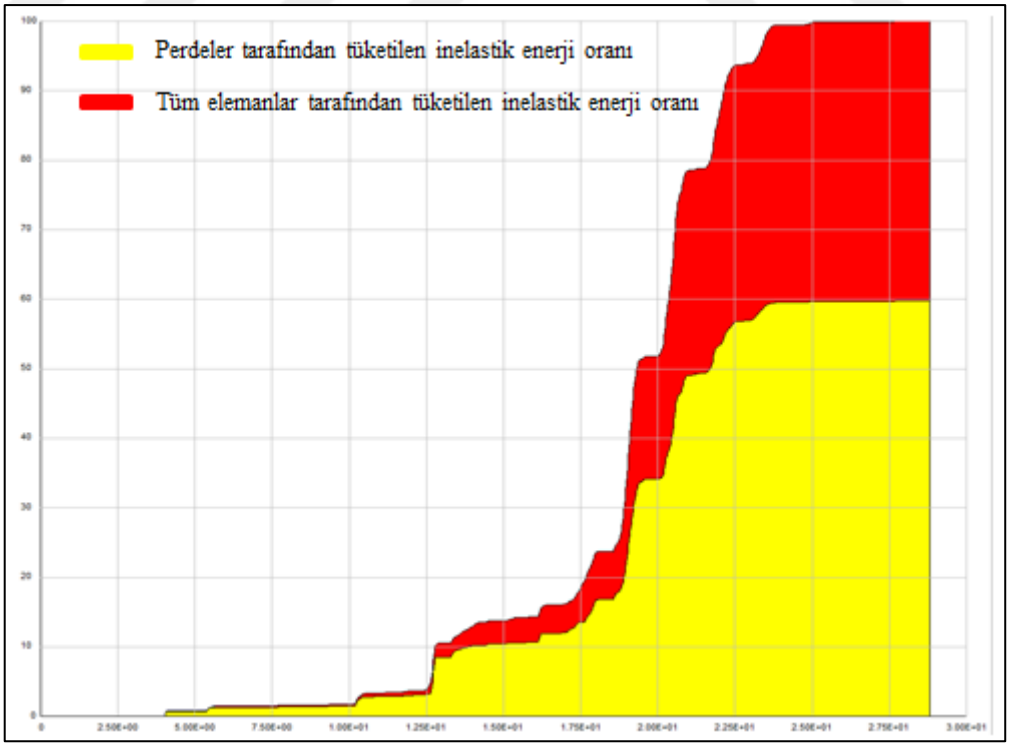
Yapıların doğrusal olmayan analizlerinde, yapı taşıyıcı elemanlarının tüm yapıda ne kadar etkin olduğu ve gelen deprem kuvvetlerinin yapıda hangi enerji çeşidiyle nasıl tüketildiğini görebilmek için enerji diyagramlarından yararlanılmaktadır. Yönetmelik tarafından tanımlanan sönüm oranı %2,5'dur ve rayleigh sönüm çeşidi kullanılmaktadır. Ayrıca kinetik sönüm, birim uzama kısalmadan dolayı oluşan (strain) enerji sönümü, modal enerji sönümü, inelastik enerji sönümü gibi sönüm çeşitleri de yapı sönümlemelerinde aktif olabilmektedir. Dinamik analizler sonucu yapıda ortaya çıkan inelastik enerji en fazla Düzce_Mudurnu depremi altında oluşmuştur. Bu kayıtta incelenen kırmızı renk yapının tüm elemanları tarafından yutulan inelastik enerjiyi, sarı renk ise incelenen kesit tarafından yutulan inelastik enerjiyi ifade etmektedir. Bölüm kapsamında 24 katlı binalarda bulunan kolon, kiriş, bağ kiriş ve perdelerin enerji diyagramları incelenmiştir. 12 ve 18 katlı binaların enerji diyagramları EK 5A'da verilmiştir. 24 katlı betonarme bağ kirişli yapının enerji diyagramları Şekil 6.59, 6.60, 6.61, 6.62 ve 6.63'te görülmektedir. Düzce Mudurnu kaydı DM olarak kısaltılarak isimlendirilmiştir.



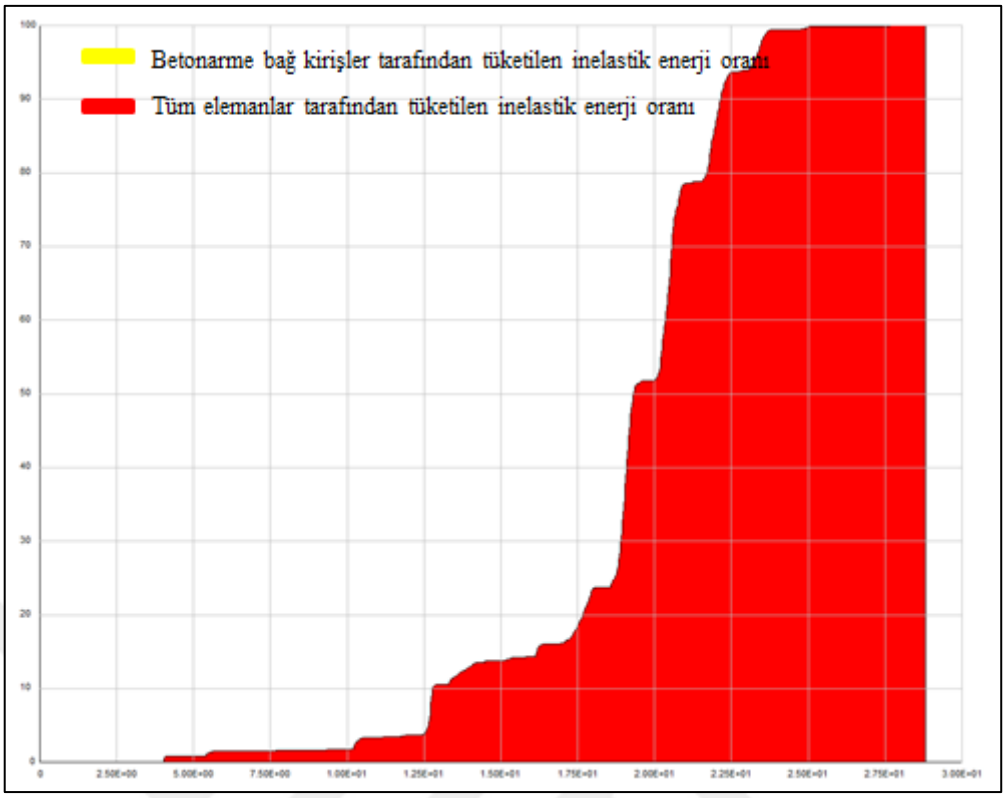
Şekil 6.59. DM kaydı altında kolonlar tarafından tüketilen enerji oranı (y ekseni)-zaman grafiği (x ekseni)



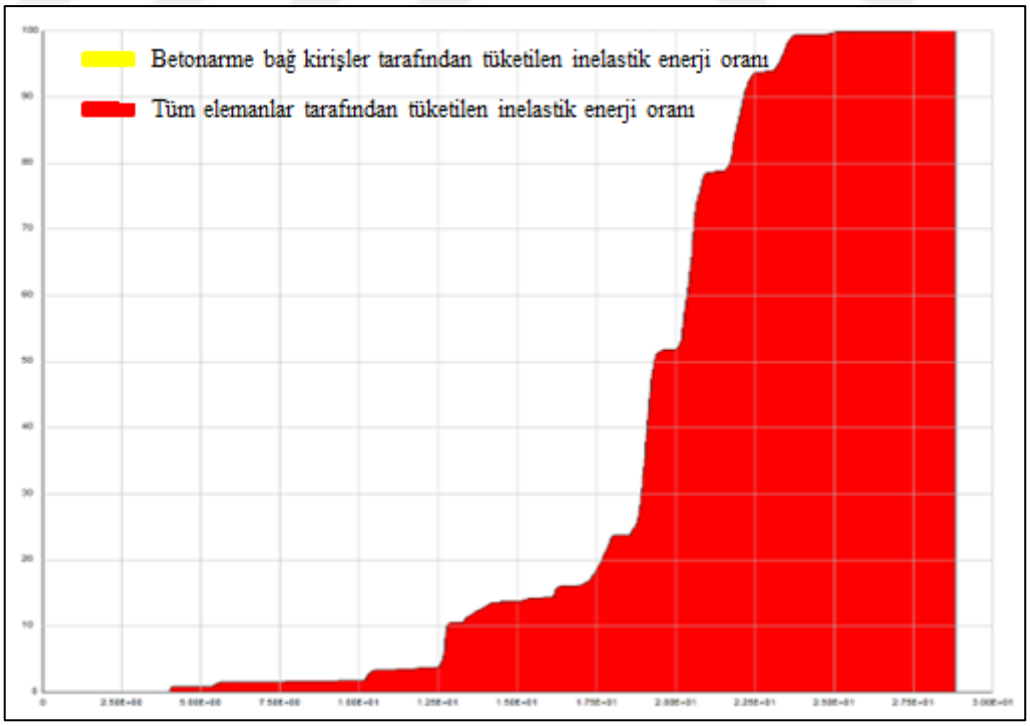
Şekil 6.60. DM kaydı altında kirişler tarafından tüketilen enerji oranı (y ekseni)-zaman grafiği (x ekseni)



Şekil 6.61. DM kaydı altında perdeler tarafından tüketilen enerji oranı (y ekseni)-zaman grafiği (x ekseni)

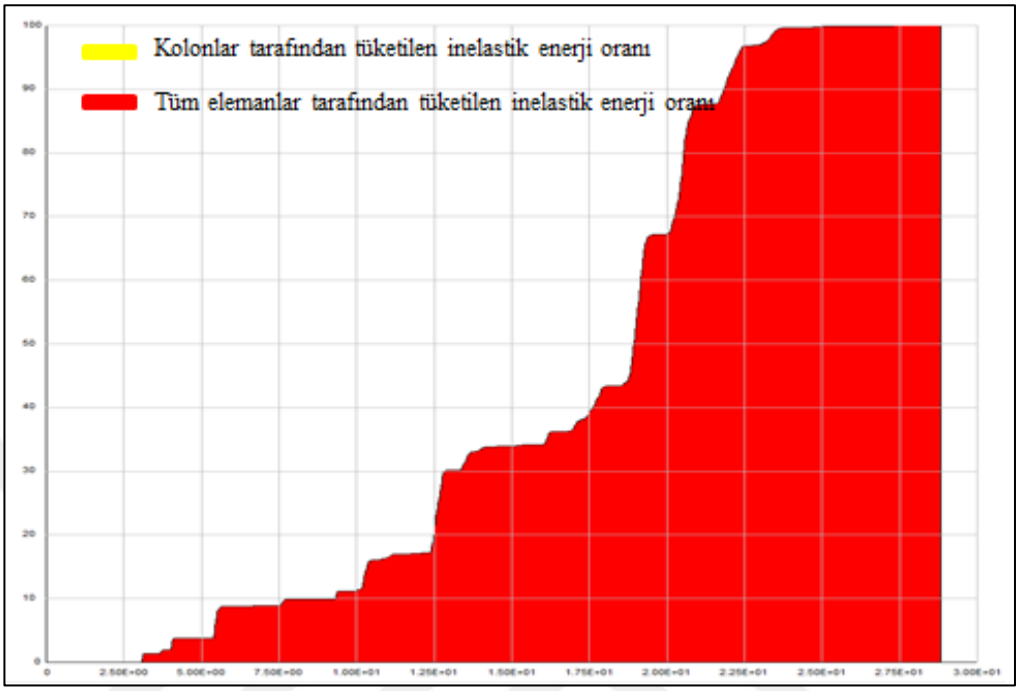


Şekil 6.62. DM kaydı altında x yönü bağ kirişler tarafından tüketilen enerji oranı (y ekseni)-zaman grafiği (x ekseni)

