



**T.C.
BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

KOMPOZİT KOLONLU ÇAPRAZLI ÇERÇEVELERİN DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ

Ayşe GİRĞİN

BURDUR, 2022

**T.C.
BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KOMPOZİT KOLONLU ÇAPRAZLI
ÇERÇEVELERİN DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ**

Ayşe GİRĞİN

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Gülhan İNCE

BURDUR, 2022

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum **“Kompozit Kolonlu Çaprazlı Çerçevelerin Doğrusal Olmayan Analizi”** başlıklı bu tezin;

- Kendi çalışmam olduğunu,
- Sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi,
- Bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi,
- Kullandığım verilerde değişiklik yapmadığımı,
- Tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını,
- Bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı,
- Bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı,

bildirir, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

19/07/2022

Ayşe GİRGIN

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Dr. Öğr. Üyesi Gülhan İnce'ye teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatımın her aşamasında beni her anlamda destekleyen annem Nermin Girgin'e ve kardeşlerime sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Temmuz, 2022

Ayşe GİRGIN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL DİZİNİ	iii
ÇİZELGE DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ÖZET	xiii
SUMMARY	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı	1
1.2. Çalışmada İzlenen Yol	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Kompozit Kolonların Tasarım Esasları	7
2.2. Çelik Çerçeve Sistemler	13
2.2.1. Merkezi Çaprazlı Çerçeve Sistemler	13
2.2.2. Dış Merkezi Çaprazlı Çerçeve Sistemler	15
2.2.3. Bina Taşıyıcı Sisteminin Doğrusal Olmayan Analizi	17
2.2.4. Literatür Taraması	23
3. MATERYAL VE YÖNTEM	27
3.1. Bina Taşıyıcı Sistemlerin Tanıtılması	27
3.1.1. Yükler	32
3.2. Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi	34
3.2.1. Deprem yer hareketi düzeyinin belirlenmesi	34
3.2.2. Yerel zemin sınıfının belirlenmesi	34
3.2.3. Bina Deprem Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesi	34
3.2.4. TBDY-2018 Kullanılarak Eşdeğer Deprem Dükü Yöntemi ile doğrusal deprem hesabı	40
3.2.5. Yük Birleşimleri	45
3.3. Sistem Analizleri	47
3.3.1. Göreli Kat Ötelemelerinin Hesaplanması ve Sınırlandırılması	48
3.3.2. Etkin Göreli Kat Ötelemelerinin Kontrolü	49
3.3.3. İkinci Mertebe Etkileri	54
3.4. Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Boyutlandırılması	59
3.4.1. Merkezi Çaprazlı Çerçevelerin Boyutlandırılması	59
3.4.2. Yatay Bağ Kirişli Dış Merkezi Çaprazlı Çerçevelerin Boyutlandırılması	74
3.4.3. Düşey Bağ Kirişli Dış Merkezi Çaprazlı Çerçevelerin Boyutlandırılması	94
3.4.4. Kompozit Kolonların Boyutlandırılması	112
3.4.5. Doğrusal Olmayan Analiz Modelinin Oluşturulması	142
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	169
5. SONUÇ	186
KAYNAKLAR	188

ŞEKİL DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Kompozit yapı sistemlerinin kullanıldığı bir gökdelen.....	5
Şekil 2.2. Beton içerisine tamamen ve kısmen gömülü kompozit kolon kesitleri	6
Şekil 2.3. Beton dolgulu kompozit kolon kesitleri.....	6
Şekil 2.4. Kompozit elemanlar için geliştirilmiş karşılıklı etki diyagramı	7
Şekil 2.5. Çelik Gömme kompozit elemanlar için A,C,D,B noktalarının moment ve normal kuvvet etkileşim diyagramı (kuvvetli eksen).....	9
Şekil 2.6. Çelik Gömme kompozit elemanlar için A,C,D,B noktalarının moment ve normal kuvvet etkileşim diyagramı (zayıf eksen).....	10
Şekil 2.7. Beton dolgulu kutu enkesitli kompozit elemanlar için A,C,D,B noktalarının moment ve normal kuvvet etkileşim diyagramı	11
Şekil 2.8. Beton dolgulu boru enkesitli kompozit elemanlar için A,C,D,B noktalarının moment ve normal kuvvet etkileşim diyagramı	12
Şekil 2.9. Moment aktaran ve çaprazlı çerçeve sistemler	13
Şekil 2.10. Merkezi çaprazlı çerçeve sistemler	14
Şekil 2.11. Dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemler	16
Şekil 2.12. Bağ kirişi sınıflanması.....	17
Şekil 2.13. Dışmerkez çapraz sistemlerin deprem kuvvetleri altındaki elastik olmayan davranış.....	17
Şekil 2.14. Deprem hesap yöntemleri	18
Şekil 2.15. Yükleme-Yer değiştirme ve Kapasite eğrisi	18
Şekil 2.16. DYT kolonların görünümü ve konumu.....	19
Şekil 2.17. Plastik mafsals sınır bölgeleri.....	20
Şekil 3.1. Modelin plan görünüşü	27
Şekil 3.2. Merkezi çaprazlı çerçeve sistem genel görünümü	28
Şekil 3.3. Dış merkezi (yatay bağ kirişli) çaprazlı çerçeve sistem genel görünümü.....	28
Şekil 3.4. Dış merkezi (düşey bağ kirişli) çaprazlı çerçeve sistem genel görünümü.....	28
Şekil 3.5. Kompozit kolon kesit görünüşleri	29
Şekil 3.6. Çalışmaya esas alınan çerçeve sistemler yük alanları.....	32
Şekil 3.7. Sabit çizgisel yükler ve tekil yüklerin model üzerinde etkiltilmiş hali	33
Şekil 3.8. Hareketli çizgisel yükler ve tekil yüklerin model üzerinde etkiltilmiş hali	34
Şekil 3.9. Türkiye deprem tehlike haritaları interaktif web uygulaması	35
Şekil 3.10. Sismik Tehlike Haritası Özet Raporu DD-2	35
Şekil 3.11. Sismik Tehlike Haritası Özet Raporu DD-3	36
Şekil 3.12. Bina Kullanım Sınıfları ve bina önem katsayıları.....	37
Şekil 3.13. Deprem tasarım sınıfları (DTS)	37
Şekil 3.14. Bina yükseklik sınıfları ve deprem tasarım sınıflarına göre tanımlanan bina yükseklik aralıkları	38
Şekil 3.15. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı, dayanım fazlalığı katsayısı, izin verilen bina yükseklik sınıfları belirlenmesi	39
Şekil 3.16. Yatay elastik tasarım spektral ivmeleri	41
Şekil 3.17. SAP2000’de Deprem yükleri girilen sekme	45
Şekil 3.18. Çerçevesel yapıda oluşan göreceli kat ötelemesi.....	48
Şekil 3.19. Çapraz elemanların eksenel basınç etkisi altında mekanizma durumu.....	62
Şekil 3.20. Kompozit elemanlar için karşılıklı etki diyagramı.....	121
Şekil 3.21. Diğer tüm katlardaki kolonların (KD) karşılıklı etki diyagramı	123

Şekil 3.22. Zemin kat kolonların (KD) karşılıklı etki diyagramı	123
Şekil 3.23. Zemin kattaki kolonların (KG) karşılıklı etki diyagramı	129
Şekil 3.24. Diğer tüm katlardaki kolonların (KG) karşılıklı etki diyagramı	129
Şekil 3.25. Zemin kat kolonların (BD) karşılıklı etki diyagramı	135
Şekil 3.26. Diğer tüm katlardaki kolonların (BD) karşılıklı etki diyagramı	135
Şekil 3.27. Zemin kat kolonların (BG) karşılıklı etki diyagramı	141
Şekil 3.28. Diğer tüm katlardaki kolonların (BG) karşılıklı etki diyagramı	141
Şekil 3.29. SAP2000’de malzeme özelliklerinin girilmesi	143
Şekil 3.30. Sargısız betonun Mander gerilme- Şekildeğiştirme diyagramı.....	144
Şekil 3.31. Malzeme özelliklerinin SAP2000’e girilmesi	145
Şekil 3.32. Çelik donatı malzemesinin gerilme- şekildeğiştirme diyagramı.....	145
Şekil 3.33. HE360B kesitine ait plastik kesme kuvveti mafsalı tanımı	147
Şekil 3.34. HE280B kesitine ait plastik eksenel kuvvet mafsalı tanımı.....	148
Şekil 3.35. HE360B kesitine ait plastik moment mafsalı tanımı.....	148
Şekil 3.36. Kompozit kolonların SAP2000’de Section Designer arayüzdeki görünümleri.....	149
Şekil 3.37. Kutu kesitli beton dolgulu kompozit kolonun mafsalı tanımı.....	150
Şekil 3.38. Kutu kesitli beton dolgulu kompozit kolonun mafsal boyu tanımı.....	150
Şekil 3.39. Kutu kesitli beton dolgulu kompozit kolonun lif özellikleri.....	151
Şekil 3.40. Plastik mafsal atama komutu	152
Şekil 3.41. Plastik mafsal atama arayüzü	152
Şekil 3.42. Yatay bağ kirişli dış merkezi çaprazlı çerçeve sistemin plastik mafsal görünümü.....	153
Şekil 3.43. Merkezi çaprazlı çerçeve sistemin plastik mafsal görünümü	153
Şekil 3.44. Düşey bağ kirişli dış merkezi çaprazlı çerçeve sistemin plastik mafsal görünümü.....	154
Şekil 3.45. İtme analizi başlangıç yükleme	155
Şekil 3.46. Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi	155
Şekil 3.47. MÇÇ’lerin 1 metrelik itme sonucu kapasite eğrileri.....	156
Şekil 3.48. DÇÇ’lerin 1 metrelik itme sonucu kapasite eğrileri	156
Şekil 3.49. YDÇÇ’lerin 1 metrelik itme sonucu kapasite eğrileri.....	157
Şekil 3.50. Spektral ivme ve spektral yer değiştirme eksenleri.....	157
Şekil 3.51. Kutu kesitli beton dolgulu kompozit kolonlu merkezi çaprazlı çerçevenin hedef deplasman elde edilme grafiği	162
Şekil 3.52. Kutu kesitli çelik gömme kompozit kolonlu merkezi çaprazlı çerçevenin hedef deplasman elde edilme grafiği	162
Şekil 3.53. Boru kesitli beton dolgulu kompozit kolonlu merkezi çaprazlı çerçevenin hedef deplasman elde edilme grafiği	163
Şekil 3.54. Boru kesitli beton dolgulu kompozit kolonlu merkezi çaprazlı çerçevenin hedef deplasman elde edilme grafiği	163
Şekil 3.55. Kutu kesitli beton dolgulu kompozit kolonlu yatay bağ kirişli dış merkezi çaprazlı çerçevenin hedef deplasman elde edilme grafiği	164
Şekil 3.56. Kutu kesitli çelik gömme kompozit kolonlu yatay bağ kirişli dış merkezi çaprazlı çerçevenin hedef deplasman elde edilme grafiği	164
Şekil 3.57. Boru kesitli beton dolgulu kompozit kolonlu yatay bağ kirişli dış merkezi çaprazlı çerçevenin hedef deplasman elde edilme grafiği	165
Şekil 3.58. Boru kesitli çelik gömme kompozit kolonlu yatay bağ kirişli dış merkezi çaprazlı çerçevenin hedef deplasman elde edilme grafiği	165

Şekil 3.59. Kutu kesitli beton dolgulu kompozit kolonlu düşey bağ kirişli dış merkezi çaprazlı çerçevenin hedef deplasman elde edilme grafiği	166
Şekil 3.60. Kutu kesitli çelik gömme kompozit kolonlu düşey bağ kirişli dış merkezi çaprazlı çerçevenin hedef deplasman elde edilme grafiği	166
Şekil 3.61. Boru kesitli beton dolgulu kompozit kolonlu düşey bağ kirişli dış merkezi çaprazlı çerçevenin hedef deplasman elde edilme grafiği	167
Şekil 3.62. Boru kesitli çelik gömme kompozit kolonlu düşey bağ kirişli dış merkezi çaprazlı çerçevenin hedef deplasman elde edilme grafiği	167
Şekil 4.1. Kutu dolgulu kompozit kolonlu MÇÇ, DÇÇ ve YDÇÇ kapasite eğrileri	169
Şekil 4.2. Kutu gömme kompozit kolonlu MÇÇ, DÇÇ ve YDÇÇ kapasite eğrileri	169
Şekil 4.3. Boru dolgulu kompozit kolonlu MÇÇ, DÇÇ ve YDÇÇ kapasite eğrileri	170
Şekil 4.4. Boru gömme kompozit kolonlu MÇÇ, DÇÇ ve YDÇÇ kapasite eğrileri	170
Şekil 4.5. MÇÇ'lerin kapasite eğrileri	171
Şekil 4.6. DÇÇ'lerin kapasite eğrileri	171
Şekil 4.7. YDÇÇ'lerin kapasite eğrileri	172
Şekil 4.8. Kutu kesitli beton dolgulu kompozit kolonlu MÇÇ'nin mafsallaşma mekanizması	172
Şekil 4.9. Kutu kesitli çelik gömme kompozit kolonlu MÇÇ'nin mafsallaşma mekanizması	173
Şekil 4.10. Boru kesitli beton dolgulu kompozit kolonlu MÇÇ'nin mafsallaşma mekanizması	173
Şekil 4.11. Boru kesitli çelik gömme kompozit kolonlu MÇÇ'nin mafsallaşma mekanizması	173
Şekil 4.12. Kutu kesitli beton dolgulu kompozit kolonlu DÇÇ'nin mafsallaşma mekanizması	174
Şekil 4.13. Kutu kesitli çelik gömme kompozit kolonlu DÇÇ'nin mafsallaşma mekanizması	174
Şekil 4.14. Boru kesitli beton dolgulu kompozit kolonlu DÇÇ'nin mafsallaşma mekanizması	174
Şekil 4.15. Boru kesitli çelik gömme kompozit kolonlu DÇÇ'nin mafsallaşma mekanizması	175
Şekil 4.16. Kutu kesitli beton dolgulu kompozit kolonlu YDÇÇ'nin mafsallaşma mekanizması	175
Şekil 4.17. Kutu kesitli çelik gömme kompozit kolonlu YDÇÇ'nin mafsallaşma mekanizması	175
Şekil 4.18. Boru kesitli beton dolgulu kompozit kolonlu YDÇÇ'nin mafsallaşma mekanizması	176
Şekil 4.19. Boru kesitli çelik gömme kompozit kolonlu YDÇÇ'nin mafsallaşma mekanizması	176
Şekil 4.20. Kolon kesitlerine göre enerji tüketimi grafiği	177
Şekil 4.21. Çerçeve tiplerine göre enerji tüketimi grafiği	177
Şekil 4.22. Kolon kesitlerine göre rijitlik grafiği	178
Şekil 4.23. Çerçeve tiplerine göre rijitlik grafiği	179
Şekil 4.24. Kolon kesitlerine çerçeve tiplerine göre yük taşıma kapasite grafiği	180
Şekil 4.25. Çerçeve tiplerine göre yük taşıma kapasite grafiği	180
Şekil 4.26. Kolon kesitlerine çerçeve tiplerine göre süneklik kapasite grafiği	181
Şekil 4.27. Çerçeve tiplerine göre süneklik kapasite grafiği	182
Şekil 4.28. Modellerin kolon tiplerine göre toplam ağırlık grafiği	184
Şekil 4.29. Modellerin çerçeve tiplerine göre toplam ağırlık grafiği	184