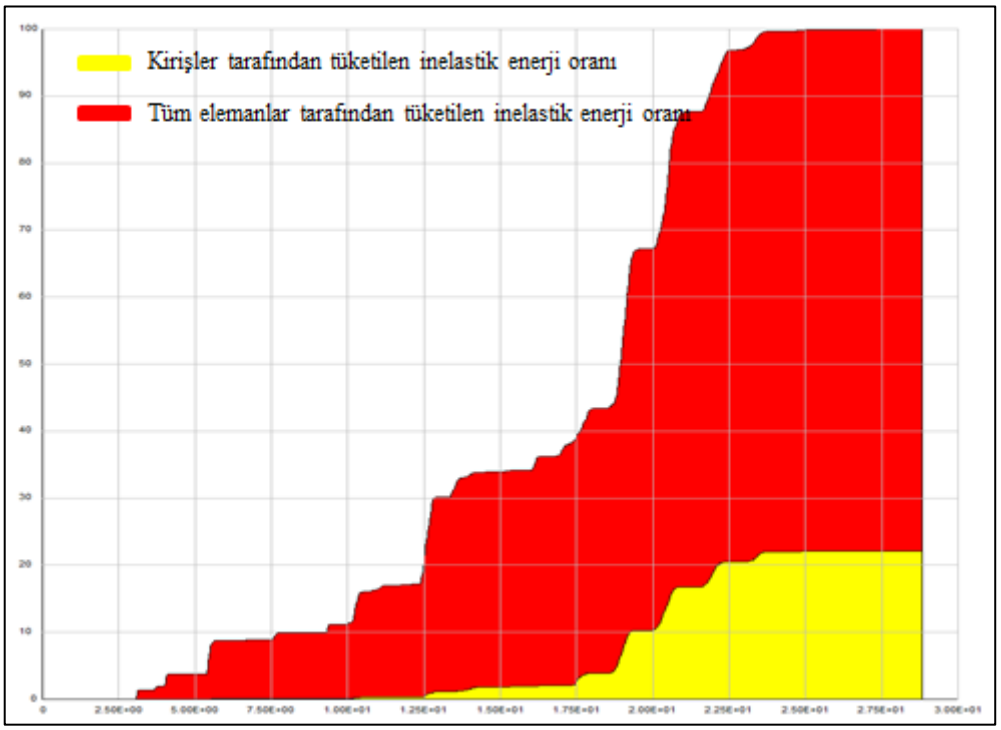


Şekil 6.63. DM kaydı altında y yönü bağ kirişler tarafından tüketilen enerji oranı (y ekseni)-zaman grafiği (x ekseni)

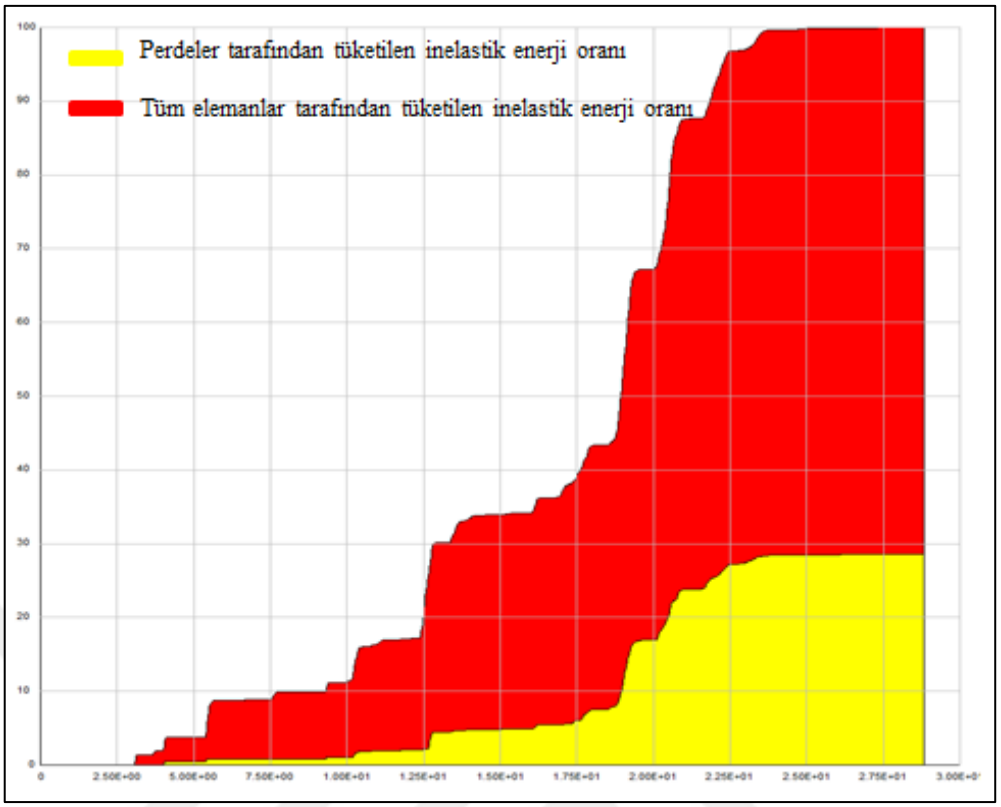
24 katlı çelik bağ kirişli yapının enerji diyagramları Şekil 6.64, 6.65, 6.66, 6.67 ve 6.68'de gösterilmiştir.



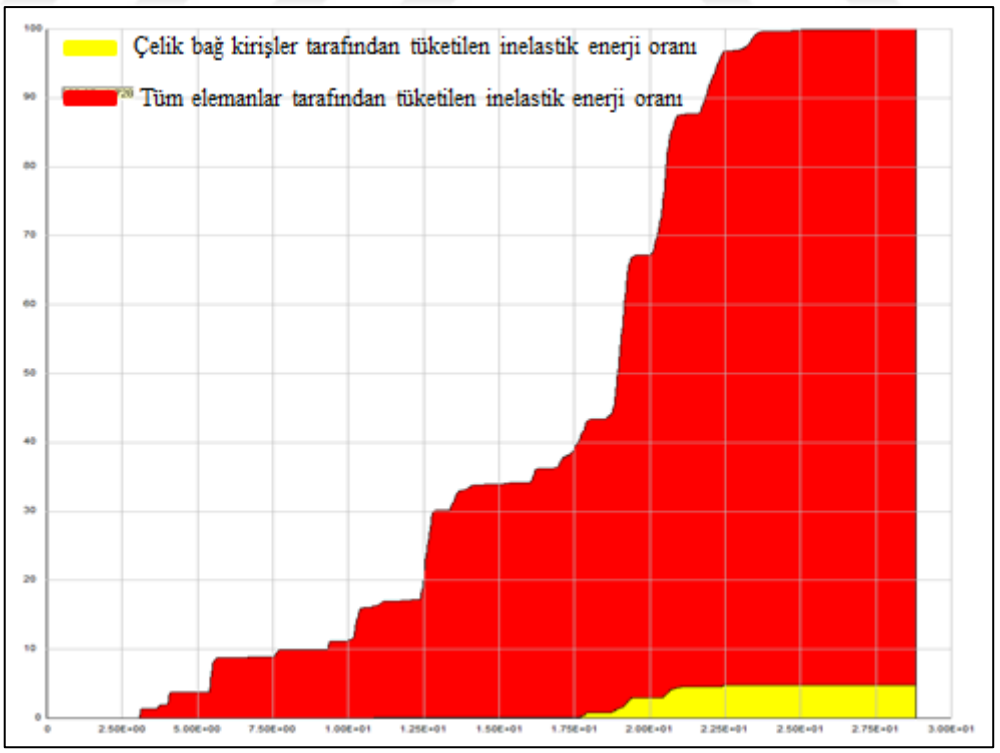
Şekil 6.64. DM kaydı altında kolonlar tarafından tüketilen enerji oranı (y ekseni)-zaman grafiği (x ekseni)



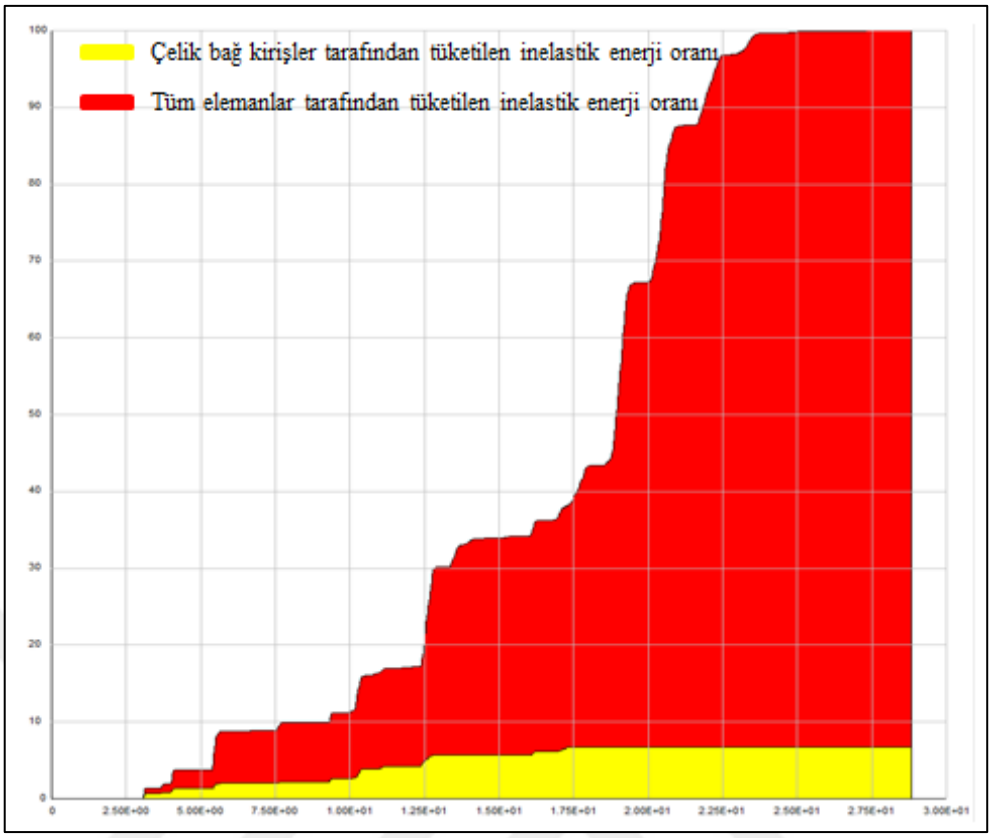
Şekil 6.65. DM kaydı altında kirişler tarafından tüketilen enerji oranı (y ekseni)-zaman grafiği (x ekseni)



Şekil 6.66. DM kaydı altında perdeler tarafından tüketilen enerji oranı (y ekseni)-zaman grafiği (x ekseni)



Şekil 6.67. DM kaydı altında x yönü bağ kirişler tarafından tüketilen enerji oranı (y ekseni)-zaman grafiği (x ekseni)



Şekil 6.68. DM kaydı altında y yönü bağ kirişler tarafından tüketilen enerji oranı (y ekseni)-zaman grafiği (x ekseni)

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında 12, 18, 24 katlı betonarme bağ kirişli yapılar ve 24 katlı çelik bağ kirişli yapı doğrusal tasarım aşamasında ETABS programında, doğrusal olmayan tasarım aşamasında ise PERFORM 3D programında incelendi. TBDY yönetmeliği kapsamında 11 deprem analizinden elde edilen veriler, tekil olarak ve ortalamaları alınarak yorumlandı. Çalışma kapsamında tüm binalarda göçmenin önlenmesi sınır koşulu baz alındı. Ayrıca tüm yapılar kontrollü hasar sınırına göre de kontrol edildi. Betonarme bağ kirişli yapılarda yapı yüksekliğinin artması sonucu ortaya çıkan dönme değerleri, ötelenmeler, iç kuvvetler, enerji diyagramı değişimleri incelendi ve karşılaştırıldı. Yapı elemanlarının hasar seviyeleri tespit edildi. Enerji diyagramlarından yola çıkarak elemanların tüketmiş olduğu inelastik enerji oranları karşılaştırıldı. 24 katlı çelik ve betonarme bağ kirişli binalarda bağ kiriş etkinlikleri karşılaştırıldı. Elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda belirtilmektedir.