ÇİZELGE DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1. Deprem tasarım sınıflarına göre yeni yapılacak binalar için performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları	22
Tablo 3.1. Tüm kompozit kolonların kesitleri	30
Tablo 3.2. Merkezi çaprazlı çerçevelerin kesitleri	30
Tablo 3.3. Düşey bağ kirişli dış merkezi çaprazlı çerçevelerin kesitleri	30
Tablo 3.4. Yatay bağ kirişli dış merkezi çaprazlı çerçevelerin kesitleri	31
Tablo 3.5. Çalışmaya esas alınan modeller	31
Tablo 3.6. Binaya etkiyen düşey yükler	32
Tablo 3.7. Spektral ivme katsayıları	36
Tablo 3.8. Bina kat ağırlık ve kütleleri	42
Tablo 3.9. DÇÇ ve YDÇÇ için deprem yükleri ve kesme kuvvetleri	44
Tablo 3.10. MÇÇ için deprem yükleri ve kesme kuvvetleri	44
Tablo 3.11. MÇÇ sistemlerin görelî kat ötelemeleri	48
Tablo 3.12. DÇÇ sistemlerin görelî kat ötelemeleri	49
Tablo 3.13. YDÇÇ sistemlerin görelî kat ötelemeleri	49
Tablo 3.14. MÇÇ-KD modeli etkin görelî kat öteleme kontrolü	50
Tablo 3.15. MÇÇ-KG modeli etkin görelî kat öteleme kontrolü	50
Tablo 3.16. MÇÇ-BD modeli etkin görelî kat öteleme kontrolü	51
Tablo 3.17. MÇÇ-BG modeli etkin görelî kat öteleme kontrolü	51
Tablo 3.18. DÇÇ-KD modeli etkin görelî kat öteleme kontrolü	51
Tablo 3.19. DÇÇ-KG modeli etkin görelî kat öteleme kontrolü	52
Tablo 3.20. DÇÇ-BD modeli etkin görelî kat öteleme kontrolü	52
Tablo 3.21. DÇÇ-BG modeli etkin görelî kat öteleme kontrolü	52
Tablo 3.22. YDÇÇ-KD modeli etkin görelî kat öteleme kontrolü	53
Tablo 3.23. YDÇÇ-KG modeli etkin görelî kat öteleme kontrolü	53
Tablo 3.24. YDÇÇ-BD modeli etkin görelî kat öteleme kontrolü	53
Tablo 3.25. YDÇÇ-BG modeli etkin görelî kat öteleme kontrolü	54
Tablo 3.26. Çerçevelere göre Ösınır değerleri	54
Tablo 3.27. MÇÇ-KD modeli ikinci mertebe etkileri kontrolü	55
Tablo 3.28. MÇÇ-KG modeli ikinci mertebe etkileri kontrolü	55
Tablo 3.29. MÇÇ-BD modeli ikinci mertebe etkileri kontrolü	55
Tablo 3.30. MÇÇ-BG modeli ikinci mertebe etkileri kontrolü	56
Tablo 3.31. DÇÇ-KD modeli ikinci mertebe etkileri kontrolü	56
Tablo 3.32. DÇÇ-KG modeli ikinci mertebe etkileri kontrolü	56
Tablo 3.33. DÇÇ-BD modeli ikinci mertebe etkileri kontrolü	57
Tablo 3.34. DÇÇ-BG modeli ikinci mertebe etkileri kontrolü	57
Tablo 3.35. YDÇÇ-KD modeli ikinci mertebe etkileri kontrolü	57
Tablo 3.36. YDÇÇ-KG modeli ikinci mertebe etkileri kontrolü	58
Tablo 3.37. YDÇÇ-BD modeli ikinci mertebe etkileri kontrolü	58
Tablo 3.38. YDÇÇ-BG modeli ikinci mertebe etkileri kontrolü	58
Tablo 3.39. Tüm modellerin iç kuvvet değerleri	59
Tablo 3.40. Tüm modellerin karakteristik basınç dayanımları	61
Tablo 3.41. Tüm modellerin basınç dayanımı kontrolü	62
Tablo 3.42. Tüm modellerin T, P_1 ve P_2 kuvvetleri	64
Tablo 3.43. Eğilme momenti değerleri	64
Tablo 3.44. Kirişteki toplam eğilme momenti	65

Tablo 3.45. Tüm modellerin eğilme momenti dayanımı	66
Tablo 3.46. Kirişlerin tasarım eğilme momenti dayanımı	67
Tablo 3.47. Tüm modellerin kesme kuvveti dayanımı kontrolü.....	68
Tablo 3.48. Tüm modellerin karakteristik basınç dayanımları	71
Tablo 3.49. Tüm modellerin birleşik etkiler altında dayanımının kontrolü.....	73
Tablo 3.50. Tüm modellerin kesme kuvveti dayanımının kontrolü	74
Tablo 3.51. Tüm modellerin iç kuvvet değerleri	75
Tablo 3.52. Tüm modellerin bağ kirişi kapasitesi	76
Tablo 3.53. Tüm modellerin bağ kirişin kesme kuvveti dayanımı kontrolü.....	76
Tablo 3.54. Tüm modellerin bağ kirişinin dönme açısı kontrolü	78
Tablo 3.55. Tüm modellerin kirişlerinde oluşan kesme kuvveti	79
Tablo 3.56. Tüm modellerin V_p/VE değerleri	79
Tablo 3.57. Tüm modeller için büyütme katsayısı ve kombinasyonlar	80
Tablo 3.58. Tüm modellerin iç kuvvet değerleri	81
Tablo 3.59. Tüm modellerin karakteristik basınç dayanımları	83
Tablo 3.60. Tüm modellerin eğilme momenti dayanımı	85
Tablo 3.61. Tüm modellerin birleşik etkiler altında dayanımının kontrolü.....	86
Tablo 3.62. Tüm modellerin kesme kuvveti dayanımının kontrolü	87
Tablo 3.63. Tüm modellerin iç kuvvetleri	88
Tablo 3.64. Tüm modellerin karakteristik basınç dayanımları	90
Tablo 3.65. Tüm modellerin eğilme momenti dayanımı	92
Tablo 3.66. Tüm modellerin birleşik etkiler altında dayanımının kontrolü.....	93
Tablo 3.67. Tüm modellerin iç kuvvet değerleri	94
Tablo 3.68. Tüm modellerin bağ kirişi kapasitesi	95
Tablo 3.69. Tüm modellerin bağ kirişin kesme kuvveti dayanımı kontrolü.....	96
Tablo 3.70. Tüm modellerin bağ kirişinin dönme açısı kontrolü	97
Tablo 3.71. Tüm modellerin V_p/VE değerleri	98
Tablo 3.72. Tüm modeller için büyütme katsayısı ve kombinasyonlar	98
Tablo 3.73. Tüm modellerin iç kuvvet değerleri	99
Tablo 3.74. Tüm modellerin karakteristik basınç dayanımları	101
Tablo 3.75. Tüm modellerin eğilme momenti dayanımı	103
Tablo 3.76. Tüm modellerin birleşik etkiler altında dayanımının kontrolü.....	104
Tablo 3.77. Tüm modellerin kesme kuvveti dayanımının kontrolü	105
Tablo 3.78. Tüm modellerin iç kuvvetleri	106
Tablo 3.79. Tüm modellerin karakteristik basınç dayanımları	108
Tablo 3.80. Tüm modellerin eğilme momenti dayanımı	110
Tablo 3.81. Tüm modellerin birleşik etkiler altında dayanımının kontrolü.....	111
Tablo 3.82. Kutu kesitli beton dolgulu kolonlu modellerin kesme dayanımı kontrolü	115
Tablo 3.83. Kutu kesitli çelik gömme kolonlu modellerin kesme dayanımı kontrolü	115
Tablo 3.84. Boru kesitli beton dolgulu kolonlu modellerin kesme dayanımı kontrolü	116
Tablo 3.85. Boru kesitli çelik gömme kolonlu modellerin kesme dayanımı kontrolü	117
Tablo 3.86. Tüm çerçevelerin basınç dayanım kontrolü.....	120
Tablo 3.87. Tüm modellerin basınç dayanımı kontrolü.....	126
Tablo 3.88. Tüm modellerin basınç dayanımı kontrolü.....	132
Tablo 3.89. Tüm modellerin basınç dayanımı kontrolü.....	138
Tablo 3.90. Beklenen (Ortalama) Malzeme Dayanımları.....	142
Tablo 3.91. Plastik mafsal kesme dayanımı değerleri	146
Tablo 3.92. DÇÇ'lerin bağ kirişlerin plastik mafsal kesme dayanımı değerleri	147
Tablo 3.93. YDÇÇ'lerin bağ kirişlerin plastik mafsal kesme dayanımı değerleri	147
Tablo 3.94. Kompozit kolonların kesit özellikleri	149

Tablo 3.95. Kompozit kolonların mafsalsal boyu	151
Tablo 3.96. Kutu kesitli beton dolgulu kompozit kolonlu merkezi çaprazlı çerçevelerin eksen takımı dönüşüm parametreleri	158
Tablo 3.97. Kutu kesitli çelik gömme kompozit kolonlu merkezi çaprazlı çerçevelerin eksen takımı dönüşüm parametreleri	158
Tablo 3.98. Boru kesitli beton dolgulu kompozit kolonlu merkezi çaprazlı çerçevelerin eksen takımı dönüşüm parametreleri	158
Tablo 3.99. Boru kesitli çelik gömme kompozit kolonlu merkezi çaprazlı çerçevelerin eksen takımı dönüşüm parametreleri	158
Tablo 3.100. Kutu kesitli beton dolgulu kompozit kolonlu yatay bağ kirişli dış merkezi çaprazlı çerçevelerin eksen takımı dönüşüm parametreleri	159
Tablo 3.101. Kutu kesitli çelik gömme kompozit kolonlu yatay bağ kirişli dış merkezi çaprazlı çerçevelerin eksen takımı dönüşüm parametreleri	159
Tablo 3.102. Boru kesitli beton dolgulu kompozit kolonlu yatay bağ kirişli dış merkezi çaprazlı çerçevelerin eksen takımı dönüşüm parametreleri	159
Tablo 3.103. Boru kesitli çelik gömme kompozit kolonlu yatay bağ kirişli dış merkezi çaprazlı çerçevelerin eksen takımı dönüşüm parametreleri	159
Tablo 3.104. Kutu kesitli beton dolgulu kompozit kolonlu düşey bağ kirişli dış merkezi çaprazlı çerçevelerin eksen takımı dönüşüm parametreleri	160
Tablo 3.105. Kutu kesitli çelik gömme kompozit kolonlu düşey bağ kirişli dış merkezi çaprazlı çerçevelerin eksen takımı dönüşüm parametreleri	160
Tablo 3.106. Boru kesitli beton dolgulu kompozit kolonlu düşey bağ kirişli dış merkezi çaprazlı çerçevelerin eksen takımı dönüşüm parametreleri	160
Tablo 3.107. Boru kesitli çelik gömme kompozit kolonlu düşey bağ kirişli dış merkezi çaprazlı çerçevelerin eksen takımı dönüşüm parametreleri	160
Tablo 3.108. Tüm çerçevelerin hedef deplasmanları	168
Tablo 4.1. Enerji tüketimi kapasiteleri, rijitlik, yük taşıma kapasitesi ve süneklik kapasitesi çerçeve tiplerine göre veriler ve yüzdelik değişimler	183
Tablo 4.2. Enerji tüketimi kapasiteleri, rijitlik, yük taşıma kapasitesi ve süneklik kapasitesi kolon tiplerine göre veriler ve yüzdelik değişimler	183
Tablo 4.3. Tüm modellerin ağırlıkları	185

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A_c	: Beton kesit alanı
A_g	: Kompozit elemanın toplam enkesit alanı
A_s	: Yapısal çelik çekirdek enkesit alanı
A_{sr}	: Boyuna donatı alanı
A_w	: Tüm enkesit yüksekliği ile hesaplanan gövde alanı
BKS	: Bina Kullanım Sınıfı
BYS	: Bina yükseklik sınıfı
C_b	: Moment düzeltme katsayısı
C_t	: Ampirik doğal titreşim periyodu hesabında kullanılan katsayı
C_{v1}	: Gövde kesme kuvveti dayanım katsayısı
C_{R1}	: Dönüştürme katsayısı
D	: Dayanım Fazlalığı Katsayısı
$d_{1,max}^{(X)}$	: (X) deprem doğrultusu için k'ıncı itme adımında birinci moda ait modal tek serbestlik dereceli sistem'in modal yerdeğiştirme
DD-2	: 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-3	: 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DTS	: Deprem tasarım sınıfı
E	: Bağ kirişi boyu
E_c	: Beton elastisite modülü
$E_d^{(H)}$	: Doğrultu birleştirmesi uygulanmış tasarıma esas yatay deprem etkisi
$E_d^{(X)}$	: (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	: Yapısal çelik elastisite modülü
f_{ce}	: Betonun ortalama basınç dayanımı
f_{ck}	: Betonun karakteristik basınç dayanımı
F_{cr}	: Eğilmeli burkulma sınır durumunda kritik burkulma gerilmesi
F_{cre}	: Olası akma gerilmesi ile hesaplanan kritik burkulma gerilmesi

F_e	: Elastik burkulma gerilmesi
$F_{iE}^{(X)}$	: (X) doğrultusundaki deprem yükleri
F_y	: Yapısal çelik karakteristik akma gerilmesi
f_{ye}	: Donatı çeliği veya yapı çeliğinin ortalama basınç dayanımı
f_{yk}	: Donatı çeliği veya yapı çeliği karakteristik akma dayanımı
F_{ysr}	: Beton çeliğinin karakteristik akma gerilmesi
h_i	: i'nci katın yüksekliği
H_N	: Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölümünün toplam yüksekliği
I	: Bina önem katsayısı
I_c	: Kompozit enkesit elastik tarafsız eksenine göre beton enkesitinin atalet momenti
I_s	: Kompozit enkesit elastik tarafsız eksenine göre çelik enkesitinin atalet momenti
L_b	: Burulmanın önlendiği noktalar arasındaki eleman uzunluğu
L_c	: Eleman burkulma boyu
L_{cx}	: x ekseninde etrafında burkulma durumunda burkulma boyu
L_{cy}	: y ekseninde etrafında burkulma durumunda burkulma boyu
L_p	: Akma sınır durumu için yanal olarak desteklenmeyen sınır uzunluk
L_p	: Kompozit kolonun plastik mafsallık boyu
L_r	: Değerleri ile elastik olmayan yanal burulmada sınır uzunluk
M_{1x}	: (X) deprem doğrultusu için x ekseninde doğrultusunda birinci itme adımında belirlenen ve itme hesabı boyunca hiç değiştirilmeyen sabit mod şekline göre hesaplanan i'inci kat modal etkin kütlesi
m_i	: i'inci katın toplam kütlesi
$M_n=M_p$	: Akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı
m_t	: Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölümünün toplam kütlesi
M_p	: Plastik eğilme momenti
M_u	: YDKT yük birleşimi altında hesaplanan gerekli eğilme momenti dayanımı
P_c	: Mevcut eksenel kuvvet dayanımı
P_n	: Karakteristik eksenel kuvvet dayanımı
$P_{no}=P_n$	: Kompozit eleman enkesit basınç kuvveti dayanımı

P_r	: YDKT veya GKT yük birleşimleri altında hesaplanan ikinci mertebe gerekli eksenel kuvvet dayanımı
P_u	: (YDKT) yük birleşimleri ile hesaplanan gerekli eksenel kuvvet dayanımı
R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
R_a	: Deprem yükü azaltma katsayısı
R_y	: Olası akma gerilmesinin karakteristik akma gerilmesine oran
S_1	: 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı
$S_{ae}(T)$	: Yatay elastik tasarım spektral ivmesi
$S_{aR}(T)$	: Azaltılmış tasarım spektral ivmesi
$S_{de}(T_1)$	: Elastik tasarım spektral yerdeğiştirme
$S_{di}(T_1)$	: Doğrusal olmayan spektral yer değiştirme
S_s	: Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı
S_{SDS}	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
S_{SD1}	: 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı
$T_1^{(x)}$	: i'inci katta birinci itme adımında belirlenen ve itme hesabı boyunca hiç değiştirilmeyen sabit mod şekli'nin x doğrultusundaki genliği
T_A	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
T_B	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
T_pA	: Amprik olarak hesaplanan hakim doğal titreşim periyodu
$T_p^{(x)}$	: Binanın Hâkim Doğal Titreşim Periyodunun Belirlenmesi
$u_{Nx1}^{(X)}$	: (X) deprem doğrultusu için k'ıncı itme adımında N'inci katta (binanın tepesinde) x eksenini doğrultusunda hesaplanan yerdeğiştirme
V_d	: Tasarım kesme kuvveti dayanımı
V_n	: Karakteristik kesme kuvveti dayanımı
V_p	: Plastik kesme kuvveti dayanımı
V_r	: YDKT veya GKT yük birleşimleri altında hesaplanan gerekli kesme kuvveti dayanımı
$V_{tE}^{(X)}$	: (X) doğrultusunda taban kesme kuvveti
$\theta_{II,i}^{(x)}$	: (X) deprem doğrultusunda her bir i'inci kat için tanımlanan ikinci mertebe gösterge değeri
$\theta_{II,max}^{(x)}$	: (X) deprem doğrultusunda tanımlanan maksimum ikinci mertebe gösterge değeri

W_{ex}	: x- eksenine göre elastik mukavemet momenti
w_k	: k'inci kata etkiyen toplam ağırlık
W_{px}	: x-ekseni etrafındaki plastik mukavemet momenti
YDKT	: Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım
η_{bi}	: i'inci katta burulma düzensizliği katsayısı
Δ_{Ort}	: Ardışık iki kat arasındaki yerdeğiştirme farkını ifade eden ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi
Δ_i	: Ardışık iki kat arasındaki yerdeğiştirme farkını ifade eden azaltılmış görelî kat ötelemesi
$\Delta F_{NE}^{(X)}$	: Binanın N' inci katına etkiyen, ek eşdeğer deprem yükü
$\delta_{i,max}^{(X)}$	: (X) deprem doğrultusu için, binanın i'inci katındaki etkin görelî kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri
$\delta_i^{(X)}$	: Ardışık iki kat arasındaki yerdeğiştirme farkını ifade eden ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi
λ_r	: Kompakt olmayan elemanlar için narinlik sınır değeri
λ_{hd}	: Süneklik düzeyi yüksek elemanlar için enkesit koşulu sınır değeri
λ	: Yerel burkulma narinlik değeri
λ_p	: Kompakt elemanlar için narinlik sınır değeri
Φ_{Nx1}	: i'inci katta birinci itme adımında belirlenen ve itme hesabı boyunca hiç değiştirilmeyen sabit mod şeklinin x doğrultusundaki genliği
μ	: Poison oranı
γ	: Beton birim hacim ağırlığı
γ_p	: Bağ kirişi dönme açısı
ϵ_{sy}	: Donatı çeliğinin akma birim şekildeğiştirilmesi
ϵ_{sh}	: Donatı çeliğinin pekleşme başlangıcındaki birim şekildeğiştirilmesi
ϵ_{su}	: Donatı çeliğinin kopma birim şekildeğiştirilmesi

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Kompozit Kolonlu Çaprazlı Çerçevelerin Doğrusal Olmayan Analizi

Ayşe GİRGİN

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Gülhan İNCE

Temmuz, 2022

Deprem bölgelerinde tasarlanacak binalarda deprem etkilerini karşılayacak yatay yük taşıyıcı sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Yatay yük taşıyıcı sistemlerde hem çerçeve sistem şekli hem de kolon elemanlar büyük önem taşımaktadır. Son yıllarda sağladığı avantajlar nedeniyle kompozit kolonların kullanımı artmıştır. Kompozit kolonlar çelik gömme ve beton dolgulu olarak uygulanabilmektedir. Yatay yük taşıyıcı sistemi olarak hem merkezi hem de dışmerkezi çaprazlı çerçeveler sıklıkla kullanılmaktadır. Enerji tüketimi merkezi çaprazlı çerçevelerde çapraz elemanlarla sağlanırken, dışmerkez çaprazlı çerçevelerde bağ kirişi elemanları ile sağlanır. Bu tez çalışmasında kompozit kolonlar süneklik düzeyi yüksek bir binanın tasarımı, yatay yük taşıyıcı sistemi merkezi, yatay bağ kirişli ve düşey bağ kirişli dışmerkez çaprazlı çerçeve olmak üzere üç farklı şekilde yapılmıştır. Kompozit kolonlar iki adet beton dolgulu ve iki adet çelik gömme kompozit olmak üzere dört farklı tipte kullanılmıştır. Çapraz tipi olarak bazı mimari avantajları nedeniyle ters V çapraz seçilmiştir. Düşey bağ kirişli çerçeve tipi görüntüsü itibarıyla ters Y çerçeve olarak tanımlanmıştır. Tez kapsamında, kompozit kolonlu çaprazlı çerçevelerin, tek modlu itme yöntemi olan doğrusal olmayan analiz uygulanarak, hedeflenen hasar seviyelerini incelenmiştir. Ayrıca süneklik, rijitlik, yatay yük taşıma, enerji tüketim kapasiteleri hesaplanarak çerçeve konfigürasyonu ve kompozit kolon tipi bakımından değerlendirmeler yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: kompozit kolon, merkezi ve dışmerkezi çaprazlı çelik çerçeve, performans analizi, statik itme analizi

SUMMARY

M. Sc. Thesis

Nonlinear Analysis of Braced Frames with Composite Columns

Ayşe GİRGIN

**Burdur Mehmet Akif Ersoy University
Graduate School of Civil Engineering**

Supervisor: Asst. Prof. Gülhan İNCE

July, 2022

In buildings to be designed in earthquake zones, horizontal load bearing systems are needed to meet the earthquake effects. In horizontal load bearing systems, both frame system shape and column elements are of great importance. In recent years, the use of composite columns has increased due to their advantages. Composite columns can be applied as steel embedded and concrete filled. Both concentric and eccentric braced frames are frequently used as horizontal load bearing systems. Energy consumption is provided by diagonal members in concentric braced frames, while it is provided by link beam members in eccentrically braced frames. In this thesis, composite columns are used in the design of a highly ductile building with three different types of horizontal load-bearing frames: concentric braced frame, horizontal braced frame with horizontal link beams and eccentrically braced frame with vertical link beams. Composite columns were used in four different types, two concrete filled and two steel embedded composites. Inverted V bracing was chosen as bracing type due to some architectural advantages. The frame type with vertical tie beams is defined as inverted Y frame due to its appearance. Within the scope of the thesis, the targeted damage levels of the frames with composite columns and diagonals are investigated by applying nonlinear analysis, which is a pushover method. In addition, ductility, stiffness, lateral load carrying and energy consumption capacities are calculated and evaluated in terms of frame configuration and composite column type.

Keywords: composite column, concentrically and eccentrically braced steel frame, performance analysis, static pushover analyzes

1. GİRİŞ

Ülkemizde, büyük kentlerin çoğu deprem kuşağında bulunmaktadır. Buna istinaden, depreme duyarlı yüksek taşıma gücü, rijitlik ve süneklik özellikleri diğer tasarlanan yapılara göre daha üst düzey ve güvenli olan malzemeler aranmaktadır (Aydın, 2019) (Avcı, 2001). Türkiye’de gün geçtikçe artan konut talebi, 17 Ağustos depreminden sonra artan duyarlılıkla birlikte güvenli ve konforlu yaşam için inşaat sektöründe en önemli taleplerden olmuştur (Taşkın, 2019). Binaların depreme dayanıklı tasarımında hem merkezi hem de dışmerkez çelik çaprazlı sistemler Dünya genelinde etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Ülkemizde, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) ile çelik yapı elemanlarının plastik şekil değiştirme sınırlarının tanımlanması ile çelik çerçeve sistemlerin doğrusal olmayan davranışlarının gözlemlenebilmesi, depreme dayanıklı çelik yapı tasarımına önemli katkı sağlamıştır. Ayrıca kompozit yapı elemanlarının kullanımı da giderek daha fazla uygulanmaktadır (İnce vd., 2015; Taşkın, 2019). Kompozit elemanlı sistemler deprem kuvvetleri gibi yatay yükleri taşımada oldukça avantajlara sahiptir. 2018 yılına kadar kompozit elemanların hesap esasları yönetmeliklerimizde yer almamıştır. Dolayısıyla ülkemizde kullanımları halen yaygın değildir. 2018 yılı itibarıyla kompozit elemanların tasarımı çelik yapılar ile ilgili yönetmeliğe dahil olmuştur. Bu şekilde yönetmelik esaslarına uygun tasarlanan yapıların davranışlarının incelenmesi ve araştırılması gündeme gelmiştir.

1.1. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı, Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği (ÇYTHYE, 2018) ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) esas alınarak tasarımı yapılan kompozit kolonlu, merkezi ve dışmerkez çaprazlı çelik çerçeve sistemlerin doğrusal olmayan davranışlarının incelenmesidir. Bu şekilde çaprazlı çerçeve türünün ve kompozit kolon kesitlerinin yapı davranışına etkisinin araştırılması hedeflenmiştir.

1.2. Çalışmada İzlenen Yol

Yapılan çalışma kapsamında ilk olarak kompozit yapı sistemleri kompozit elemanlar ve kompozit taşıyıcı sistemler başlıkları altında incelenmiştir. Kompozit elemanlardan olan kompozit kolonların özellikleri kısaca değerlendirilmiş, ardından kompozit taşıyıcı sistemler

kendi içlerinde merkezi ve yatay ve düşey bağ kirişli dış merkezi çaprazlı kompozit çerçeve sistemler olarak incelenmiştir.

Sonrasında Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları 2018 yönetmeliği kompozit elemanlar bölümünde verilen tasarım kuralları kompozit kolonlar için detaylı bir şekilde incelenmiştir. Daha sonra Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018’de kompozit kolonlu çelik yapılar için belirtilen özel tasarım kuralları anlatılmıştır.

Yönetmeliklerin detaylı incelemesinin ardından Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları 2018 ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018’e göre tasarlanan 12 adet sünelik düzeyi yüksek kompozit kolonlu merkezi ve dışmerkezi çaprazlı çerçeve sistemin statik itme analizleri yapılarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Çalışmaya esas alınan çerçeve sistemlerde kutu kesitli ve boru kesitli beton dolgulu kompozit kolonlar ile kutu ve boru kesitli çelik gömme kompozit kolonlar kullanılmıştır. Yapısal analiz için SAP2000 bilgisayar programı kullanılmış, yapısal tasarım yöntemi olarak Genel Analiz Yöntemi uygulanmıştır. Çerçeve sistemlerin doğrusal olmayan analizine geçilmeden önce programın genel analiz yönteminin temel esasları olan rijitlik azaltmalarını ve P-Δ etkilerini dikkate alış şekli çerçeve sistemler üzerinde incelenmiştir. Yapıya etkiyecek yükler ilgili yönetmeliklere göre belirlenmiş, yapıya etkiyecek yatay deprem etkileri, eşdeğer deprem yükü yöntemi dikkate alınmıştır. Analiz sonucunda elde edilen sonuçlara göre ilk olarak Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018’e göre yer değiştirme ve eşdeğer deprem yükü kontrolleri yapılmış, ardından yük ve dayanım katsayıları ile tasarım (YDKT) ile yapılan analiz ile elde edilen iç kuvvetlere göre yapıda kullanılan çerçevedeki kirişler, çaprazlar ve kompozit kolonların dayanım kontrolleri yapılmıştır. Dayanım kontrollerinin ardından elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Son adım olarak boyutlandırılan binaların taşıyıcı sisteminin, statik itme yöntemi kullanılarak doğrusal olmayan analizlerinin gerçekleştirilmiştir. Aynı koşullar altındaki modellerde mafsallaşma mekanizmaları ve hedeflenen performansını sağlayıp sağlamadıkları kontrol edilmiştir. Analizler sonucu elde edilen taban kesme kuvveti-çatı deplasmanı eğrilerine bağlı olarak sistemlerin yanal yük taşıma kapasitesi, rijitlik, sünelik ve enerji tüketim kapasiteleri hesaplanmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

Çeşitli etkiler altında yapının davranışının incelenmesi, araştırılması ve değerlendirilmesi her daim bir gereklilik olmuştur. Günümüzde birçok malzemeden teşkil edilen yapılar mevcuttur. Bunlardan birisi kompozit yapılardır. Kompozit yapılar, iki veya daha fazla materyalin birleştirilmesi elde edilir (Kırlangıç, 2020). Malzemelerin birlikte hareket etmesiyle kullanılan her malzemenin üstün özelliklerinden etkili bir şekilde faydalanılır (Köroğlu, 2007).

Kompozit yapı sistemleri, ülkemizde kolay tedarik edilebilen ve inşaat sektöründe sık kullanılan malzemeleri kullanmaktadır. Böylece kolay bulunabilmesi ve inşaat uygulamaları sırasında ekonomik açıdan avantaj sağlamaktadır (Köroğlu, 2007; Taşkın, 2019). Bu yapılarda kullanılan en yaygın materyal beton ve çeliktir. Ayrıca; çelik-karbon fiber, beton-karbon fiber ve ahşap-karbon fiber de birlikte kullanılmaktadır (Taly, 2007). Yapı ağırlığını betonarme yapılara göre önemli derecede azalttığı ve deprem yüklerine karşı koymak için gerekli olan sürekliliğin sağlanmasında oldukça iyi bir performans sağlaması nedeniyle Dünya’da çok katlı bina uygulamalarında kullanılan taşıyıcı sistemler haline gelmeye başlamıştır (Fidanboy, 2019).

Kompozit yapılar ayrıca betonarme yapılardan daha hafiftir. Bu nedenle herhangi bir deprem esnasında yapıda oluşacak deprem yükü ve hasar seviyesi daha düşük olacaktır. İki farklı malzemenin birleşmesi sonucu kompozit taşıyıcı elemanların ara yüzlerinde eleman davranışını direkt etkilediği için fazla önem arz etmektedir (Dakhil, 2020). Tamamı çelikten teşkil edilen bir binanın bodrum katını çelik malzemeden yapmak maliyetli olacağından, bodrum katlar betonarme tasarlanır (İnce, vd., 2015). Bu da büyük kolon kesitlerine neden olduğu için mali açıdan olumsuz etkiler. Bu durumda, kompozit yapılar kullanmak süneklik düzeyi yüksek olması özelliği ile daha az kesit ölçekleri, yüksek yapı tasarımları ve daha az maliyetle projeyi ortaya koymayı sağlar (Avcı, 2001; AISC, 2017). Kompozit elemanlar; genellikle kolon, kiriş ve döşeme olarak tasarlanır. Betonarme ve çelik elemanlara göre sahip oldukları yüksek taşıma kapasitesi sebebi ile genellikle yüksek katlı yapıların bodrum katlarında, köprü ayaklarında, tüplü sistemlerin çekirdek kısmında, endüstriyel yapılarda, yeraltına yapılan otopark vb. yapılarda kullanılmaktadır (Ömerbeyoğlu, 2019; Uslu, vd., 2021).

Kompozit yapı sistemlerinde çelik kolon ve kirişler, duvarlar arasına gizlenebildiği için, iç mekanlarda bozuk köşeler oluşturmaz ve yangın yalıtımı çelik elemanlara göre daha kolay ve ucuz yapılmaktadır (Köroğlu, 2007; Chilton, 2000). Uygulama alanlarında

kompozit malzemeler kullanılarak tasarlanan yapıların, hafif, kompakt, dayanıklı ve kullanım süresinin uzun olması hem üretici hem de kullanıcı tarafından istenen özelliklerdir (Aydın, 2019). Bu yapılarda en önemli olan ise, yapının birden fazla bileşenden oluşmasından dolayı bileşenlerin birleştirilmeleri gerekliliği ile yapının dayanımının sağlanması ve uzun kullanım süresine sahip olmasıdır. Günümüzde büyük düktiliteleri, enerji yutma sızgıları ve eğilme rijitlikleri kompozit elemanların özellikle deprem bölgelerinde çekici kılmaktadır (Avcı, 2001). Tamamen betona gömülü kesitler çelik profili dış ortamdan yalıtımları, yangına ve korozyona karşı korumaları sebebiyle tercih edilmektedir (Taly, 2007). Kısmen betona gömülü kesitler çelik profilin gövdesini yangından korumakta ve kısmen kalıp görevi görmektedir. Boş çelik kesit içine beton doldurulmuş kompozit kolonda çelik kesit kalıp görevi de üstlenir.