- 24 katlı binalarda kesit değişimi periyotları etkilememiştir. Her iki binada kütle katılım ve periyot değerleri aynıdır.
- Bütün binalarda göreli kat öteleme kontrolleri yapılmıştır. Değerler her iki doğrultuda tekil sonuçlarda %4,5'in, ortalama sonuçlarda ise %3'ün altındadır. Bina yüksekliği arttıkça binalarda göreli kat öteleme değerleri artmaktadır. 24 katlı binalarda ötelenme değerleri birbirine yakın çıkmıştır.
- Bütün binalarda çerçeve kiriş kontrolleri tespit edilen kritik kiriş üzerinden yapılmıştır. Kiriş dönmeleri bina yüksekliği arttıkça artmaktadır. 12 ve 18 katlı binalarda dönme değerleri sınır değerlerin oldukça altındadır. 24 katlı binalarda 8-14 katlar arası dönme değerlerinin maksimum seviyeye çıktığı görülmektedir. Ayrıca 16-24 katlar arasında çelik bağ kirişli yapının çerçeve kirişlerinde dönme değerleri azalma göstermiştir. Çelik bağ kirişlerin yapı yüksekliği arttıkça etkinliğinin artması çerçeve kirişlerin dönme değerlerinde azalmaya neden olduğu düşünülmektedir. Genel olarak değerler sınır değerlerin altındadır.

- Bütün binalarda kolon kontrolü kritik kolon üzerinden yapılmıştır. Kolon boyutları kat yüksekliği arttıkça artmaktadır. Yapı yüksekliğinin artması kolon dönmelerini arttırmıştır. 12 katlı binada göçmenin önlenmesi ve kontrollü hasar sınırları aşılmazken, 18 katlı binada 11 depremden elde edilen tekil sonuçların bir kısmı kontrollü hasar sınırını geçmektedir. 24 katlı binalarda ise ilk 2 katta tekil dönme değerleri limit değerin üzerinde kalırken ortalamaları altında kalmaktadır. Çelik bağ kirişli binada kolon dönme değerleri betonarme bağ kirişli binaya göre yüksektir.

- Bina perdelerine gelen kesme kuvveti bina yüksekliği arttıkça artmaktadır. 12 ve 18 katlı binalarda perde kesme kuvvetleri kesit kapasitenin altındadır. 24 katlı binalarda kritik kat yüksekliği ve donatı oranları doğrusal olmayan tasarım aşamasında arttırılmıştır. Artım sonucunda gelen kesme kuvvetleri kesme kapasitesi sınırının altında kalmaktadır. 24 katlı binalara gelen kesme kuvveti kesit değişimi sonucunda değişmemiştir.

- Tüm binalarda beton ve donatı birim şekildeğiştirme değerleri sınır değerin altındadır. Kesit değişimi sonucu birim şekildeğiştirmelerde değişim görülmemektedir.

- Betonarme bağ kirişleri tüm binalarda göçmenin önlenmesi sınır değerinin altında kalmaktadır. Binalarda y yönündeki bağ kirişlerde dönme değerlerinin x yönündekilere göre fazla olduğu tespit edilmiştir.

- Çelik bağ kirişleri tüm binalarda göçmenin önlenmesi sınır değerinin altında kalmaktadır.

- 12 katlı binada kesitlerin enerji yutma diyagramları incelendiğinde çerçeve kirişlerin inelastik enerjinin %90'nını karşıladığı görülmektedir. Bina yüksekliğinin artmasıyla çerçeve kirişlerin etkinliği azalmıştır. 18 katlı yapıda perdelerin inelastik enerji tüketimine destek verdiği ve yaklaşık %20 oranında inelastik enerjiyi karşıladığı görülmektedir.

- 24 katlı betonarme bağ kirişli binada yutulan inelastik enerji çerçeve kirişlerde azalırken perde elemanlarında %55 oranına çıkmaktadır. Buradan bina

yüksekliğinin artması sonucu binada perde elemanların daha aktif görev aldığı görülmektedir.

- 24 katlı çelik binada ise çerçeve kirişlerin etkinliği en alt seviyeye düşmektedir. Yapıda kullanılan çelik bağ kirişler inelastik enerjiyi yaklaşık %10 oranında tüketmektedir. Tüm bağ kirişler içinde en fazla inelastik enerji tüketimi çelik bağ kirişlerde mevcuttur. Perdeler enerji yutma kapasitesi yüksek olan çelik bağ kirişler tarafından desteklenmiştir. Ayrıca perde elemanlarının karşıladığı inelastik enerji tüketiminin azalmasına yardımcı olmuştur.

Çelik bağ kiriş kullanımı durumunda 24 katlı binada, seçilen çelik bağ kiriş kesitinin 13 ve 14'üncü katta kesme kuvveti kapasitesinin %14 üstüne çıkıldığı belirlenmiştir. Diğer katlarda çelik bağ kiriş kesitinin kesme kuvveti kapasitesi aşılmamıştır. Çalışma kapsamında kesitlerde değişim yapılmadığından bu katlarda farklı bir çelik profili kullanılmamıştır. Kesme kuvvetinin aşıldığı belirtilen katlarda, çelik bağ kiriş kesitleri büyütülerek ve diğer katlarda keme kuvveti açısında etki-kapasite oranlarına göre kesitler küçültülerek daha uygun ve ekonomik tasarım yapılacağı açıktır. 24 katlı betonarme ve çelik bağ kirişli binaların kıyaslaması sonucunda esas olarak, çelik bağ kirişlerin davranış açısından olumlu etkisi ortaya konulmuştur.

Yapılara ait doğrusal olmayan sonuçlar Tablo 7.1'de verilmiştir. Verilen değerler maksimum değerlerdir.

Tablo 7.1. 12,18, 24 katlı binaların doğrusal olmayan sonuçlarının karşılaştırmaları

Karşılaştırmalar	12 Katlı BBK Bina*	18 Katlı BBK Bina	24 Katlı BBK Bina	24 Katlı ÇBK Bina*
Bağ Kirişe Gelen Kesme Kuvveti (kN)	775	945	1185	1185
Çapraz Donatı ve Çelik Bağ Kiriş Kesitin Kesme Kapasitesi (kN)	945	1095	1255	1040
P13 Perdesine Gelen Kesme Kuvveti (kN)**	9800	9800	14950	14950
P13 Perdesi Kesme Kapasitesi (kN)**	11960	11960	21460	21460
Ötelenme Oranı (%)	0,5	0,7	1	1
Maksimum Dönme (rad) Kolon	0,0064	0,0091	0,016	0,015
Maksimum Dönme (rad) Kiriş	0,0042	0,0094	0,025	0,025
Maksimum Dönme (rad) Bağ Kiriş	0,004	0,009	0,012	0,045
Tüketilen İnelastik Enerji Oranı (%) Kolon	1***	1	1	1
Tüketilen İnelastik Enerji Oranı (%) Kiriş	90	70	40	20
Tüketilen İnelastik Enerji Oranı (%) Perde	1	20	55	30
Tüketilen İnelastik Enerji Oranı (%) Bağ Kiriş	1	1	1	1

* B.B.K. terimi betonarme bağ kirişli yapı, Ç.B.K. terimi çelik bağ kirişli yapıdır.
** P13 perdesi maksimum kesme ve eğilme kuvveti alan kritik perdedir.
*** Enerji oranları için 1 ifadesi analiz sonucunda yaklaşık sıfıra denk gelen veriye ulaşıldığı için gösterilmiştir.

Sonuç olarak 12, 18 ve 24 katlı binalarda bina taşıyıcı elamanlarının tamamı performans hedefi olan göçmenin önlenmesi sınır değerini aşmamıştır. TBDY 2018 yönetmeliğine göre öngörülen performansta tüm binalar güvenilir durumdadır. Bağ kiriş elemanlarının etkinliği yapı yüksekliği arttıkça artmaktadır. Ayrıca yapı yüksekliği arttıkça çerçeve kirişlerin inelastik enerji yutma oranları azalırken, perde elemanların ve bağ kirişlerin enerji yutma oranları artmaktadır.

Yüksek katlı binalarda betonarme bağ kiriş yerine çelik bağ kiriş kullanılması uygulanabilirlik, boyut ve enerji yutma kapasitesi açısından daha uygundur. Tez çalışması kapsamında bağ kirişlerde moment davranışının etkin olacağı varsayılarak bağ kirişlere dönme plastik mafsalı atanmıştır. Farklı olarak dönme plastik mafsallarının yerine kayma plastik mafsalı tanımlanarak sonuçlar tekrar incelenebilir. Çalışma kapsamında beton ve donatı metrajları yapı çeliği metrajlarıyla karşılaştırılarak ekonomik çözümler ortaya konulabilir.

KAYNAKLAR

[1] TBDY 2018, Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Kurallar, *Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*, Ankara, 2018.

[2] ETABS 2016, Extended Three Dimensional Analysis of Building Systems, *Computer and Structures Inc*., California, 2016.

[3] PERFORM 3D, Nonlinear Analysis and Performance Assesment of 3D Structures, *Computer and Structures Inc*., California, 2005-2011.

[4] X TRACT, Nonlinear Analysis and Performance Assesment of 3D Structures, *Computer and Structures Inc*., California, 2005-2011.

[5] SAP 2000, And Dynamic Finite Element Analysis of Structures, *Computers and Structures Inc*. Berkeley, California, 1976-2009.

[6] Eremre S., Betonarme Yüksek Bir Binanın Tasarımı ve Çelik Bağ Kirişlerin Yapının Sismik Performansı Üzerindeki Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2015, 397978.

[7] Lequesne R. D., Setkit M., Kopczynski C., Ferzli J., Cheng M.Y., Parra Montesinos G. J. and Wight J. K., Implementation of High-Performance Fiber Reinforced Concrete Coupling Beams in HighRise Core-Wall Structures, Advances in FRC Durability and Field Applications, *American Concrete Institute*, SP280, Farmington Hills, 2011, MI, 12.

[8] Motter C. J., Large-Scale Testing of Steel-Reinforced Concrete (SRC) Coupling Beams Embedded into Reinforced Concrete Structura Walls, PhD. Thesis, UCLA Electronic Theses and Dissertations, 2014.

[9] Harries K.A., Ductility and Deformability of Coupling Beams in Reinforced Concrete Coupled Walls, *Proceedings of the Eighth Canadian Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, Canada, 13-16 June 1999.

[10] Kent A. H., Bingnian G., Bahram M., Behavior and Design of Reinforced Concrete- Steel and Steel-Concrete Coupling Beams, *Earthquake Spectra*, 2000, **16**(4), 775-799.

[11] Paulay T. and Binney J.R., Diagonally Reinforced Coupling Beams of Shear Walls - Shear in Reinforced Concrete, *American Concrete Institu (ACI)*, 1974, **21**(52), 579-598.

[12] Tassios T. P., Moretti M. and Bezas A., On The Behavior and Ductility of Reinforced Concrete Coupling Beams of Shear Walls, *ACI Structer J*., 1996, **93**(6), 711-720.

[13] Kwan Galano L. and Vignoli A., Seismic Behavior of Short Coupling Beams with Different Reinforcement Layouts, *ACI Structer J*., 2000, **97**(89), 876-885.

[14] Kwan A. and Zhao Z., Cyclic Behaviour of Deep Reinforced Concrete Coupling Beams, *Proceedings of the ICE-Structures and Buildings*, 2002, **152**(3), 283-293.

[15] Fortney P. J., Rassati G. A. and Shahrooz B. M., Investigation on Effect of Transverse Reinforcement on Performance of Diagonally Reinforced Coupling Beams, *ACI Struct.J.*, 2008, **105**(6), 781-788.

[16] Naish D., Fry J. A., Klemencic R., and Wallace J., Experimental Evaluation and Analytical Modeling of ACI 318-05/08 Reinforced Concrete Coupling Beams Subjected to Reversed Cyclic Loading, *ACI Structer J*., 2013, **110**(6), 1057-1066.

[17] Lehman D., Turgeon J., Birely A., Hart C., Marley K., Kuchma D., Lowes L., Seismic Behavior of a Modern Concrete Coupled Wall, *J.Struct.Eng.*, 2013, **139**(8), 1371-1381.

[18] Harries K.A., Mitchell D., Cook W.D., Redwood R.G., Seismic Response of Steel Beams Coupling Concrete Walls, *ASCE Journal of Structural Engineering*, 1993, **119**(2), 3611-3629.

[19] Gong B. and Shahrooz B.M, Concrete-steel Composite Coupling Beams-Behaviour and Design, *ASCE Journal of Structural Engineering*, 2001, **127**(6), 625- 631.

[20] Hosseini M., Sadeghi H., Habiby S., Comparing the Nonlinear Behaviors of Steel and Concrete Link Beams in Coupled Shear Walls System by Finite Element Analysis, *The Twelfth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction*, Hong Kong, China, 26-28 January 2011.

[21] Crisan A., Dubina D., Bending–Shear İnteraction in Short Coupling Steel Beams With Reduced Beam Section, *Journal of Constructional Steel Research*, 2016, **122**(1), 190-197.

[22] ASCE 41-13, Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings, *American Society of CivilEngineers*, Virginia, 2013.

[23] PEER/ATC 72-1, Modeling and Acceptance Criteria for Seismic Design and Analysis of Tall Buildings, *Pacific Earthquake Engineering Research Center Richmond*, CA., 2010.

[24] FEMA 440, Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, *Federal Emergency Management Agency*, Washington, 2005.

[25] Özer E., Kapasite Tasarımı İlkesi ve Türk Deprem Yönetmeliği, *6. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, Türkiye, 16-20 Ekim 2007.

[26] Uygun G., Celep Z., Betonarme Bir Binanın Deprem Güvenliğinin Deprem Yönetmeliği (2007)'deki Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Yöntemlerle Karşılaştırmalı İncelenmesi, *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, Türkiye, 16-20 Ekim 2007.

[27] Özer Erkan., İleri Yapı Statiği Ders Notları, İstanbul Teknik Üniversitesi İstanbul, Türkiye, 2009.

[28] Çakıroğlu A., Özer E., *Malzeme Bakımından Lineer Olmayan Sistemler*, Cilt 1, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul, 1980.

[29] Celep Z., *Betonarme Yapılar*, Cilt 1, Beta Dağıtım, İstanbul, 2011.

[30] 1.Dönem Performansa Bağlı Yapısal Tasarım Kursu Teori Bölümü, 2012-2013 İlkbahar - Yaz Dönemi, 2013.

[31] Taranath B., *Reinforced Concrete Design of Tall Buildings*, 1sth, CRC Press, Florida, 2009

[32] TS 498, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1997.

[33] TS 500, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2000.

[34] İYBDY, İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği, *Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Boğaziçi Üniversitesi*, İstanbul, 2008.

[35] Timothy D., Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California/ https://ngawest2.berkeley.edu/spectras/new?sourceDb_flag=1 (Ziyaret Tarihi 18 Kasım 2018)

EKLER

EK A: PERFORM 3D Programında Modelleme Adımları

Tablo A.1. 12 katlı yapının kütle katılım oranları

Mod	Periyot	UX	UY	Toplam UX	Toplam UY
1	0,81	0,7	0,00	0,70	0,00
2	0,78	0,00	0,00	0,70	0,00
3	0,52	0,00	0,70	0,70	0,70
4	0,21	0,00	0,00	0,70	0,70
5	0,19	0,16	0,00	0,86	0,70
6	0,13	0,00	0,18	0,86	0,89
7	0,1	0,00	0,00	0,86	0,89
8	0,08	0,06	0,00	0,92	0,89
9	0,06	0,00	0,00	0,92	0,89
10	0,06	0,00	0,05	0,92	0,94
11	0,05	0,03	0,00	0,95	0,94
12	0,05	0,00	0,00	0,95	0,94
13	0,04	0,00	0,02	0,95	0,97
14	0,03	0,00	0,00	0,95	0,97
15	0,03	0,02	0,00	0,97	0,97
16	0,03	0,00	0,01	0,97	0,98
17	0,02	0,00	0,00	0,97	0,98
18	0,02	0,01	0,00	0,98	0,98
19	0,02	0,00	0,00	0,98	0,98
20	0,02	0,00	0,01	0,98	0,99

Tablo A.2. 18 katlı yapının kütle katılım oranları

Mod	Periyot	UX	UY	Toplam UX	Toplam UY
1	1,20	0,69	0,00	0,69	0,00
2	1,20	0,00	0,00	0,69	0,00
3	0,88	0,00	0,67	0,69	0,67
4	0,33	0,00	0,00	0,69	0,67
5	0,31	0,15	0,00	0,85	0,67
6	0,21	0,00	0,18	0,85	0,86
7	0,16	0,00	0,00	0,85	0,86
8	0,14	0,06	0,00	0,90	0,86
9	0,10	0,00	0,00	0,90	0,86
10	0,09	0,00	0,06	0,90	0,92
11	0,08	0,03	0,00	0,94	0,92
12	0,07	0,00	0,00	0,94	0,92
13	0,06	0,00	0,03	0,94	0,95
14	0,05	0,02	0,00	0,96	0,95
15	0,05	0,00	0,00	0,96	0,95
16	0,04	0,00	0,00	0,96	0,95
17	0,04	0,00	0,02	0,96	0,97
18	0,04	0,01	0,00	0,97	0,97
19	0,04	0,00	0,00	0,97	0,97
20	0,03	0,00	0,01	0,97	0,98

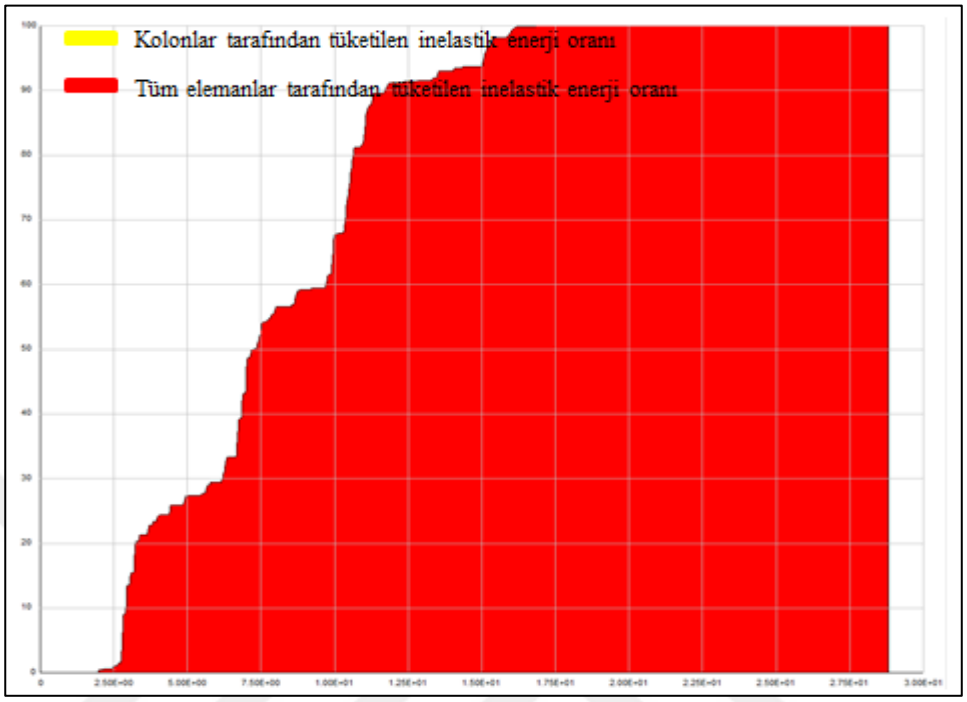
Tablo A.3. 24 katlı betonarme bağ kirişli yapının kütle katılım oranları

Mod	Periyot	UX	UY	Toplam UX	Toplam UY
1	1,64	0,75	0,00	0,75	0,00
2	1,61	0,00	0,00	0,75	0,00
3	1,15	0,00	0,75	0,75	0,75
4	0,43	0,00	0,00	0,75	0,75
5	0,39	0,12	0,00	0,87	0,75
6	0,26	0,00	0,13	0,87	0,88
7	0,21	0,00	0,00	0,87	0,88
8	0,18	0,05	0,00	0,92	0,88
9	0,13	0,00	0,00	0,92	0,88
10	0,12	0,00	0,05	0,92	0,93
11	0,11	0,03	0,00	0,94	0,93
12	0,09	0,00	0,00	0,94	0,93
13	0,08	0,00	0,03	0,94	0,96
14	0,07	0,02	0,00	0,96	0,96
15	0,07	0,00	0,00	0,96	0,96
16	0,06	0,00	0,00	0,96	0,96
17	0,05	0,00	0,01	0,96	0,97
18	0,05	0,01	0,00	0,97	0,97
19	0,05	0,00	0,00	0,97	0,97
20	0,04	0,00	0,01	0,97	0,98