Beton dolgulu kompozit kesitler, depreme dayanıklı yapılarda, trafik etkisine maruz köprü ayaklarında, depolama tanklarına destek olan kolonlarda, demiryolu döşemelerinde, çok yüksek binaların kolonlarında ve kazıklarda kullanılmaktadır (Kırlangıç, 2020; Bulut, 2020). Ancak, bu tip kolonlarda eğer binanın yangına karşı korunması gerekliyse ek olarak yangın yalıtımı gerekmektedir.

Bu doğrultuda çalışmanın amacı, deprem bölgesi olan ülkemizde, en çok kullanılan iki ana yapı tasarım malzemesi olan çelik ve betonarmenin yerine eksik kaldıkları yönleri birlikte tamamlayabileceği kompozit elemanlar kullanılmasıdır. Bu eksikliği giderip sismik davranışında minimum hasar ve maksimum verim almak için tasarımların uygun koşullarda modellenerek yararını ortaya koymaktır (Yorgun, 2005). Deprem bölgelerinde yapılacak yapılarda güçlü yatay yük taşıyıcı sistemlerin kullanılmasına ihtiyaç vardır. Çelik yapılarda yaygın kullanılan yatay yük taşıyıcı sistemler genel olarak merkezi ve dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemlerken, betonarme yapılarda ise betonarme perdeli çerçeve sistemlerdir. Yatay yük taşıyıcı sistemlerdeki en önemli yapı elemanlarından biri kolonlardır. Yapının yüksekliği arttıkça, kolon kesitinin ebatları artmakta, dolayısıyla planda daha büyük alan kaplayan kolonlara ihtiyaç duyulmaktadır. Her ne kadar çelik kolonlar, betonarme kolonlara göre oldukça az yer kaplamakla bir avantaja sahipse de narinlik etkisiyle burkulma davranışı gibi bir dezavantajı beraberinde getirmektedir (Taşkın, 2019). Kompozit kolonlar ise sadece kolon boyutları ve ağırlığı azaltmakla kalmaz, aynı zamanda düktiliteyi de sağlar (İnce, vd., 2015). Bu nedenlerle, deprem bölgelerinde yapılacak olan binalarda kompozit kolonlar ile güvenli ve aynı zamanda estetik bir yatay yük taşıyıcı sistem oluşturulabilir.

Kompozit yapı elemanları, yapı taşıyıcı sisteminde aynı anda betonarme yapı elemanları ile hem çelik yapı elemanları hem de ahşap yapı elemanları gibi farklı yapı

elemanlarının birlikte kullanılması ile teşkil edilen yapı sistemleridir. Kompozit yapı elemanları, kirişler, kolonlar, döşemeler ve perdeler olarak gruplandırılmaktadır (Hadim, 2018).

Kompozit kolonların yüksek yapısal performans sergilemesi sebebiyle birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. 1984 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde ilk defa kullanılan kompozit kolonlar, bir köprünün taşıyıcı sistem elemanı olarak teşkil edilmiştir (Taranath, 2012). Çelik kolonlar, ilerleyen zamanlarda yangına karşı dayanımı artırmak, korozyona ve burkulmaya karşı daha dayanıklı kesitler elde etmek amaçlı beton kesitlere gömülerek kullanılmaktaydı (Mason, vd., 1994). Bundan dolayı ülkemizde 17 Ağustos depremi sonrası artan hassasiyet ve konut ihtiyacı ile kompozit yapı sistemleri bir alternatif olarak göz önüne alınmıştır (İnce, vd., 2015). Günümüzde ise betonarme binalara göre yapı zati ağırlığını etkili bir şekilde azalttığı, kesitlerin daha küçük olması, inşa hızının artması ve sismik yüklere karşı istenilen yapı sünekliğini oluşturmada iyi performans sağladığı için Dünya'da yüksek yapı (skyscraper) uygulamalarının vazgeçilmez taşıyıcı sistemi haline gelmiştir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Kompozit yapı sistemlerinin kullanıldığı bir gökdelen (Lot 12, Eurasia Tower)

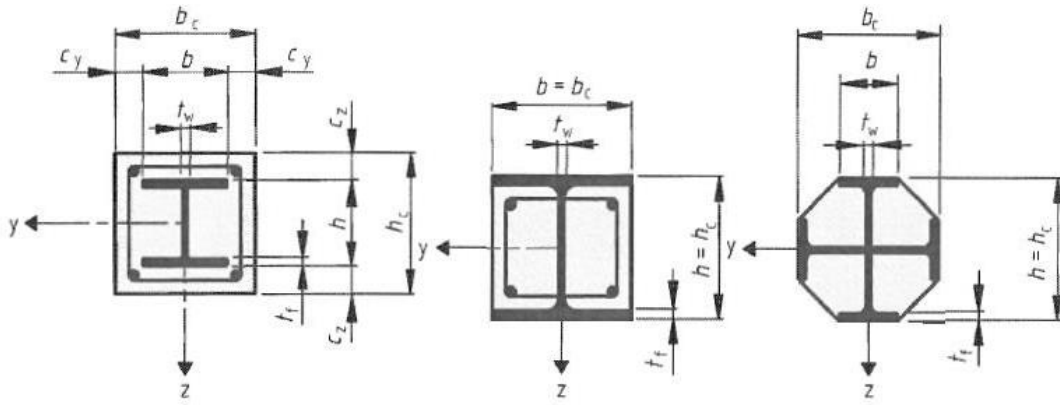
Kompozit kolonların en önemli avantajları çelik ve betonarme ile oluşturulan kolonlardan daha küçük kesitli olması, yangına ve korozyona karşı dayanıklı olması, büyük yük taşıma kapasitesi, yüksek dayanım ve süneklik olarak sıralanabilir (Shanmugam, 2001).

En önemli dezavantajları ise inşa esnasında zorlayıcı olabilir ve birleşim tasarımları diğer malzemelerle oluşturulan kolonlara göre daha zor olabilir.

Kompozit kolonlar dört şekilde teşkil edilebilmektedir. Bunlar;

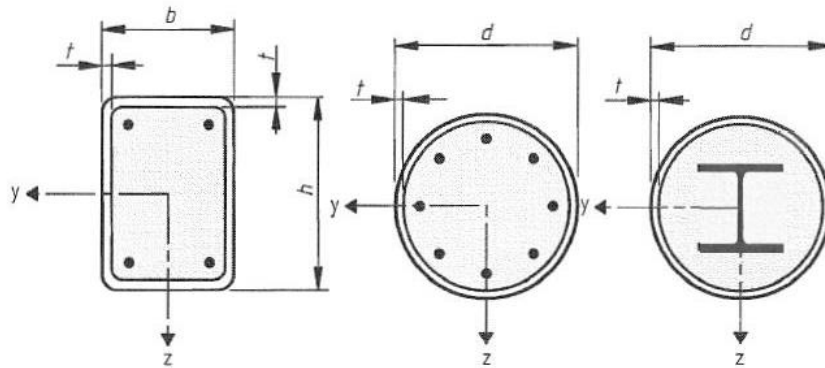
- Betona gömülü yapısal çelik elemanlar ile teşkil edilmiş kompozit kolonlar,
- Beton içerisine gömülmüş tüp çelik betonarme kompozit kolonlar,
- İçine beton doldurulan kapalı kutu çelik kesitlerle teşkil edilmiş kompozit kolonlar,
- Gövde boşlukları betonla doldurulan yapısal çelik kesitlerle teşkil edilen yarı gömme kompozit kolonlar.

Çelik gömme kompozit kolonlar, çelik bir profilin beton ile çevrenmesi ve donatılı ya da donatısız olarak teşkil edilir. Çelik ankrajlar ile desteklenebilir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Beton içerisine tamamen ve kısmen gömülü kompozit kolon kesitleri (EUROCODE, 2004)

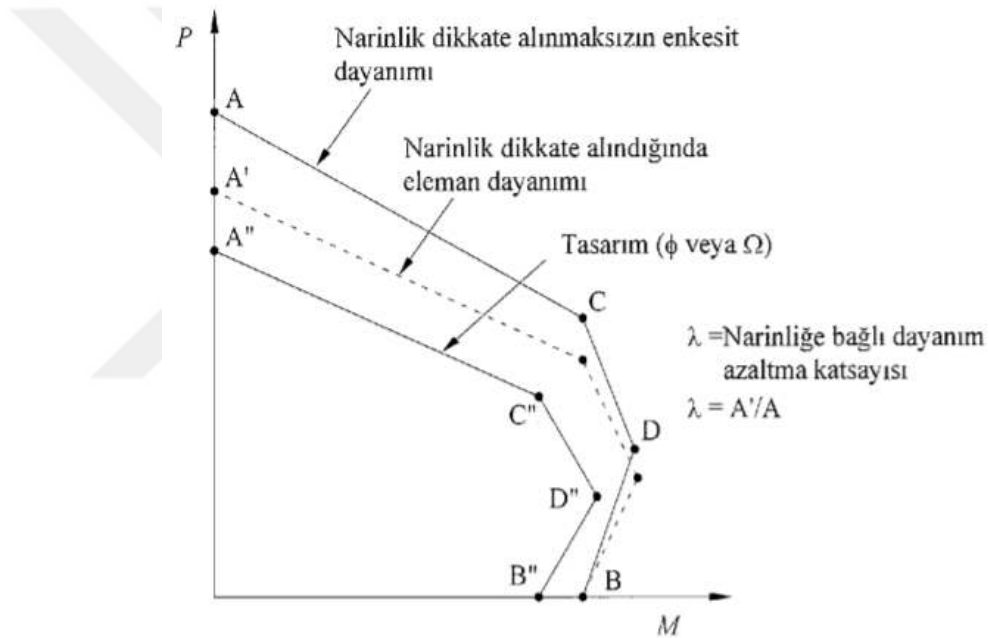
Beton dolgulu kompozit kolonlar ise çelik boru ya da kutu kesitin içerisine beton doldurularak tasarlanan kolon tipidir. Çelik ankrajlar ile desteklenebilmektedir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Beton dolgulu kompozit kolon kesitleri (EUROCODE, 2004)

2.1. Kompozit Kolonların Tasarım Esasları

Kompozit kolon tasarımında etkin olan en önemli etken, eğilme moment ve normal kuvvet etkileşimidir. Kolonların davranış esası, betonarme kolonların davranışına benzemektedir. Çelik bölge donatı modeline dönüştürülürse moment-normal kuvvet etkileşimi elde edilir. Bu konsept, burkulma etkisini içermemektedir. Kompozit kolon enkesitinin basınç dayanımı, betonarme kolon enkesitinin basınç dayanımından yüksek olduğundan burkulma etkisinin de dikkate alınmalıdır (Açıkelli, 2019). Yapıda kullanılan dört tip kolon kesiti için analiz sonuçlarından alınan değerlerle, ÇYTHYDE-2018’de Tablo 12.2, 12.3, 12.4 ve 12.5 kullanılarak hesaplanan dayanım sonuçlarıyla karşılaştırılacaktır. Kompozit elemanlar için geliştirilmiş karşılıklı etki diyagramı Şekil 2.4’te gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Kompozit elemanlar için geliştirilmiş karşılıklı etki diyagramı (ÇYTHYE,2018)

Karşılıklı etki diyagramı çizilme esnasında, narinlik etkisini göz önüne alabilmek için dayanımlar λ dayanım azaltma katsayısı ile azaltılmalıdır. Şekil 2.4’te görüldüğü üzere en dıştaki eğri hesaplamalar sonucu elde edilen azaltılmamış dayanımların oluşturduğu eğri görülmektedir. Ortadaki eğri ise, narinlik için dayanım azaltma katsayısının kullanıldığı eğri gösterilirken, en içteki eğri ise dayanım azaltma katsayılarının, tasarım azaltma katsayıları ile kullanılarak elde edildiği eğri gösterilmektedir. Yalnızca eksenel kuvvetler üzerinde narinlik için dayanım azaltma katsayıları kullanılmıştır (Hadim, 2018).

Şekil 2.4'te görüldüğü üzere, karşılıklı etki diyagramındaki dayanım ifadeleri A, C, D, B olmak üzere belirli noktalar tanımlanmıştır. Bu noktalar narinlik etkisi dikkate alınmadan hesaplanmaktadır. ÇYTHYE-2018'de verilmiş olan tablolarda A, C, D, B noktaları için normal kuvvet ve moment dayanımlarının hesabı, beton dolgulu kompozit kolonlar için ve çelik gömme kompozit kolonlar için sırasıyla Şekil 2.5, Şekil 2.6, Şekil 2.7 ve Şekil 2.8'de gösterilmiştir. Şekil 2.8'de gösterilen A', C', D', B' noktaları narinlik etkisi dikkate alınarak azaltılmış dayanımları göstermektedir. Bu etki Denklem 2.1'de verilen dayanım azaltma katsayısı, λ , ile dikkate alınmaktadır. Narinlik etkisini içermeyen dayanımlar, λ katsayısı ile çarpılarak azaltılmaktadır.

$$\lambda = \frac{P_n}{P_{no}} \quad (2.1)$$

Narinlik etkisi göz önüne alınarak hesaplanan azaltılmış dayanım değerleri, ÇYTHYE-2018'de tasarım ilkesi çerçevesinde yük ve dayanım katsayıları ile dayanım katsayısı ϕ ile çarpılarak tasarım dayanımı değerleri olan A'', C'', D'', B'' noktaları bulunmaktadır.

Denklem 2.1'de bulunan P_{no} eksenel yük etkisindeki çift simetri enkesitli kompozit eleman enkesitinin basınç kuvveti dayanımını temsil etmektedir ve Denklem 2.2 ve 2.3'e göre hesaplanmaktadır.

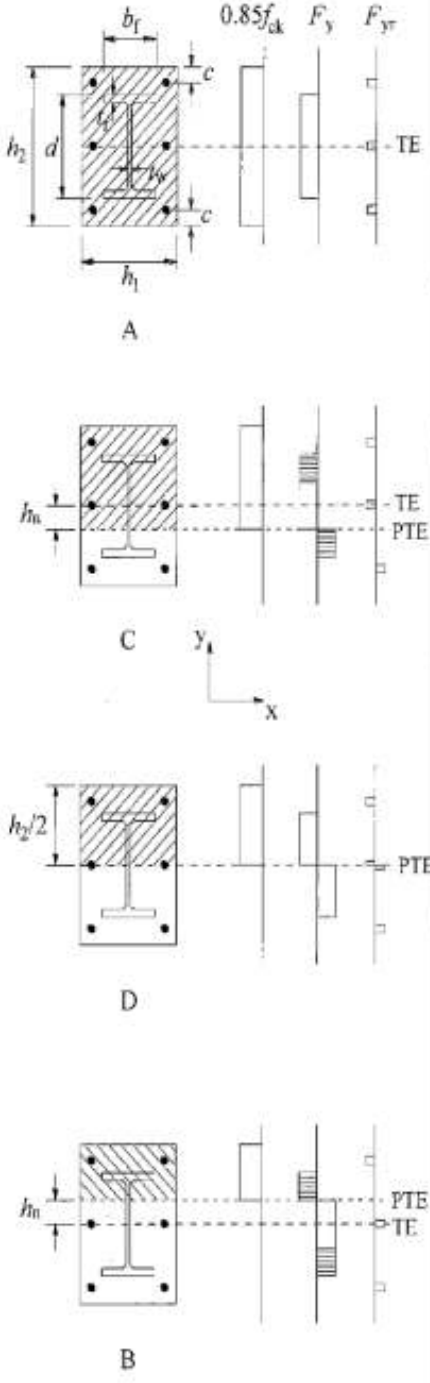
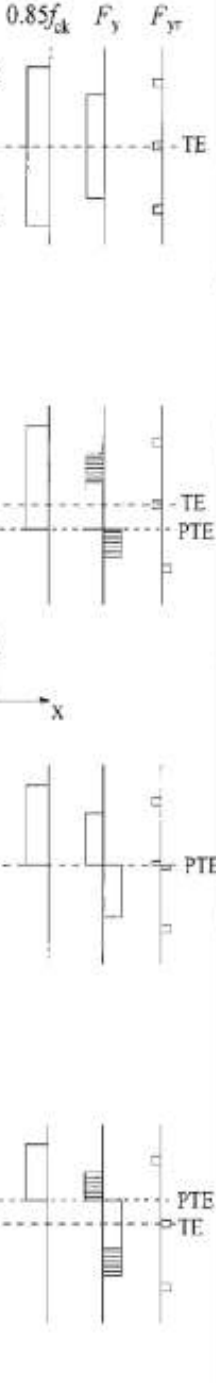
$$P_{no} = P_n \quad (2.2)$$

$$P_n = F_y A_s + F_{ysr} A_{sr} + 0.85 f_{ck} A_c \quad (2.3)$$

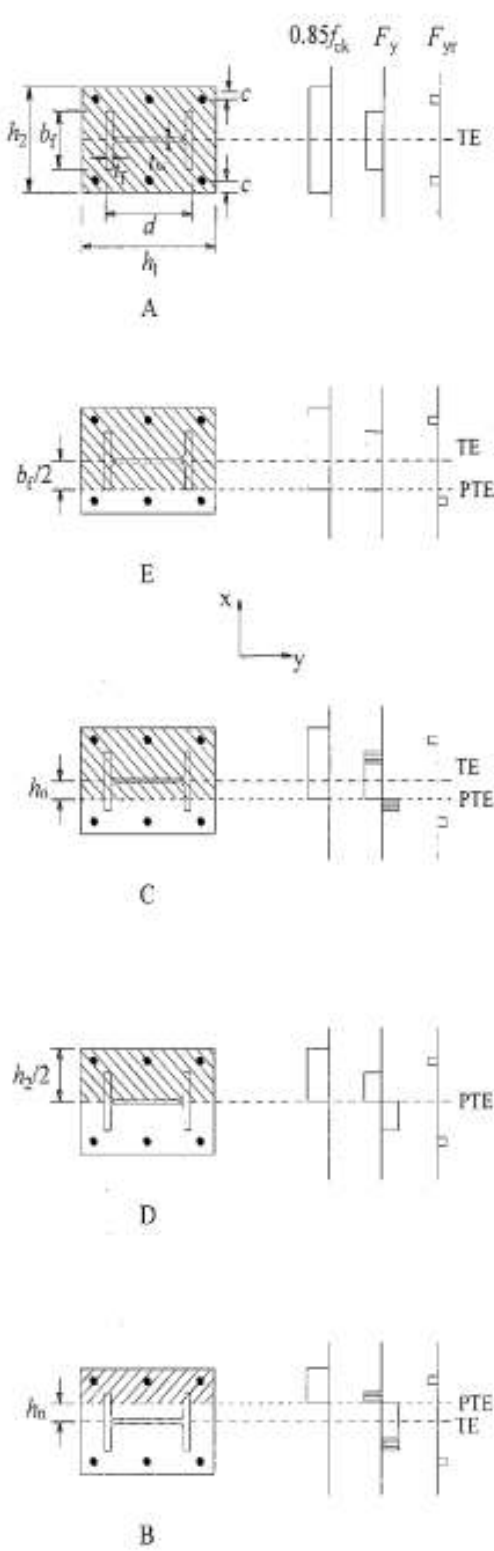
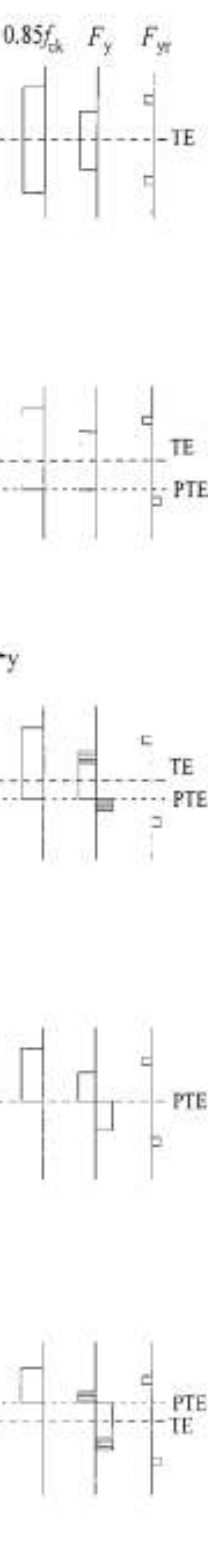
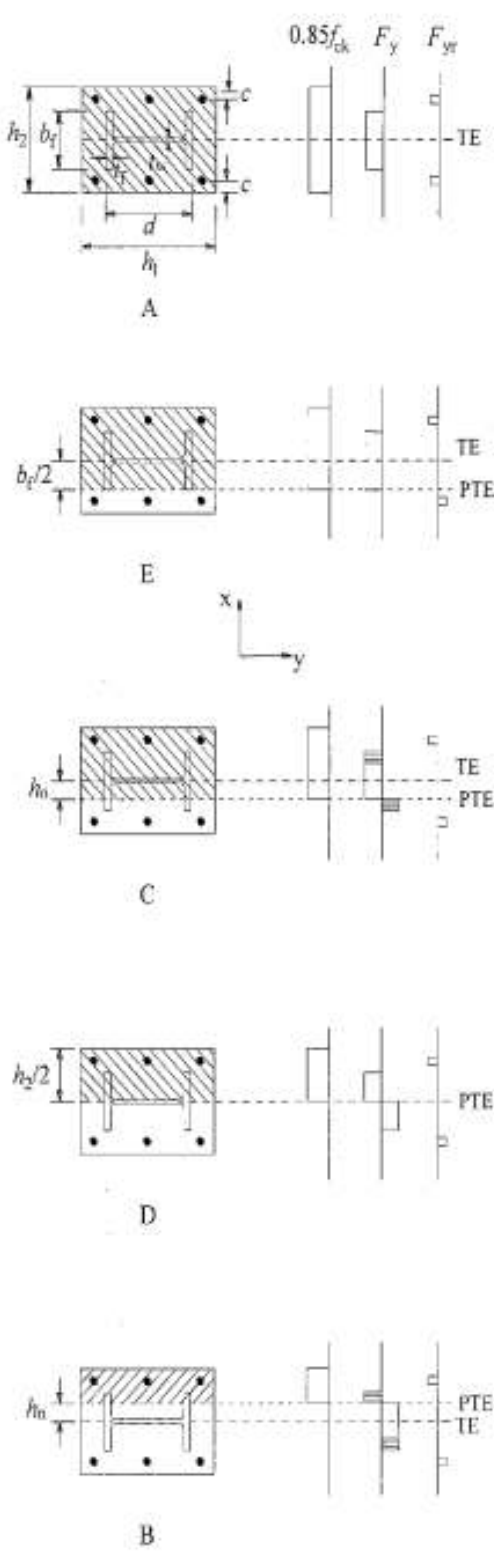
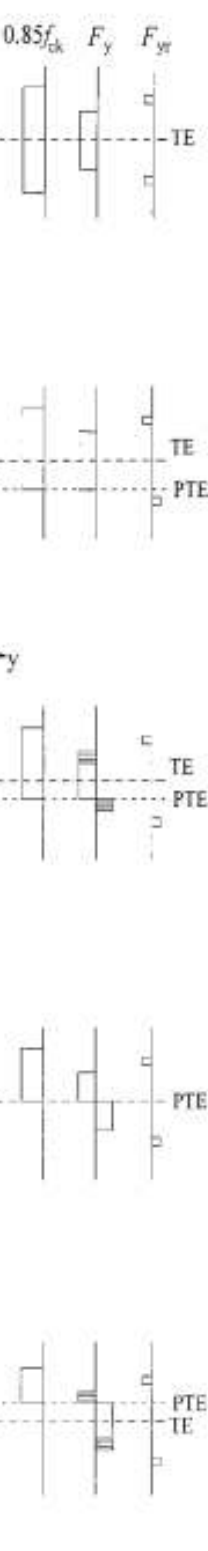
P_n ise karakteristik eksenel basınç kuvveti dayanımını temsil etmektedir, Denklem 2.4 veya Denklem 2.5'e göre hesaplanmaktadır.

$$\frac{P_{no}}{P_n} \leq 2.25 \text{ için } P_n = P_{no} \left[0.658 \frac{P_{no}}{P_n} \right] \quad (2.4)$$

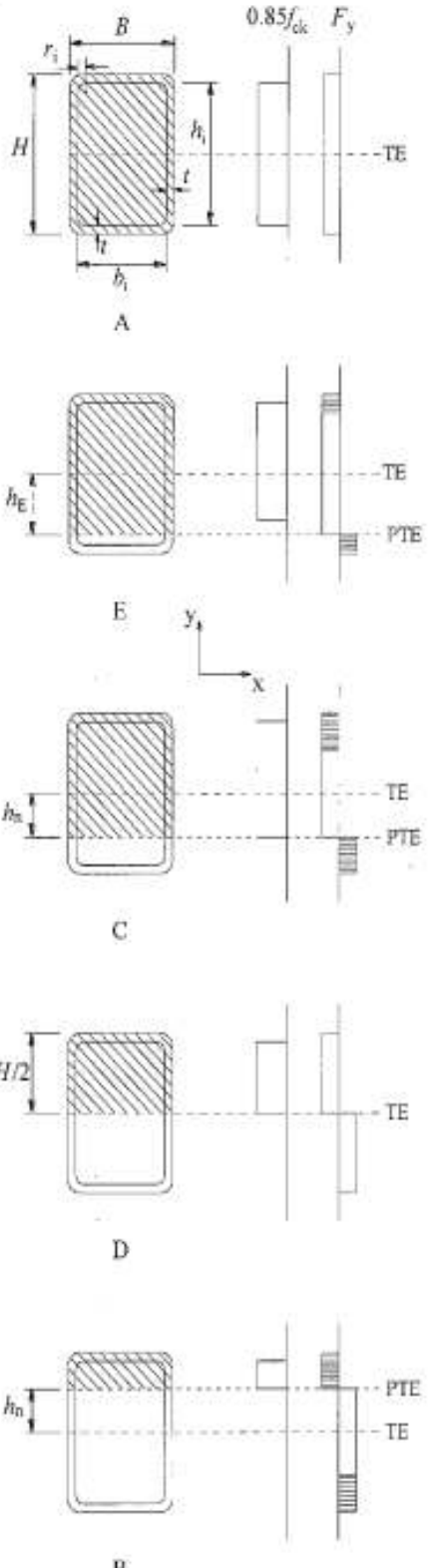
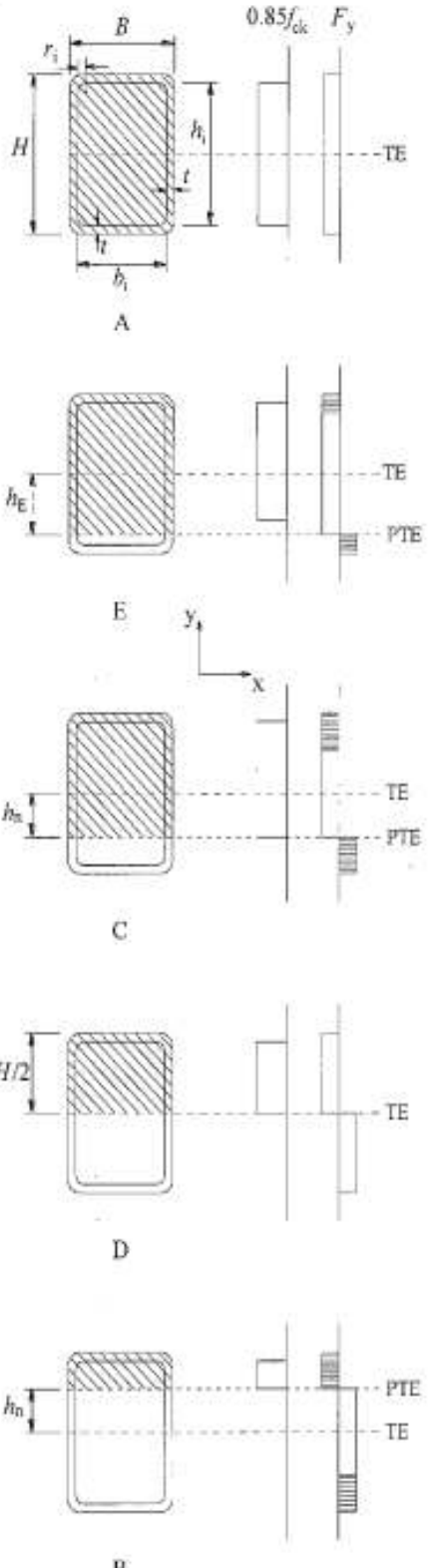
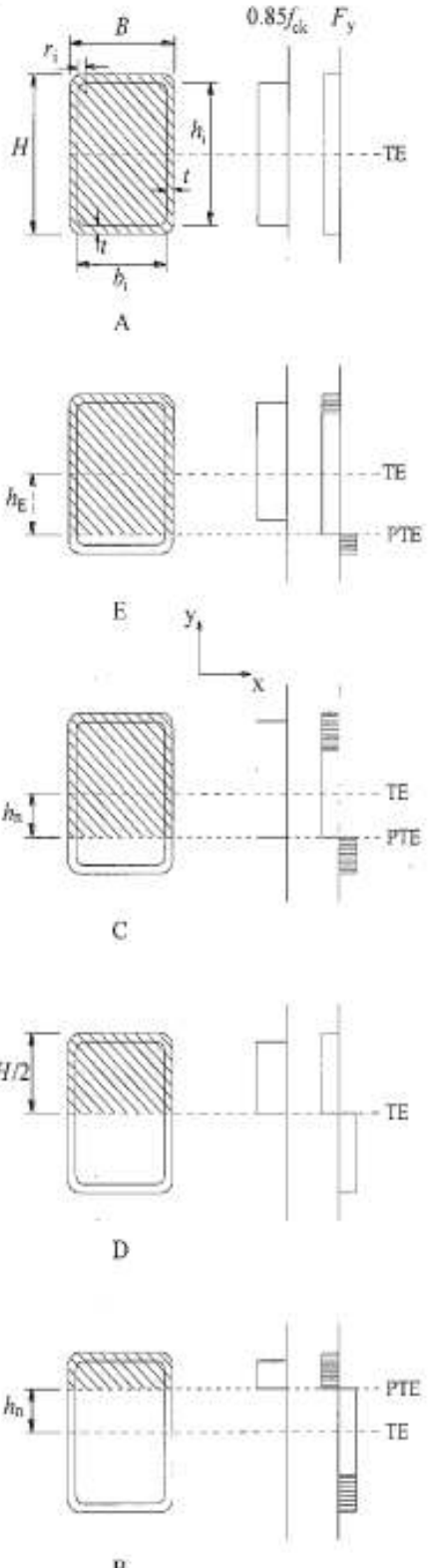
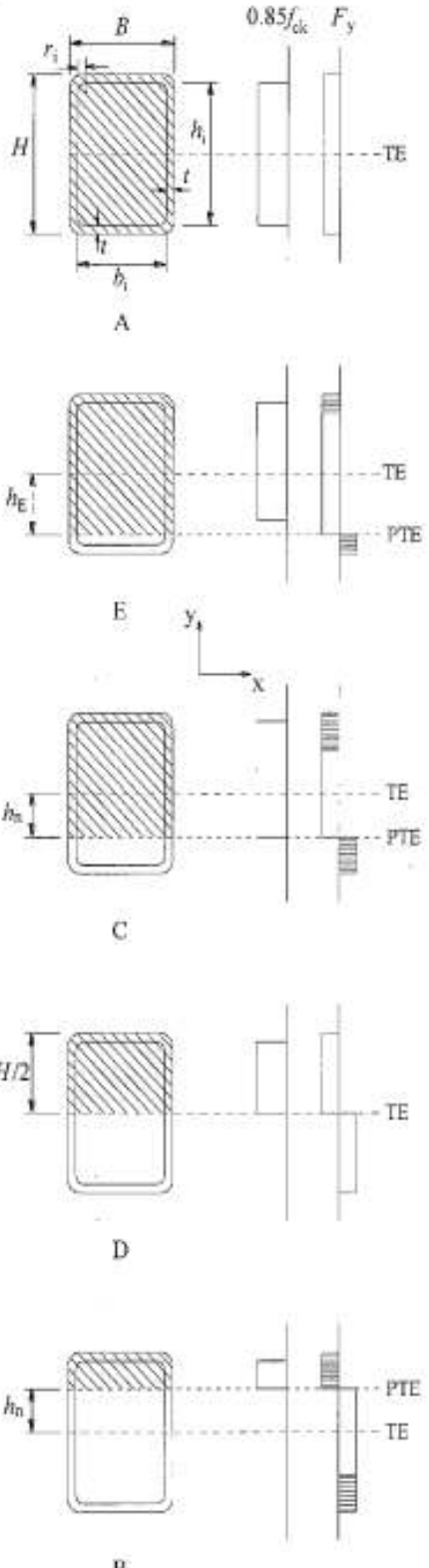
$$\frac{P_{no}}{P_n} > 2.25 \text{ için } P_n = 0.877 P_e \quad (2.5)$$