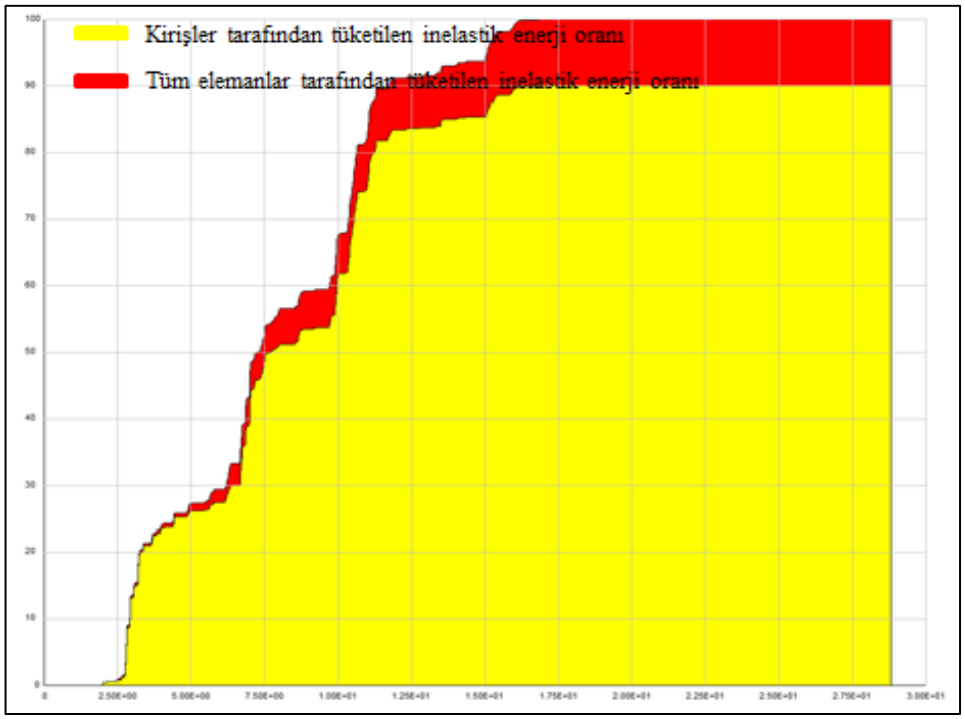
Tablo A.4. 24 katlı çelik bağ kirişli yapının kütle katılım oranları

Mod	Periyot	UX	UY	Toplam UX	Toplam UY
1	1,63	0,74	0,00	0,74	0,00
2	1,61	0,01	0,00	0,75	0,00
3	1,14	0,00	0,75	0,75	0,75
4	0,43	0,00	0,00	0,75	0,75
5	0,39	0,12	0,00	0,87	0,75
6	0,26	0,00	0,13	0,87	0,88
7	0,21	0,00	0,00	0,87	0,88
8	0,18	0,05	0,00	0,92	0,88
9	0,13	0,00	0,00	0,92	0,88
10	0,12	0,00	0,05	0,92	0,93
11	0,11	0,03	0,00	0,95	0,93
12	0,09	0,00	0,00	0,95	0,93
13	0,08	0,00	0,03	0,95	0,96
14	0,07	0,02	0,00	0,96	0,96
15	0,07	0,00	0,00	0,96	0,96
16	0,06	0,00	0,00	0,96	0,96
17	0,05	0,00	0,01	0,96	0,97
18	0,05	0,01	0,00	0,97	0,97
19	0,05	0,00	0,00	0,97	0,97
20	0,04	0,00	0,01	0,97	0,98

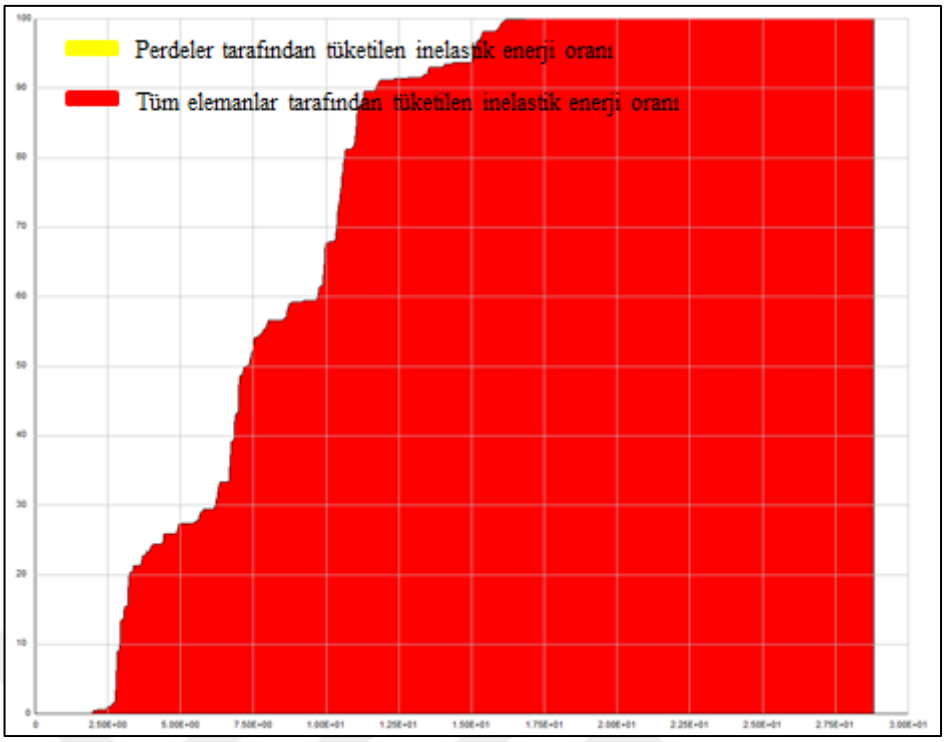
12 katlı binanın taşıyıcı eleman enerji diyagramları Şekil A.1, A.2, A.3, A.4 ve A.5'de verilmiştir.



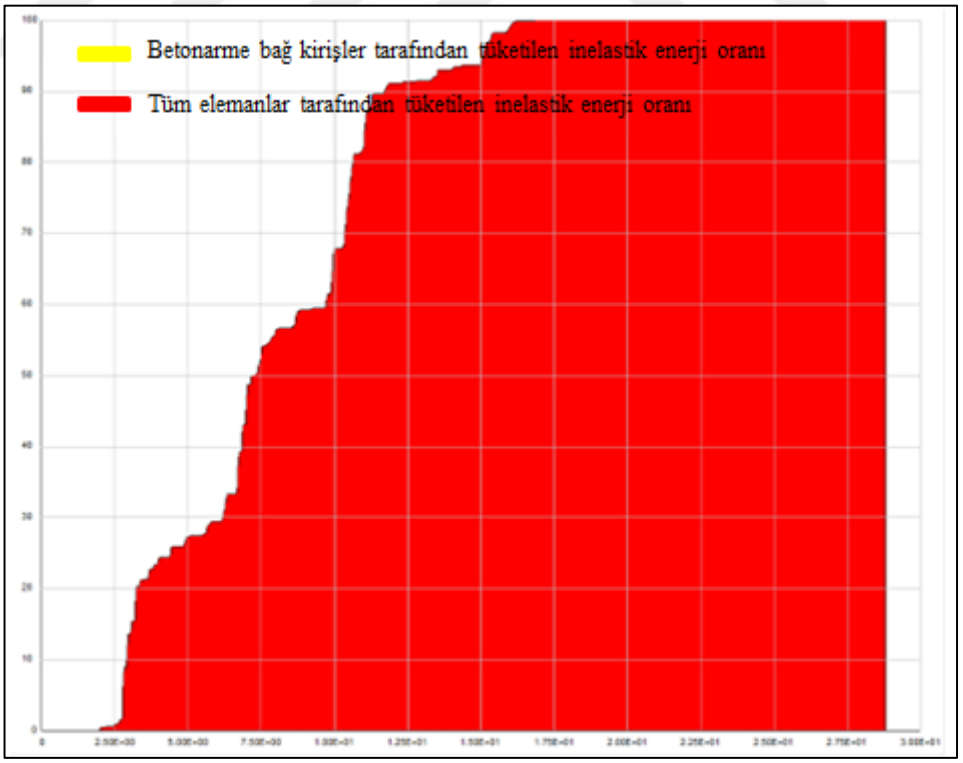
Şekil A.1. DM kaydı altında kolonlar tarafından tüketilen enerji oranı (y ekseni)- zaman grafiği (x ekseni)



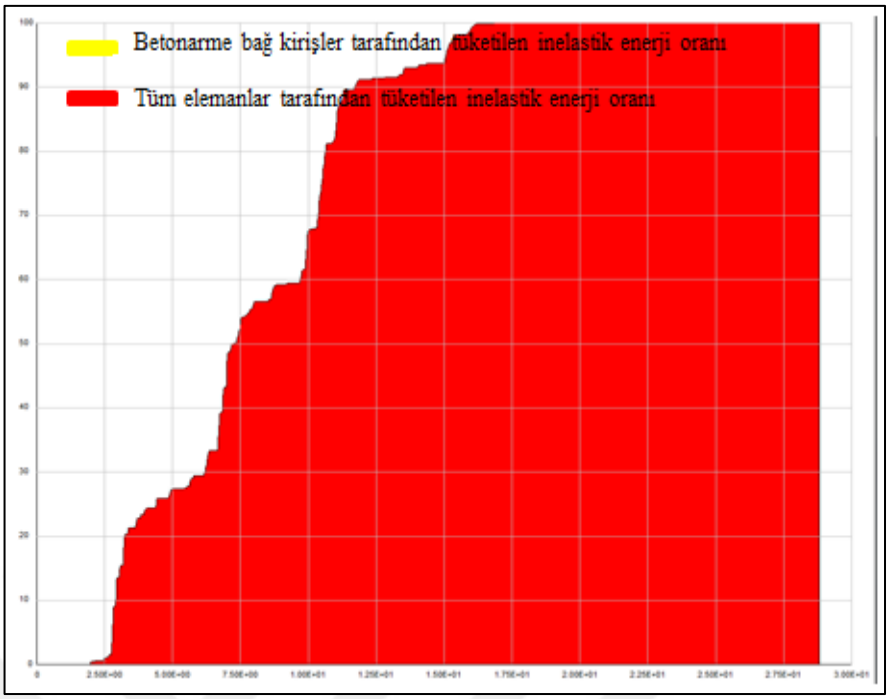
Şekil A.2. DM kaydı altında kirişler tarafından tüketilen enerji oranı (y ekseni)-zaman grafiği (x ekseni)



Şekil A.3. DM kaydı altında perdeler tarafından tüketilen enerji oranı (y ekseni)-zaman grafiği (x ekseni)

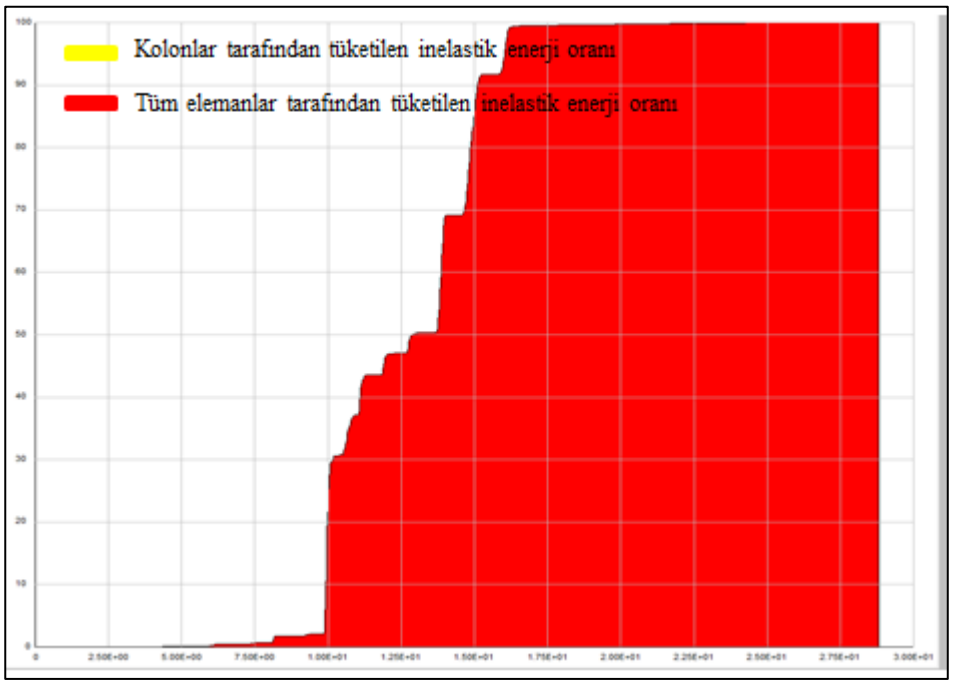


Şekil A.4. DM kaydı altında x yönü bağ kirişler tarafından tüketilen enerji oranı (y ekseni)-zaman grafiği (x ekseni)