Kesit	Gerilme Yayılışı	Nokta	Dayanım Denklemleri
 A C D B	 0.85f_{ck} F_y F_{yr} TE PTE TE TE	A	$P_A = A_s F_y + A_{sr} F_{yr} + 0.85 f_{ck} A_c$ $M_A = 0$ $A_c = h_1 h_2 - A_s - A_{sr}$ A_s : Çelik enkesit alanı A_{sr} : Boyuna donatı alanı
		C	$P_C = 0.85 f_{ck} A_c$ $M_C = M_B$
		D	$P_D = \frac{0.85 f_{ck} A_c}{2}$ $M_D = W_{px} F_y + W_r F_{yr} + \frac{W_s}{2} (0.85 f_{ck})$ $W_r = (A_s - A_{sr}) \left(\frac{h_2}{2} - c \right)$ $W_s = \frac{h_1 h_2^2}{4} - W_{px} - W_r$ W_{px} : Çelik enkesitin x-eksenine göre plastik mukavemet momenti A_{sr} : Simetri eksenindeki boyuna donatı alanı
		B	$P_B = 0$ $M_B = M_D - W_{sx} F_y - \frac{1}{2} W_{sx} (0.85 f_{ck})$ $W_{sx} = h_1 h_n^2 - W_{rx}$ $\left(h_n \leq \frac{d}{2} - t_f \right)$ için $h_n = \frac{0.85 f_{ck} (A_c + A_{sr}) - 2 F_{yr} A_{sr}}{2 [0.85 f_{ck} (h_1 - t_w) + 2 F_y t_w]}$ $W_{rx} = t_w h_n^2$ $\left(\frac{d}{2} - t_f < h_n \leq \frac{d}{2} \right)$ için $h_n = \frac{0.85 f_{ck} (A_c + A_s - db_f + A_{sr}) - 2 F_y (A_s - db_f) - 2 F_{yr} A_{sr}}{2 [0.85 f_{ck} (h_1 - b_f) + 2 F_y b_f]}$ $W_{sx} = W_{px} - b_f \left(\frac{d}{2} - h_n \right) \left(\frac{d}{2} + h_n \right)$ $\left(h_n > \frac{d}{2} \right)$ için $h_n = \frac{0.85 f_{ck} (A_c + A_s + A_{sr}) - 2 F_y A_s - 2 F_{yr} A_{sr}}{2 [0.85 f_{ck} h_1]}$ $W_{sx} = W_{px}$

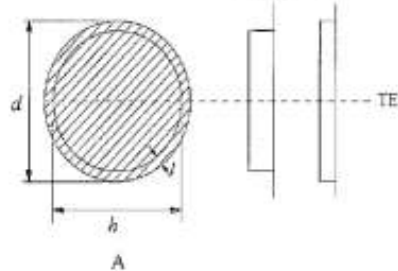
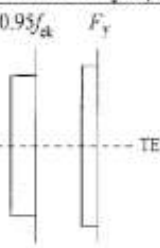
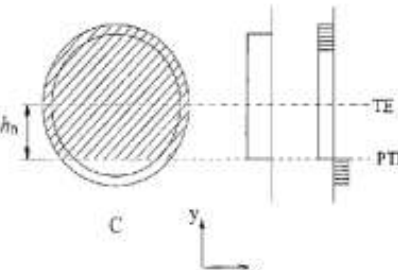
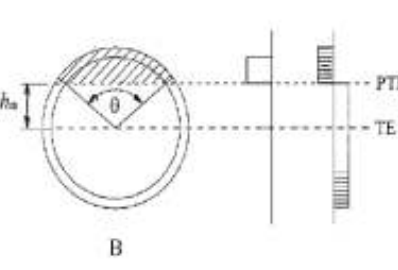
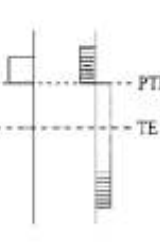
Şekil 2.5. Çelik Gömme kompozit elemanlar için A, C, D, B noktalarının moment ve normal kuvvet etkileşim diyagramı (kuvvetli eksen) (ÇYTHYE, 2018)

Kesit	Gerilme Yayıllışı	Nokta	Dayanım Denklemleri
 A E C D B	 TE PTE TE PTE TE PTE TE PTE	A	$P_A = A_s F_y + A_{sr} F_{yr} + 0.85 f_{ck} A_c$ $M_A = 0$ $A_c = h_1 h_2 - A_s - A_{sr}$ A_s : Çelik enkesit alanı A_{sr} : Boyuna donatı alanı
		E	$P_E = A_s F_y + (0.85 f_{ck}) \left[A_c - \frac{h_1}{2} (h_2 - b_f) + \frac{A_{sr}}{2} \right]$ $M_E = M_D - W_{sl} F_y - \frac{W_{sl}}{2} (0.85 f_{ck})$ $W_{sl} = W_{sr}$ $W_{sl} = \frac{h_1 b_f^2}{4} - W_{sl}$ W_{sl} : Çelik enkesitin y-eksenine göre plastik mukavemet momenti
		C	$P_C = 0.85 f_{ck} A_c$ $M_C = M_B$
		D	$P_D = \frac{0.85 f_{ck} A_c}{2}$ $M_D = W_{sr} F_y + W_r F_{yr} + \frac{W_r}{2} (0.85 f_{ck})$ $W_r = A_{sr} \left(\frac{h_2}{2} - c \right)$ $W_c = \frac{h_1 h_2^2}{4} - W_{sr} - W_r$
 A E C D B	 TE PTE TE PTE TE PTE TE PTE	B	$P_B = 0$ $M_B = M_D - W_{sl} F_y - \frac{1}{2} W_{sl} (0.85 f_{ck})$ $W_{sl} = h_1 h_2^2 - W_{sr}$ $\left(\frac{h_2}{2} < h_s \leq \frac{b_f}{2} \right)$ için $h_s = \frac{0.85 f_{ck} (A_c + A_s - 2t_b b_f) - 2F_y (A_s - 2t_b b_f)}{2[4t_b F_y + (h_1 - 2t_b) 0.85 f_{ck}]}$ $W_{sl} = W_{sr} - 2t_b \left(\frac{b_f}{2} + h_s \right) \left(\frac{b_f}{2} - h_s \right)$ $\left(h_s > \frac{b_f}{2} \right)$ için $h_s = \frac{0.85 f_{ck} (A_c + A_s) - 2F_y A_s}{2[0.85 f_{ck} h_1]}$ $W_{sl} = W_{sr}$

Şekil 2.6. Çelik Gömme kompozit elemanlar için A, C, D, B noktalarının moment ve normal kuvvet etkileşim diyagramı (zayıf eksen) (ÇYTHYE, 2018)

Kesit	Gerilme Yayılsı	Nokta	Dayanım Denklemleri
		A	$P_A = A_s F_y + 0.85 f_{ck} A_c$ $M_A = 0$ $b_1 = B - 2t$ $h_1 = H - 2t$ $r_1 = t$ $A_c = b_1 h_1 - 0.8584 r_1^2$ A_s : Yapısal çelik enkesit alanı
		E	$P_E = \frac{0.85 f_{ck} A_c}{2} + 0.85 f_{ck} b_1 h_E + 4 F_y t h_E$ $M_E = M_D - F_y W_{xE} - \frac{1}{2} W_{xE} (0.85 f_{ck})$ $W_{xE} = b_1 h_E^2$ $W_{xE} = 2 t h_E^2$ $h_E = \frac{h_1}{2} + \frac{H}{4}$
		C	$P_C = 0.85 f_{ck} A_c$ $M_C = M_D$
		D	$P_D = \frac{0.85 f_{ck} A_c}{2}$ $M_D = W_{yx} F_y + \frac{W_c}{2} (0.85 f_{ck})$ $W_c = \frac{b_1 h_1^3}{4} - 0.192 r_1^3$ W_{yx} : x-eksenine göre kutu enkesit plastik mukavemet momenti
		B	$P_B = 0$ $M_B = M_D - W_{yx} F_y - \frac{1}{2} W_{yx} (0.85 f_{ck})$ $W_{yx} = 2 t h_1^2$ $W_{yx} = b_1 h_1^2$ $h_1 = \frac{0.85 f_{ck} A_c}{2 [0.85 f_{ck} b_1 + 4 t F_y]} \leq \frac{h}{2}$
			Denklemler, $H \geq B$ olması durumunda, x-ekseni etrafında eğilme etkisi için, $H < B$ olması durumunda ise, y-ekseni etrafında eğilme için kullanılacaktır.

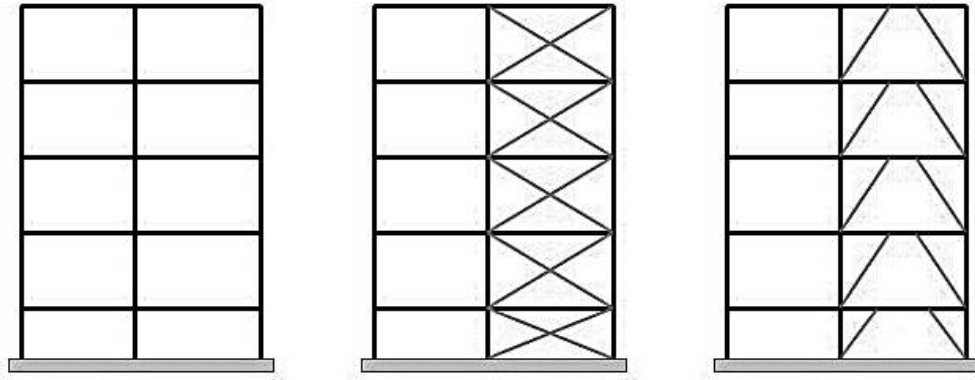
Şekil 2.7. Beton dolgulu kutu enkesitli kompozit elemanlar için A, C, D, B noktalarının moment ve normal kuvvet etkileşim diyagramı (ÇYTHYE, 2018)

Kesit	Gerilme Yayıllışı	Nokta	Dayanım Denklemleri
 A		A	$P_A = A_s F_y + 0.95 f_{ak} A_c$ $M_A = 0$ $A_s = \pi (d^2 - t^2)$ $A_c = \frac{\pi h^2}{4}$
		E	$P_E = P_A - \frac{1}{4} \left[F_y (d^2 - h^2) + \frac{0.95 f_{ak} h^2}{2} \right] (\theta_2 - \sin \theta_2)$ $M_E = W_{se} F_y + \frac{0.95 f_{ak} W_{de}}{2}$ $W_{de} = \frac{h^3}{6} \sin^3 \left(\frac{\theta_2}{2} \right)$ $W_{se} = \frac{(d^3 - h^3)}{6} \sin \left(\frac{\theta_2}{2} \right)$ $h_e = \frac{h_n}{2} + \frac{h}{4}$ $\theta_2 = \pi - 2 \arcsin \left(\frac{2h_e}{h} \right)$
 C		C	$P_C = 0.95 f_{ak} A_c$ $M_C = M_u$
		D	$P_D = \frac{0.95 f_{ak} A_c}{2}$ $M_D = W_p F_y + \frac{W_c}{2} (0.95 f_{ak})$ $W_c = h^3 / 6$ $W_p = d^3 / 6 - W_c$ W_p : x-eksenine göre boru enkesit plastik mukavemet momenti
 B		B	$P_B = 0$ $M_B = W_{sa} F_y + \frac{1}{2} W_{sb} (0.95 f_{ak})$ $W_{sa} = \frac{(d^3 - h^3)}{6} \sin \left(\frac{\theta}{2} \right)$ $W_{sb} = \frac{h^3}{6} \sin^3 \left(\frac{\theta}{2} \right)$ $\theta = \frac{0.0260 K_c - 2K_s}{0.0848 K_s} + \frac{\sqrt{(0.0260 K_c + 2K_s)^2 + 0.857 K_c K_s}}{0.0848 K_s} \text{ (rad)}$ $K_c = f_{ak} h^3$ $K_s = F_y \left(\frac{d-t}{2} \right) t$ (ince cidar kalınlığı varsayımıyla) $h_s = \frac{h}{2} \sin \left(\frac{\pi - \theta}{2} \right) \leq \frac{h}{2}$

Şekil 2.8. Beton dolgulu boru enkesitli kompozit elemanlar için A, C, D, B noktalarının moment ve normal kuvvet etkileşim diyagramı (ÇYTHYE, 2018)

2.2. Çelik Çerçeve Sistemler

Farklı türde kompozit kolonla teşkil edilmiş çelik yapı tasarımında yatay yüklerin aktarımı ve taşınmasında moment aktaran çerçeve, merkezi çaprazlı çerçeve ve dışmerkez çaprazlı çerçeve taşıyıcı sistemleri oldukça sık olarak tasarlanmaktadır. Bu çerçeve sistemlerin tasarım ilkeleri birbirinden farklıdır. Moment aktaran çerçeve sistemlerde istenilen davranış, yapıya etkiyen yatay ve düşey yükleri kolonlarda meydana gelen yerdeğiştirmelerin doğrusal bölgede kalması beklenir ve kirişlerde ise doğrusal olmayan bölgede yerdeğiştirmeler yapabilmesi istenmektedir (Uzun, 2018). Çaprazlı çerçeve sistemlerde ise etkin olan çapraz tipi olduğundan, çapraz elemanlar çerçeveleri rijitleştirmek için kullanılmaktadır ve sismik etki sırasında hangi elemanın hasar görüp veya kullanılabilir halde kalacağını belirleyen elemanlardır (Taranath, 2012). Bu çerçeve sistemlerin Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e göre genelleştirilmiş görseli şekil 2.9 ile verilmiştir.



Şekil 2.9. Moment aktaran ve çaprazlı çerçeve sistemler (TBDY, 2018)

Çelik çaprazlı çerçeveler çapraz elemanların merkezi veya dışmerkez olarak X, /, V, Y gibi çeşitli şekillerde uygulanmaktadır. V veya ters V çapraz sistemler özellikle mimari açıdan avantajlı uygulamalardır. Çapraz eleman olarak kare, boru veya dikdörtgen kesitli profil, I veya U profil kesitler, tek ya da çift köşebent kullanılabilir. Süneklik düzeyi yüksek veya sınırlı olarak tasarlanmaktadır.