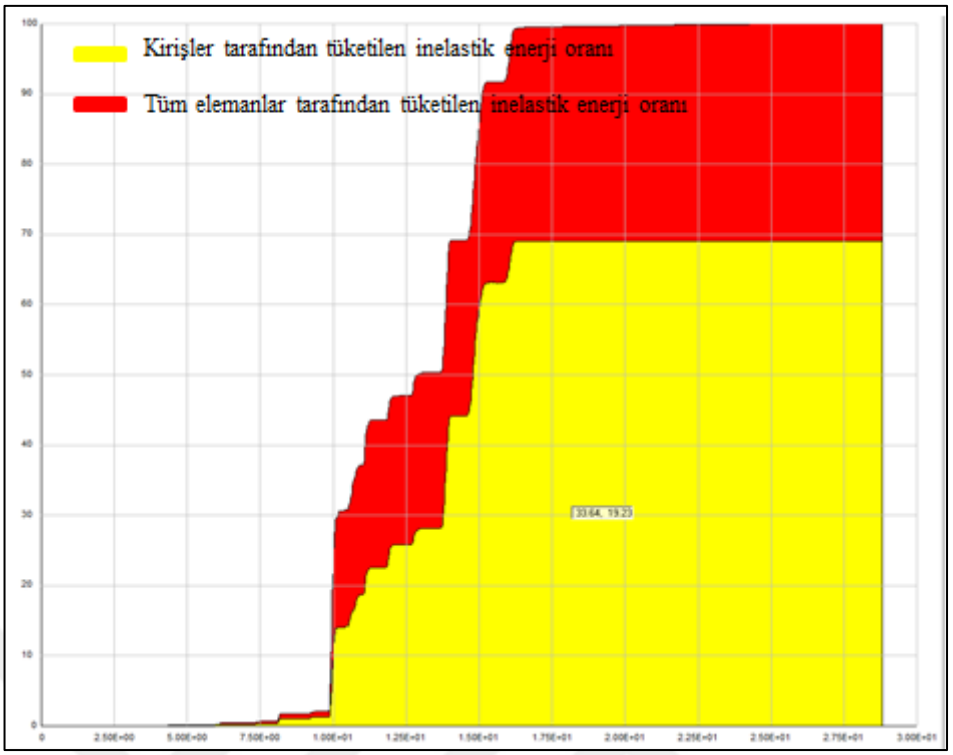


Şekil A.5. DM kaydı altında y yönü bağ kirişler tarafından tüketilen enerji oranı (y ekseni)-zaman grafiği (x ekseni)

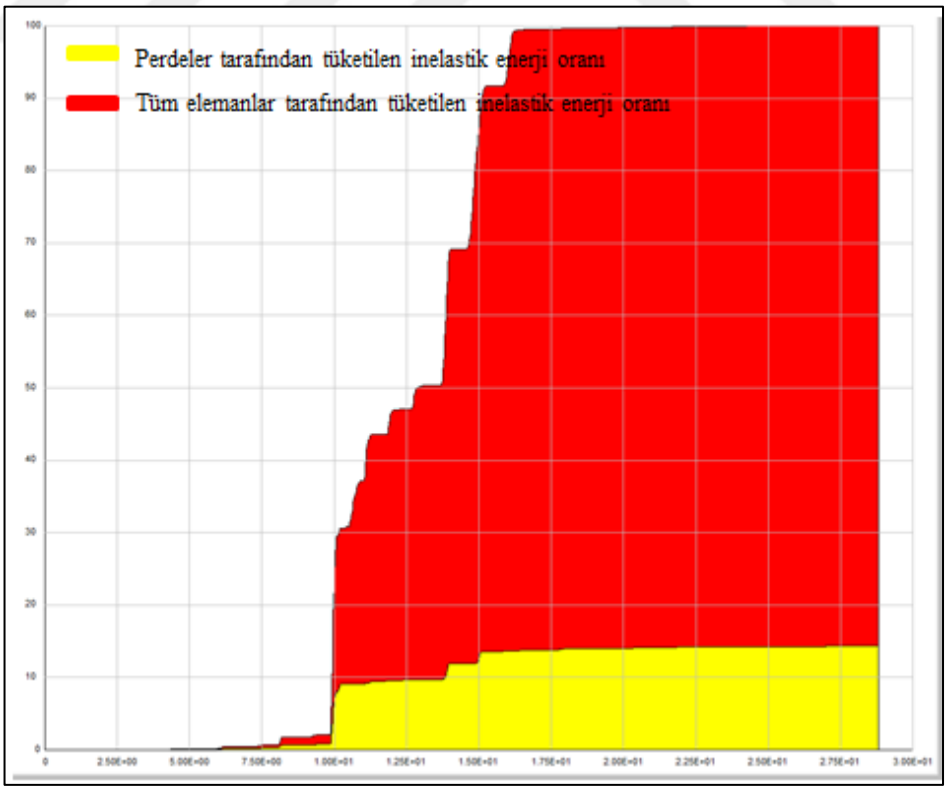
18 katlı binanın taşıyıcı eleman enerji diyagramları Şekil A.6, A.7, A.8, A.9 ve A.10'da verilmiştir.



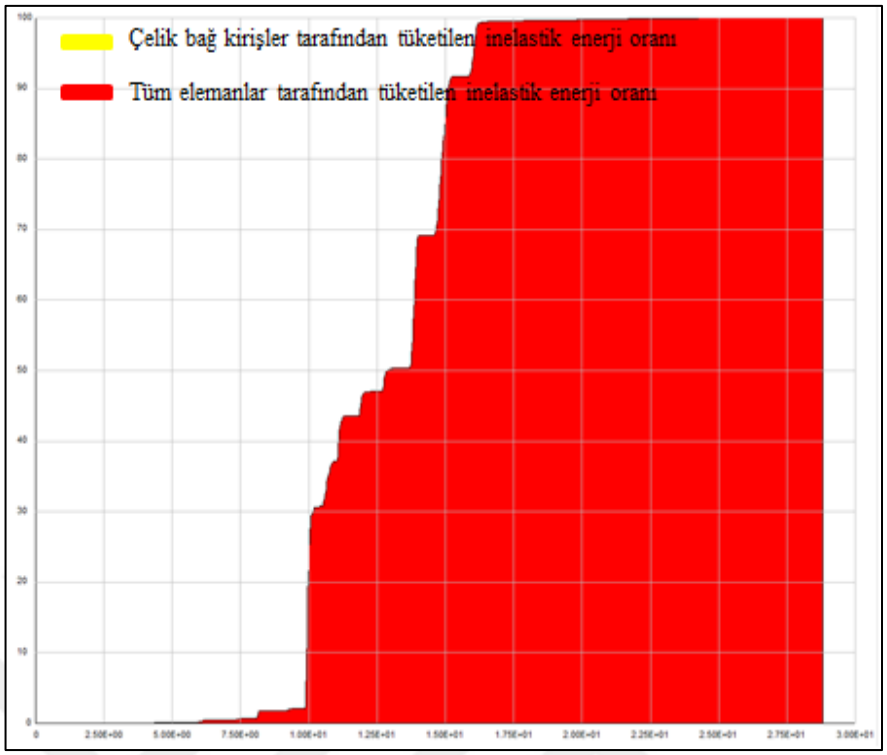
Şekil A.6. DM kaydı altında kolonlar tarafından tüketilen enerji oranı (y ekseni)-zaman grafiği (x ekseni)



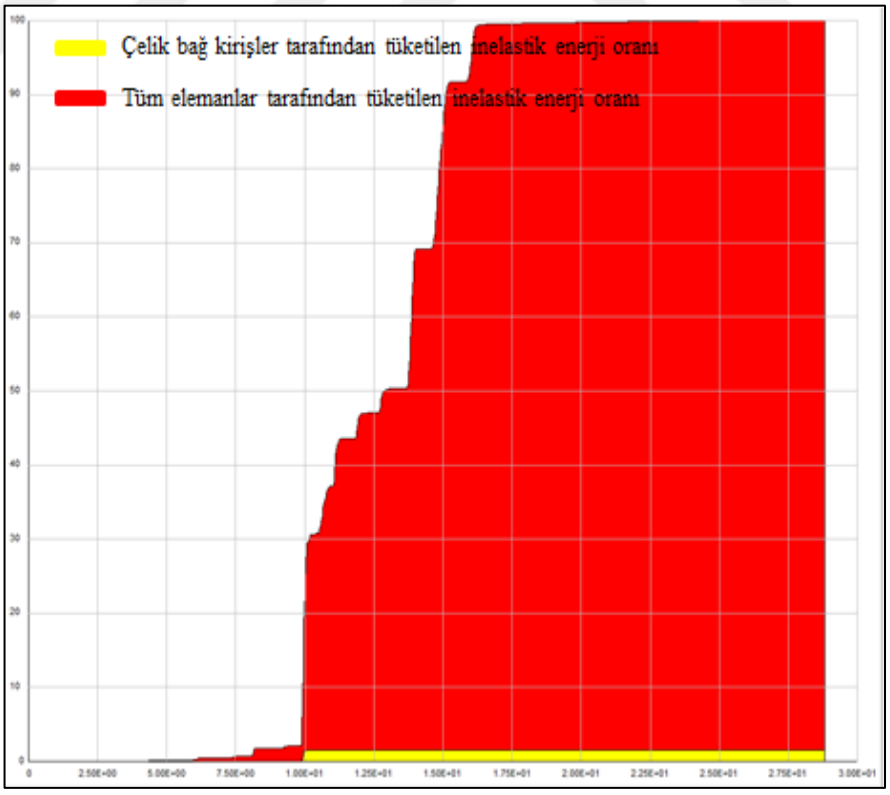
Şekil A.7. DM kaydı altında kirişler tarafından tüketilen enerji oranı (y ekseni)-zaman grafiği (x ekseni)



Şekil A.8. DM kaydı altında perdeler tarafından tüketilen enerji oranı (y ekseni)-zaman grafiği (x ekseni)

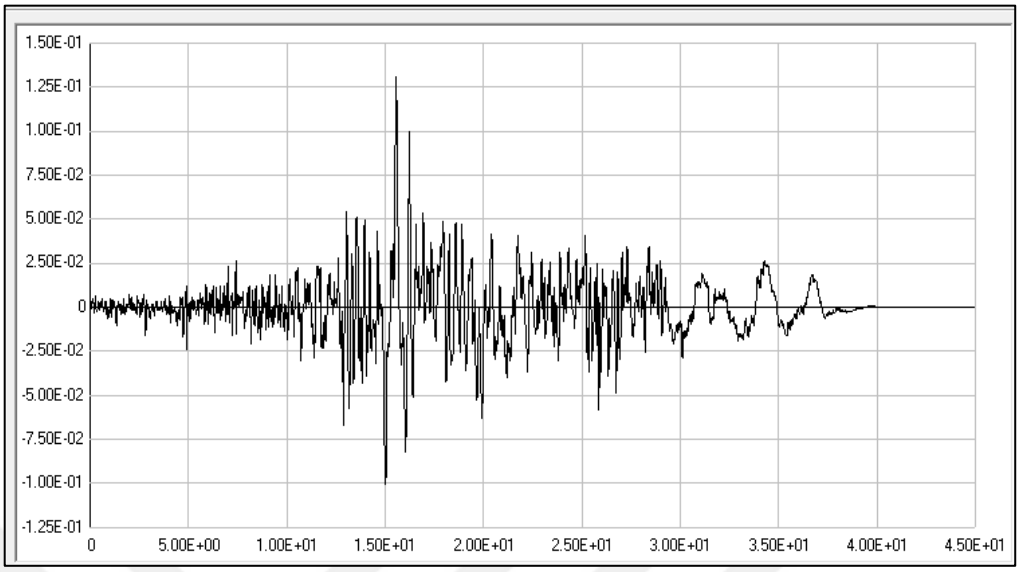


Şekil A.9. DM kaydı altında x yönü bağ kirişler tarafından tüketilen enerji oranı (y ekseni)-zaman grafiği (x ekseni)

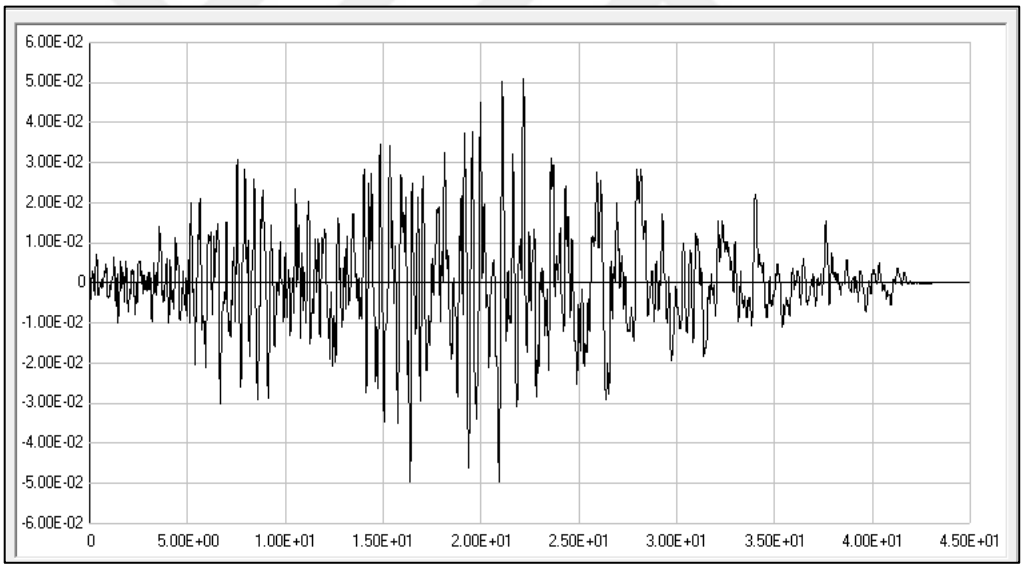


Şekil A.10. DM kaydı altında y yönü bağ kirişler tarafından tüketilen enerji oranı (y ekseni)-zaman grafiği (x ekseni)

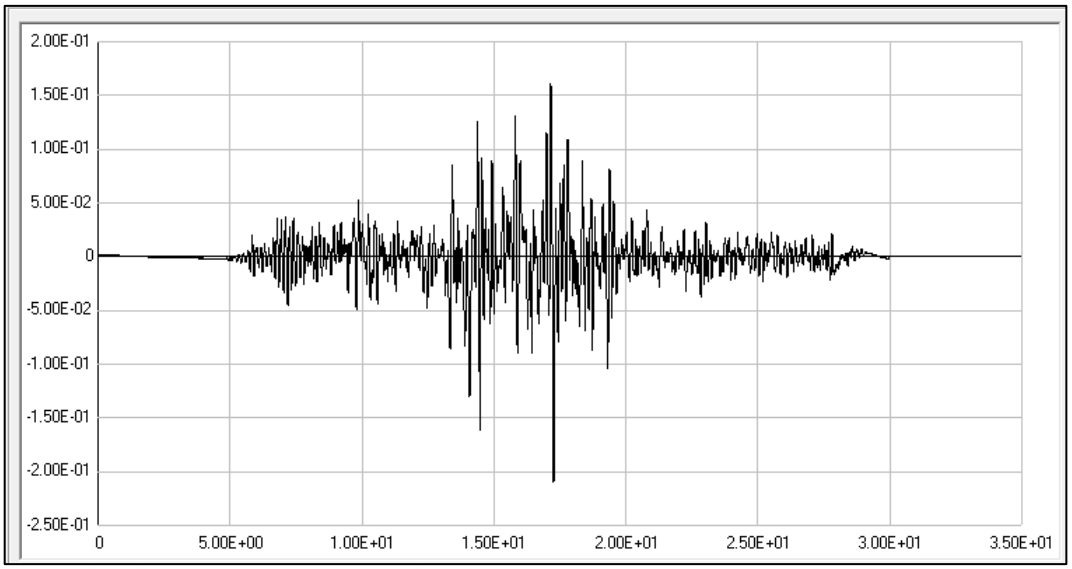
EK B: Seçilen Deprem Kayıtları



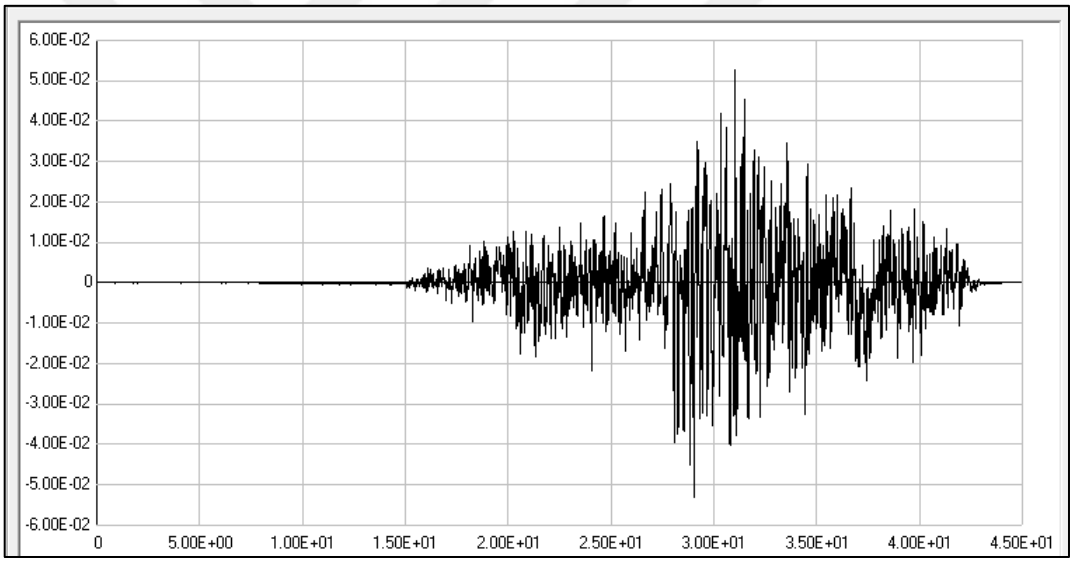
Şekil B.1. Landers depremi, Barstow istasyonu, ivme(g)-zaman(s) grafiği



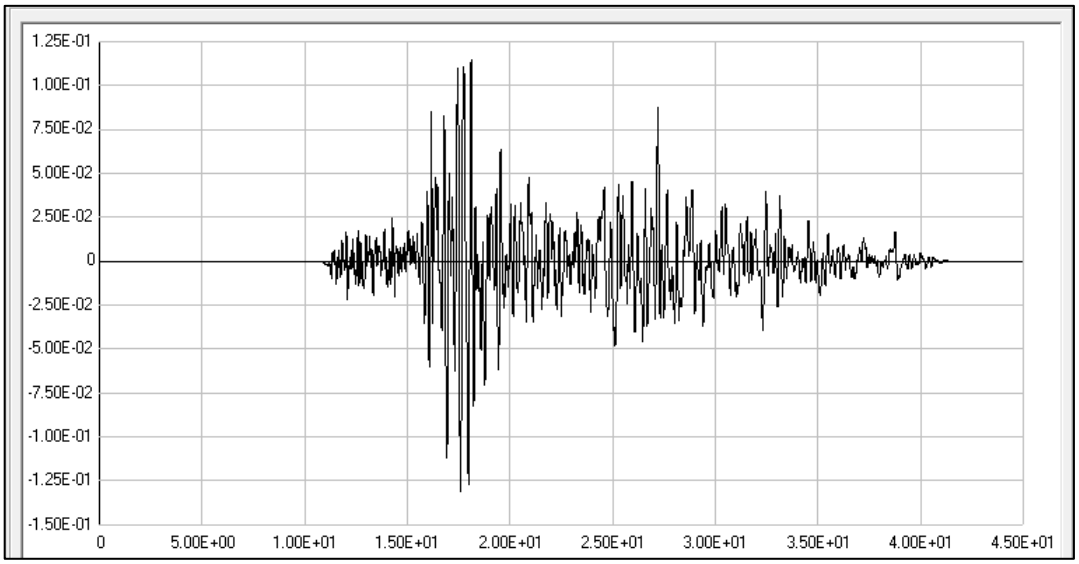
Şekil B.2. Landers depremi, Featherly Park-Maint istasyonu, ivme(g)-zaman(s) grafiği



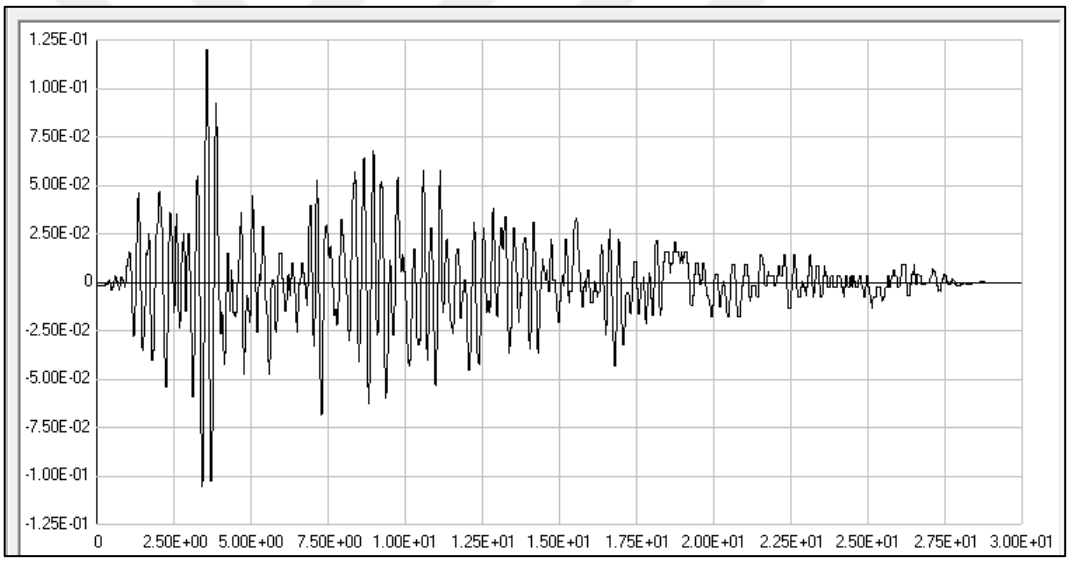
Şekil B.3. Kocaeli depremi, Arcelik istasyonu, ivme(g)-zaman(s) grafiği