2.2.1. Merkezi Çaprazlı Çerçeve Sistemler

Çaprazlı sistemlerden merkezi çaprazlı olarak teşkil edilenler, çaprazlar boyunca eksenli boyunca ana çerçevenin birleşim noktalarıyla kesişecek şekilde düzenlenmesiyle tasarlanan sistemlerdir. Merkezi çaprazlı çerçeveli sistemlerin yatay yükleri taşıma kapasiteleri sınırlıdır. Bunun nedeni ise çaprazlı elemanların yatay yükler altında burkularak

inelastik davranış göstererek, bu tekrarlı yükler ile sistemin enerji yutma özelliğinin bozulmasıdır (Ertaş, 2018).

Merkezi çaprazlı çerçeve sistemler, moment aktaran çerçeve sistemlere göre yüksek rijitlikler sağlasa da tasarımın sünekliğini artırmamaktadır. Merkezi çaprazlı çerçeve sistemler, yatay yüklere karşı moment aktaran çerçevelerden daha büyük dayanım ve rijitlik sağlamaları sebebiyle kullanımları oldukça yaygındır. Uygulamada en çok kullanılan merkezi çaprazlı çerçeve sistemleri;

Tek taraflı Diyagonal düzenleme

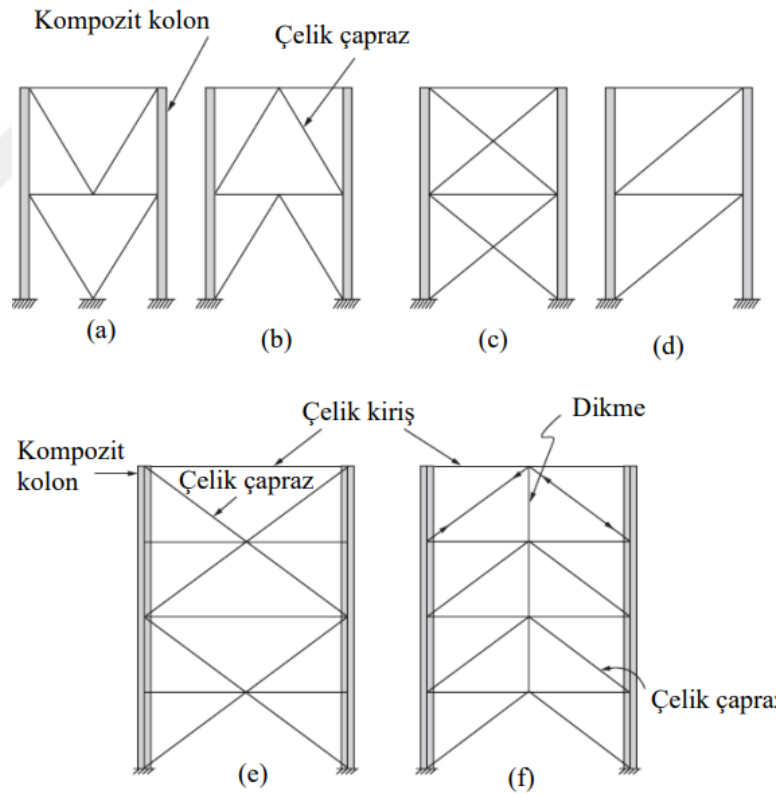
X-Şeklinde düzenleme

Ters V şeklinde düzenleme

V-şeklinde düzenleme

K şeklinde düzenleme

Şekil 2.10’da merkezi çaprazlı çerçeve sistemlerden bazı görseller bulunmaktadır.



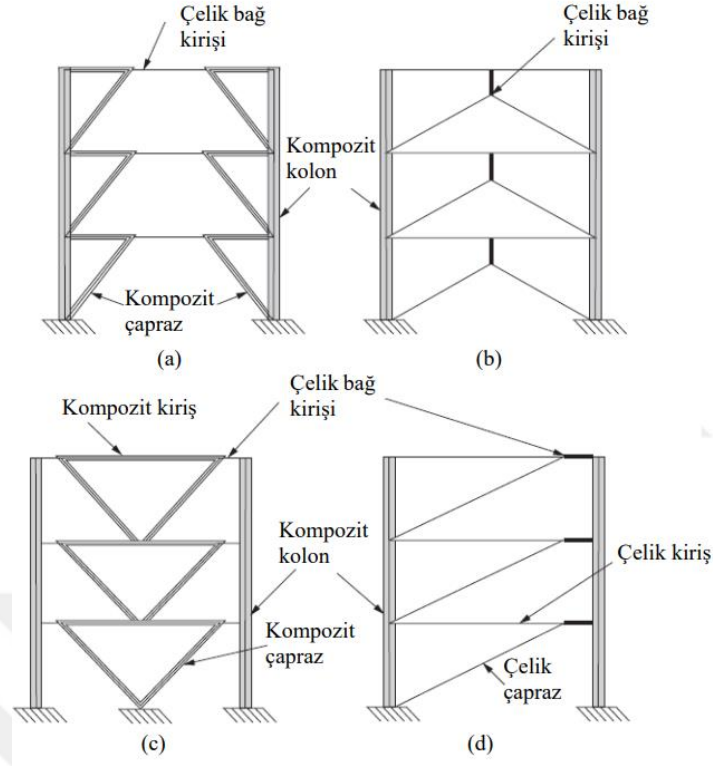
Şekil 2.10. Merkezi çaprazlı çerçeve sistemler (Ertaş, 2018)

Merkezi çaprazlı çerçevelerin sünek bir davranış sergilemesi için, çaprazların tekrarlı inelastik yükleme ile dayanım ve rijitliklerini kaybetmeden büyük deformasyon yapabilmesi

gerekmektedir. Çaprazların bu şekilde davranış gösterebilmesinde; çaprazların narinliğine, kesitin yerel burkulma faktörlerine ve mesnet koşullarına dikkat edilmelidir. Merkezi çaprazlı çerçeve sistemler en iyi performansını, çekme etkisi altında gösterirler ve akma ve basınç etkisi altındaysa inelastik burkulmayla göstermektedirler. Bir çaprazın enerji yutma kapasitesi, eksenel basınç etkisindeyken narinlik faktörüne bağlıdır (Taranath, 2012). Narinliği azaldıkça, enerji yutma kapasiteleri artmaya başlamaktadır.

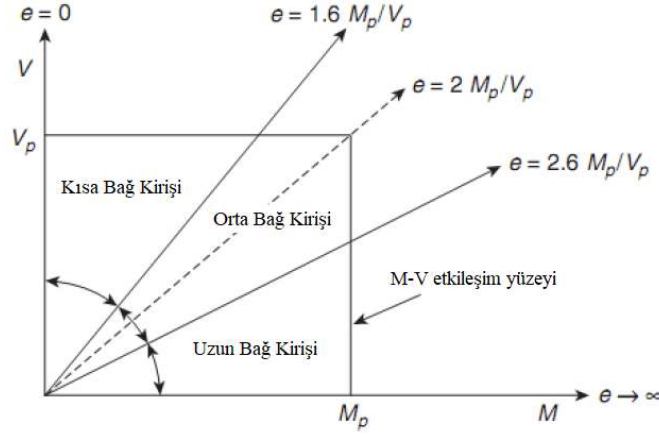
2.2.2. Dış Merkezi Çaprazlı Çerçevesel Sistemler

Dış merkez çelik çerçeve sistemlerde ise, moment aktaran çelik çerçeve sistemler gibi enerji sönümlenme kapasitesi ve yüksek süneklik ile merkezi çaprazlı çelik çerçeve sistemlerde olduğu gibi yanal elastik rijitlik özelliklerini göstermektedirler. Çapraz elemanların, en az bir ucu kirişten izole edilmiş olan bağ kirişe bağlanır. Sünek davranış, bağ kirişinin elastik ötesi şekil değiştirmesiyle sağlanmaktadır (Altan, 2020). Bu çerçeveler, merkezi çaprazlı çerçeve sistemlerin, tersine kolon ve kirişin birleştiği noktaya ya da çaprazların kirişle kesiştiği noktalar arasında belirli bir dışmerkezlik verilerek oluşturulmaktadır (Taranath, 2012). Dışmerkezlik ise, kiriş elemanı üzerinde oluşturulur ve çaprazların arasında ya da çapraz ile kolon arasında oluşan bu eleman olan bağ kirişi ile elde edilir. Dışmerkez çerçeve sistemler, bağ kirişinin bir sigorta gibi davranması ile kararlı bir halde enerjiyi tüketmekte ve iyi bir süneklik göstermektedirler. Bağ kirişinin kapasite hesabında döşeme ile kiriş arasındaki kompozit etkileşim dikkate alınmalıdır. Dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemlerin çapraz elemanları yatay yükler altında elastik davranışın ötesine geçmeden tasarlanmalıdır. Gerekli dayanım hesaplanırken bağ kirişte oluşabilecek pekleşme de dikkate alınacak hususlardandır (Caprili, vd., 2018; Hadim, 2018). Dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemler, düşey bağ kirişli (ters Y çapraz) ya da yatay bağ kirişli (V, ters V, diyagonal ve X) olarak düzenlenebilirler. Yaygın olarak kutu kesitli çaprazlar kullanılır. Bunun nedeni daha yüksek küresel burkulma kapasiteleri nedeniyle çaprazlı çerçeve sistemlerinin tasarımında tercih edilir (Dicelle ve Mehta, 2006). Dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemler, Şekil 2.11’de gösterilmektedir.

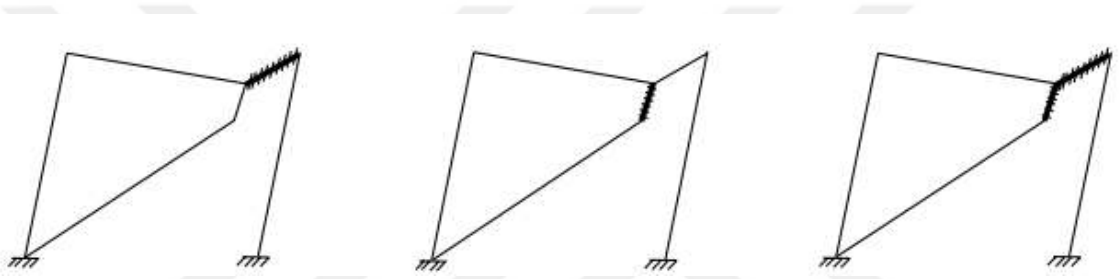


Şekil 2.11. Dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemler (Ertaş, 2018)

Dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemlerde, bağ kirişi boyu ve dönme açısı önemli bir kriterdir. Bağ kirişi uzunluğunun $1.6M_p/V_p$ 'ye eşit veya daha küçük olması halinde bu kirişler kısa bağ kirişler olarak tanımlanırlar. Bu tür bağ kirişler ise kesme kuvvetiyle enerjiyi tüketmektedir ve bu nedenle ve kesmeye çalışan bağ kirişler olarak da adlandırılırlar. Bağ kirişi uzunluğunun $2.6M_p/V_p$ 'ye eşit veya daha büyük olması halinde bu kirişler uzun bağ kirişler olarak tanımlanırlar. Bu tür bağ kirişler ise enerjiyi moment aracılığıyla tüketmektedirler ve eğilmeye çalışan bağ kirişler olarak da adlandırılırlar. Boyu $1.6M_p/V_p$ ve $2.6M_p/V_p$ arasında olan bağ kirişleri ise orta bağ kirişler olarak tanımlanırlar ve orta uzunluktaki bağ kirişler ise hem moment hem de kesme kuvvetiyle enerjiyi tüketmektedirler (ÇYTHYE,2018). Şekil 2.12'de bağ kiriş sınıflandırılması görülmektedir. Ayrıca dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemlerin deprem kuvvetleri altındaki elastik olmayan davranışı da Şekil 2.13'te gösterilmektedir.



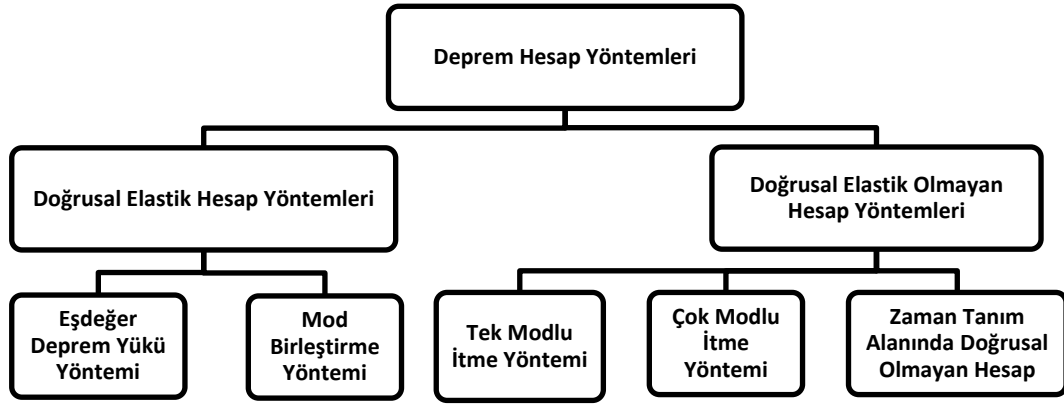
Şekil 2.12. Bağ kirişi sınıflandırması (Suswanto, vd., 2017)



Şekil 2.13. Dışmerkez çapraz sistemlerin deprem kuvvetleri altındaki elastik olmayan davranış (Ziane, vd., 2019)

2.2.3. Bina Taşıyıcı Sisteminin Doğrusal Olmayan Analizi

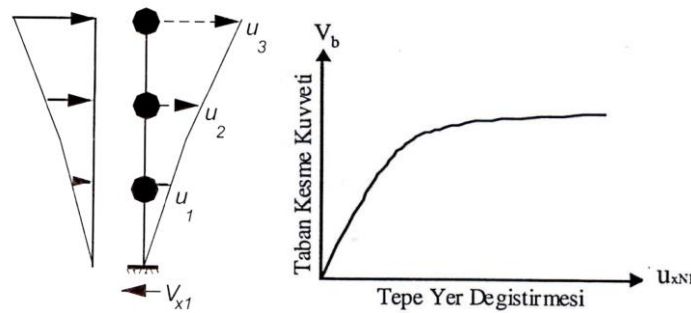
Doğrusal olmayan analiz, geometri ve malzeme bakımından doğrusal olmayan, yerdeğiştirmelerin küçük olmadığı doğrusal olmayan davranışı göz önüne alan hesap yöntemidir. Deprem etkisi altında iç kuvvetlerdeki artış nedeniyle yapıdaki kesitlerde elastik ötesi davranış kapsamında doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler oluşmaktadır. Şekildeğiştirme ve yer değiştirme esaslı değerlendirmeyi göz önüne alan doğrusal olmayan hesap yöntemlerinde sünek davranışla ilgili şekildeğiştirme talepleri ile iç kuvvet talepleri hesaplanır. Hesaplanan değerler, performans hedeflerine karşı gelen değerlerle karşılaştırılarak yapısal performans değerlendirmesi yapılır. Mevcut veya yeni yapılacak binaların performans seviyesinin belirlenmesi için TBDY-2018’de doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan olmak üzere iki yöntem önerilmektedir. Şekil 2.14’te deprem hesap yöntemlerinin sınıflandırılması şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.14. Deprem hesap yöntemleri

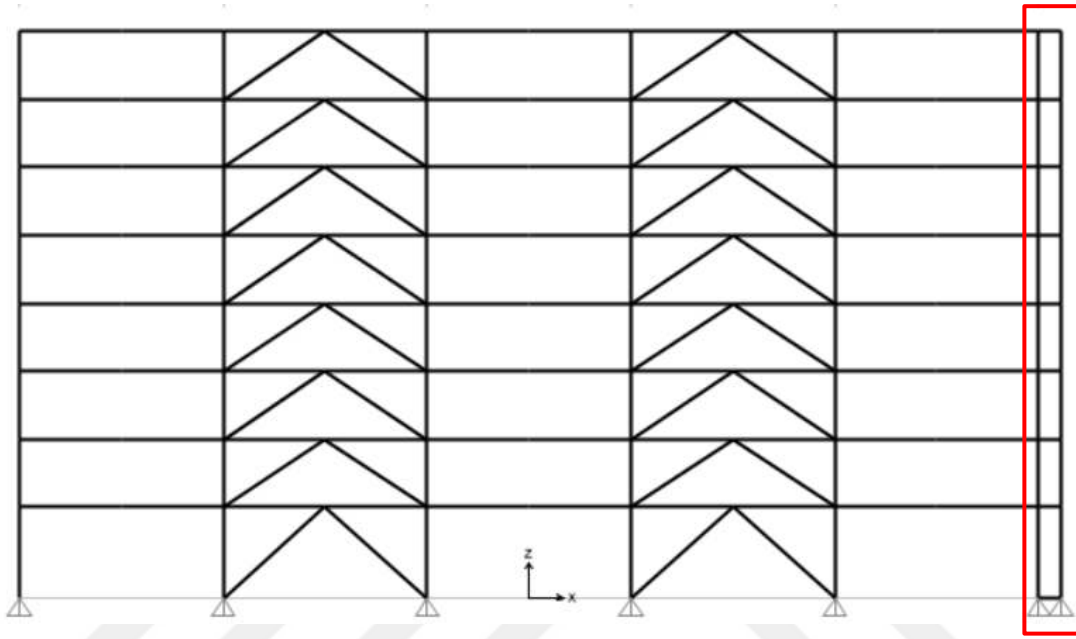
Doğrusal elastik hesap yöntemi, dayanım altında çözüme ulaşırken, doğrusal elastik olmayan hesap yönteminde şekildeğiştirme ve yerdeğiştirme odaklı çözüm yapılmaktadır. Bu çalışma kapsamında incelenen binanın performansı doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinden olan tek modlu itme yöntemi ile yapılmıştır.