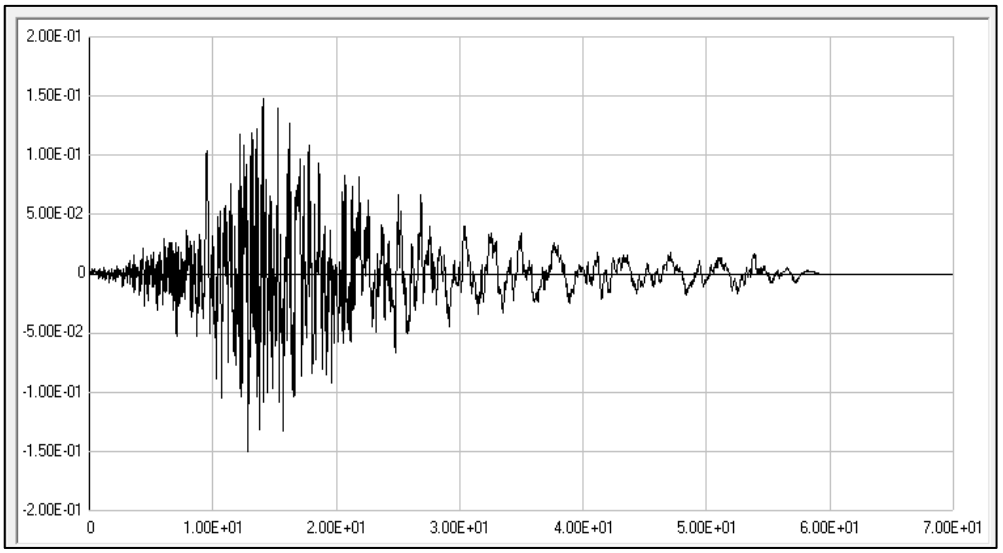
Şekil B.4. Kocaeli depremi, Mecidiyekoy istasyonu, ivme(g)-zaman(s) grafiği



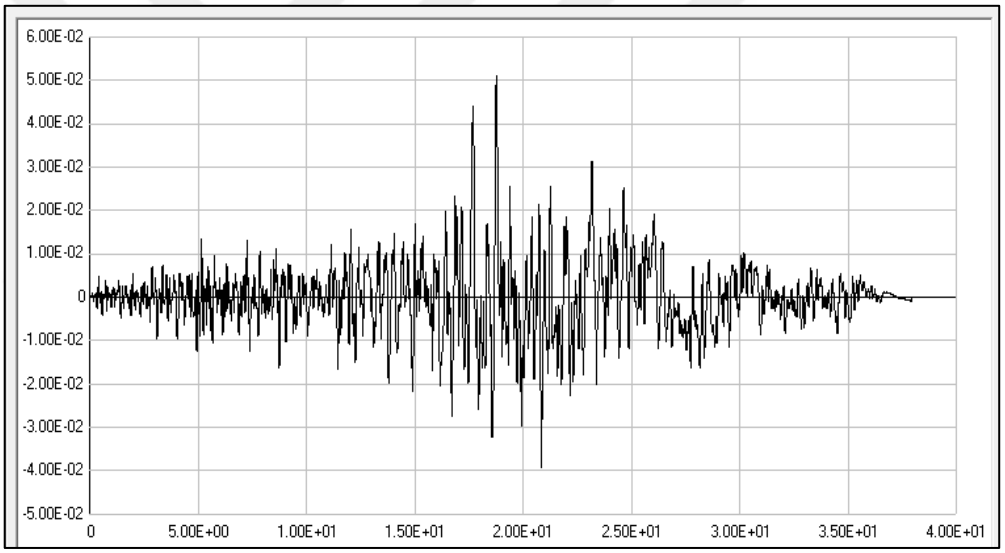
Şekil B.5. Düzce depremi, Lamont-1061 istasyonu, ivme(g)-zaman(s) grafiği



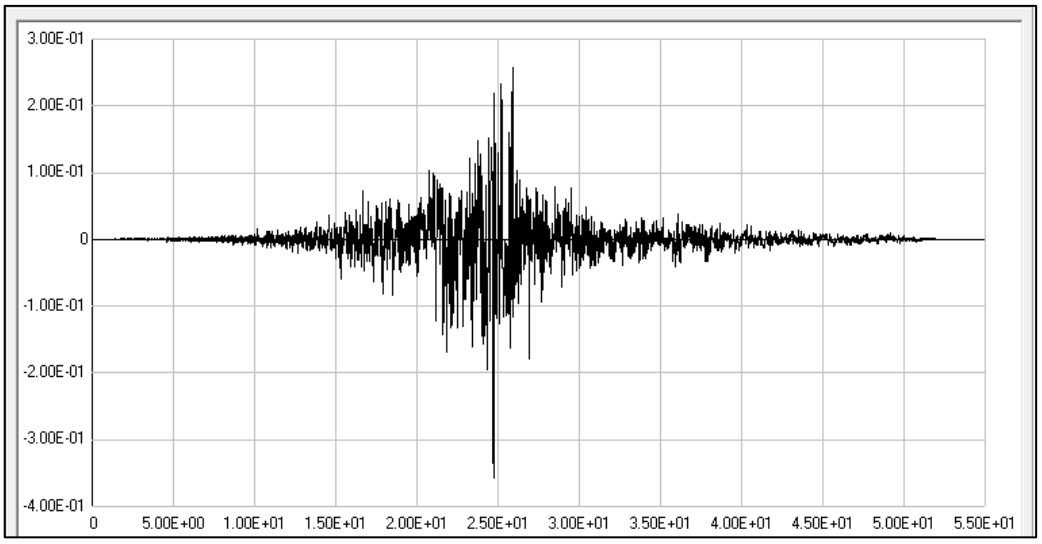
Şekil B.6. Düzce depremi, Mudurnu istasyonu, ivme(g)-zaman(s) grafiği



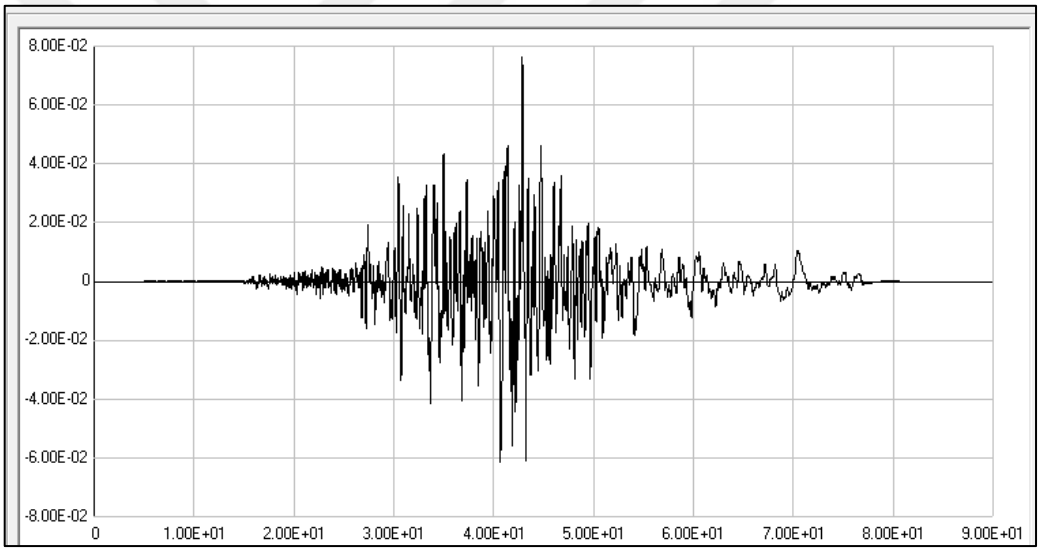
Şekil B.7. Hector Mıne depremi, Amboy istasyonu, ivme(g)-zaman(s) grafiği



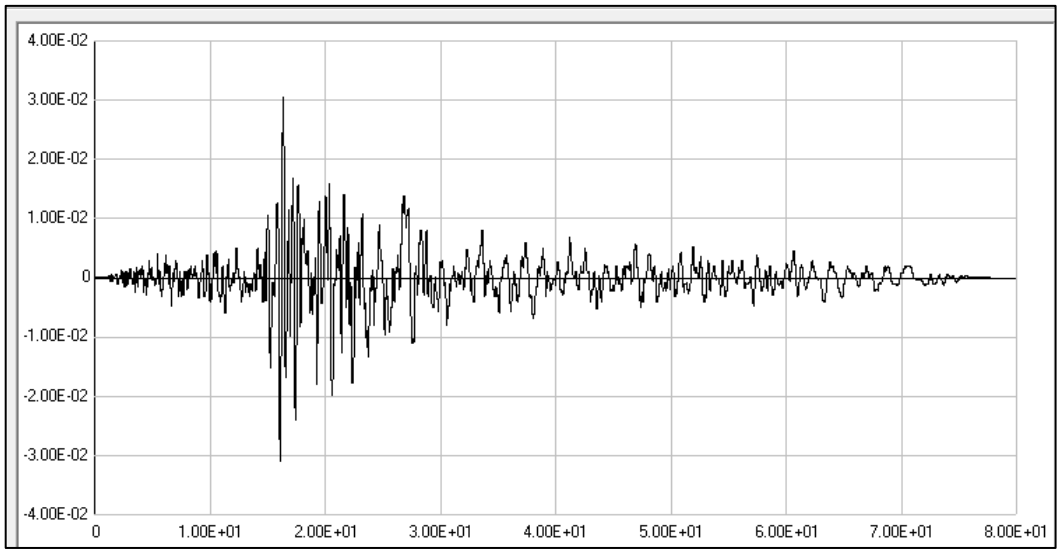
Şekil B.8. Hector Mıne depremi, San Bernardino istasyonu, ivme(g)-zaman(s) grafiği



Şekil B.9. Darfield depremi, LPCC istasyonu, ivme(g)-zaman(s) grafiği



Şekil B.10. Darfield depremi, LSRC istasyonu, ivme(g)-zaman(s) grafiği



Şekil B.11. El Mayor depremi, Ocenside-Fire istasyonu, ivme(g)-zaman(s) grafiği

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Akpinar E., Erol A., **Cakir M.F.**, A Review of Current Knowledge on Assessment of Precast Structures Using Fragility Curves, *ICCSGE 2018:20th International Conference on Concrete-Structural and Geotechnical Engineering*, Barcelona, Spain, 29-30 October 2018.

ÖZGEÇMİŞ

Yazar 2016 yılında, Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. Aynı yıl Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitimine başladı. 2016 yılından beri, özel sektörde, Yapı Tasarım Mühendisi olarak çalışmaktadır.