Doğrusal olmayan itme analizi yatay yük etkisi altındaki yapıların performansını belirlemeye yönelik bir analiz yöntemidir. Yapıda yanal yüklerin adım adım artırılması ile elemanlarda meydana gelen rijitlik ile dayanım değişimini inelastik davranış özellikleri dikkate alınarak hesaplanır. Bu yöntemde yapının taban kesme arasındaki ilişki elde edilir. Bu ilişkiyi gösteren eğriye “Kapasite Eğrisi” denir. Kapasite eğrisi belirlenirken, genellikle yapıların davranışında birinci doğal titreşim mod şekline göre hesaplanan eşdeğer statik deprem kuvvetleri dikkate alınır. Kapasite eğrisinin eğimi ile yapının rijitlik ve sünekliği ve eğri altında kalan alan ile yapının enerji tüketme kapasitesi hakkında bilgi elde edilir. Tasarlanan binaların sismik performanslarının karşılaştırmak için SAP2000 V21 programında analiz yöntemi uygulanmıştır. Şekil 2.15’te yükleme sonrası yer değiştirme ve kapasite eğrisinin örneği mevcuttur.



Şekil 2.15. Yükleme-Yer değiştirme ve Kapasite eğrisi (Celep, 2007)

CYTHYE-2018 Bölüm 6 dikkate alınarak yapılmış olup ilgili bölümde verilen yöntemlerden “genel analiz yöntemi” kullanılmıştır. Doğrusal olmayan analizlerde P- Δ etkilerini göz önüne alabilmek için DYT kolonlar tanımlanmıştır. DYT kolonlar her kat seviyesinde, o kattaki toplam kat ağırlıklarını katta temsil etmektedir. Şekil 2.16’da DYT kolonlarının görseli mevcuttur.



Şekil 2.16. DYT kolonların görünümü ve konumu

Kesit Hasar Durumları

TBDY-2018 ’de sünek elemanlar için kesit düzeyinde sınırlı hasar (SH), kontrollü hasar (KH) ve göçme öncesi hasar (GÖ) olmak üzere üç hasar durumu ve hasar sınırı tanımlanmıştır. Kesitteki sınırlı miktarda elastik ötesi davranış sınırlı hasarla, kesit dayanımının güvenli olarak sağlanabileceği elastik ötesi davranış kontrollü hasarla, ileri düzeyde elastik ötesi davranış ise göçme öncesi hasarla ifade edilmektedir. Gevrek olarak hasar gören elemanlar bu sınıflandırmaya dahil edilmez.

Performans Düzeyinin Belirlenmesi

Bina performans düzeyleri TBDY-2018 Bölüm 3.4 ile verilmiştir. Bu tez kapsamında bina performans düzeyi TBDY-2018 Bölüm 3.4.3 uyarınca, can güvenliğini sağlamak üzere bina taşıyıcı elemanlarında çok ağır olmayan ve çoğunlukla onarılması mümkün olan kontrollü hasar düzeyine karşı gelen, “Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi” olarak belirlenmiştir.

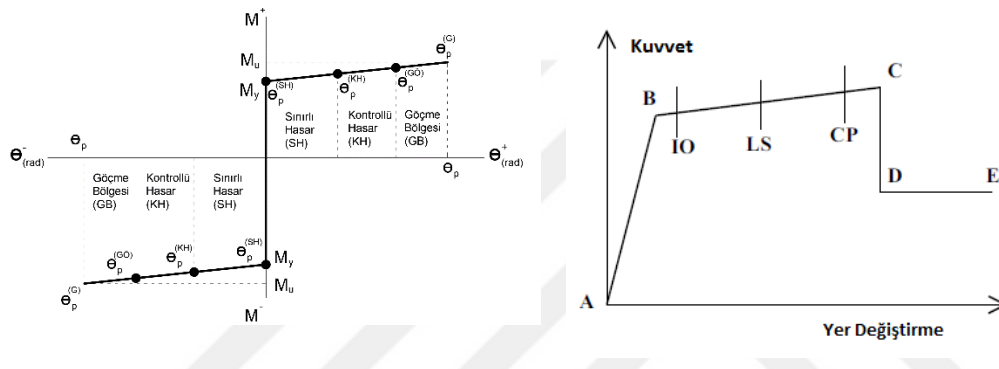
Kesit Hasar Bölgeleri

TBDY-2018 Bölüm 15.3.1 uyarınca hasar durumları:

Sınırlı hasar (SH), kontrollü hasar (KH) ve göçme öncesi hasar (GÖ) durumlarıdır.

Sınırlı hasar (SH) ilgili kesitte sınırlı miktarda elastik ötesi davranışı, kontrollü hasar (KH) kesit dayanımının güvenli olarak sağlanabileceği elastik ötesi davranışı, göçme öncesi hasar (GÖ) ise kesitte ileri düzeyde elastik ötesi davranışı ifade eder. Bu sınıflandırma sünek elemanlar için geçerlidir.

Hasar bölgeleri ile iç kuvvet-deplasman grafiği Şekil 2.17 ile aşağıdaki gibi verilmiştir.



Şekil 2.17. Plastik mafsalsınır bölgeleri (TBDY, 2018)

Performans Düzeyleri

TBDY-2018’de betonarme yapılar için kesintisiz kullanım (KK) performans düzeyi, sınırlı hasar (SH) performans düzeyi, kontrollü hasar (KH) performans düzeyi, göçmenin önlenmesi (GÖ) performans düzeyi olmak üzere 4 performans düzeyi verilmiştir. Bu dört performans düzeyinden herhangi birini sağlayamayan binalar göçme durumundadır.

Kesintisiz kullanım (KK) performans düzeyi

Kesintisiz kullanım (KK) performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında yapısal hasarın oluşmadığı veya hasarın ihmal edilebilir ölçüde kaldığı duruma ifade etmektedir.

Sınırlı hasar (SH) performans düzeyi

Binanın taşıyıcı sistem elemanlarının sınırlı düzeyde hasar görmesi veya doğrusal olmayan davranışın sınırlı kalmasını ifade eden performans düzeyidir. TBDY-2018’e göre binanın performans seviyesinin sınırlı hasar olması için aşağıdaki koşulları sağlaması gerekmektedir.

- Binanın herhangi bir katında, her iki deprem doğrultusu için yapılmış olan performans analizi sonucu, kirişlerin en fazla %20'si belirgin hasar bölgesi' ne geçebilir.
- Düşey taşıyıcı elemanların tamamı sınırlı hasar bölgesi içerisinde bulunmak zorundadır.
- Gevrek hasar gören elemanlar var ise, bu elemanların güçlendirilmesi gerekmektedir.

Kontrollü hasar (KH) performans düzeyi

Binanın taşıyıcı sistem elemanlarının can güvenliğini sağlayacak şekilde çok ağır olmayan hasar görmesi veya meydana gelen hasarın onarılabilir olması durumunu ifade eder. TBDY-2018'e göre binanın performans seviyesinin kontrollü hasar olması için aşağıdaki koşulları sağlaması gerekmektedir.

- Binanın herhangi bir katında, her iki deprem doğrultusu için yapılmış olan performans analizi sonucu, kirişlerin için en fazla %35'lik kısmı ileri hasar bölgesine geçebilir. İkincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler bu yüzdelik hesabında işleme dâhil edilmez.
- İleri hasar bölgesinde bulunun düşey taşıyıcı elemanların, her kat için düşey taşıyıcı elemanlar tarafından karşılanan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'den daha az olmalıdır. En son kat için ise ileri hasar bölgesine geçen düşey taşıyıcı elemanların kesme kuvveti, yine son katta bulunan düşey taşıyıcı elemanların toplam kesme kuvvetine oranı en fazla %40 olmalıdır.
- Diğer kalan tüm taşıyıcı elemanlar sınırlı hasar bölgesi veya belirgin hasar bölgesindedir. Ancak, binanın herhangi bir katında alt ve üst kesitlerinin her ikisi birden belirgin hasar bölgesini aşan düşey taşıyıcı elemanların karşıladığı kesme kuvvetinin, aynı kattaki tüm düşey taşıyıcı elemanların karşıladığı kesme kuvvetine oranı %30'un altında olması gerekir.

Göçmenin önlenmesi (GÖ) performans düzeyi

Binanın taşıyıcı sistem elemanlarının ileri düzey hasar gördüğü göçme öncesi durumu ifade etmektedir. TBDY-2018'e göre binanın performans seviyesinin göçmenin önlenmesi olması için aşağıdaki koşulları sağlaması gerekmektedir.

- Binanın herhangi bir katında, her iki deprem doğrultusu için yapılmış olan performans analizi sonucu, kirişlerin için en fazla %20'lik kısmı göçme bölgesine geçebilir. İkincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler bu yüzdelik hesabında işleme dâhil edilmez.
- Diğer tüm taşıyıcı elemanlar sınırlı hasar bölgesi, belirgin hasar bölgesi veya ileri hasar bölgesindedir. Ancak, Binanın herhangi bir katında alt ve üst kesitlerinin her ikisi birden belirgin hasar bölgesini aşan düşey taşıyıcı elemanların karşıladığı kesme kuvvetinin, aynı

kattaki tüm düşey taşıyıcı elemanların karşıladığı kesme kuvvetine oranı %30'un altında olması gerekir.

- Göçme öncesi performans düzeyindeki bir binanın kullanılması can güvenliği açısından sakıncalıdır.

Göçme durumu

Göçmenin önlenmesi performans düzeyini sağlayamayan binalar göçme durumundadır. Göçme durumundaki bir binanın kullanılması can güvenliği açısından sakıncalıdır.

Bina Performans Hedefleri

TBDY-2018'de yeni yapılacak binaların sağlamları gereken performans hedefleri deprem tasarım sınıflarına göre Tablo 2.1'de verilmiştir. Ayrıca bu tabloda binanın performans hedefinin belirlenmesinde uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları da belirtilmiştir.

Tablo 2.1. Deprem tasarım sınıflarına göre yeni yapılacak binalar için performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları (TBDY, 2018)

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

Doğrusal Olmayan Hesap Yönteminin Seçilmesi

Bu çalışmada, doğrusal olmayan hesap yönteminde tanımı TBDY-2018 5.6.2.1 ile “Mod Birleştirme Yöntemi” nin tek modlu uygulamasının doğrusal olmayan artımsal karşılığı olarak verilen “Tek Modlu İtme Yöntemi” kullanılmıştır.

TBDY-2018 5.5.2.1 uyarınca “Tek Modlu İtme Yöntemi”, TBDY-2018 Tablo 3.3 ile verilen “Bina Yükseklik Sınıfı” $BYS \geq 5$ olan ve TBDY-2018 5.6.2.2 ile verilen koşulları sağlayan binalar için kullanılabilir. Daha önceki bölümlerde verildiği üzere;

$$BYS = 5' \text{ dir.}$$

$$BYS \geq 5 \checkmark$$

TBDY-2018 5.6.2.2 uyarınca “Tek Modlu İtme Yöntemi” nin uygulanabilmesi için herhangi bir katta ek dışmerkezlik gözönüne alınmaksızın doğrusal elastik davranış esas alınarak Bölüm 3, Tablo 3.6’ya göre hesaplanan burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} < 1.4$ koşulu ile gözönüne alınan deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hâkim) titreşim moduna ait taban kesme kuvveti etkin kütlelerinin toplam bina kütlelerine oranının en az 0.70 olması zorunludur.

Sadece iki boyutlu çerçeve de tek doğrultu da çalışıldığı için $\Delta_{maks} = \Delta_{Ort}$ olduğundan $\eta_{bi} = 1$ ’dir. Buna göre tüm modeller için;

$$\eta_{bi} = 1 < 1.40 \checkmark$$

Binanın deprem tasarım sınıfı DTS=1 olarak verilmiştir. Tablo 2.1 İncelendiğinde deprem tasarım sınıfı 1 olan yeni yapılacak bir binanın hedef performans seviyesi DD-2 deprem düzeyi için “Kontrollü Hasar (KH)”dır.

2.2.4. Literatür Taraması

Shanmugam vd, (2001), çelik, betonarme ve kompozit olarak teşkil edilen kolonların davranışı üzerindeki ikincil gerilmeleri incelemiştir ve bu alanda yapılmış literatürü taramıştır. Son yirmi yılda yaygın olarak kompozit elemanlı taşıyıcı sistemlerin yaygınlaştığı ve elverişli bir tasarım elemanı olduğu sonucuna varılmıştır.

Ellobody ve Young (2011), eksenel yük altında çelik gömme kompozit kolonlar üzerinde elastik olmayan davranış incelemiştir. Kolonların yapısal tepkileri ve bileşik kolon dayanımları belirlenmiştir.

Feng vd. (2015), polimer takviyeli beton ile kutu dolgulu kompozit kolonun eksenel yük altında mekanik davranışı incelemiştir.

Zhou vd. (2015), kutu şeklinde teşkil edilmiş çelik gömme kompozit kolonun eksenel yük altındaki davranışı incelemiştir.

Zhou vd, (2015), beton dolgulu kompozit kolonu eksenel yük altında davranışını, taşıma kapasitesini ve beton çekirdeğinin kolon davranışı üzerindeki etkisini incelemiştir.

Yu vd, (2016), çelik malzemeden teşkil edilmiş kolon ile beton dolgulu kompozit kolon ve çelik gömme kompozit kolonları deneysel olarak basınç altındaki davranışı incelemiştir.

Sevim ve Altunışık (2016), ANSYS sonlu eleman yazılımında farklı kompozit kolon elemanları üç boyutlu olarak tasarlanıp modal davranışları analitik olarak incelenmiştir. Sonuç olarak, her iki doğrultuda modların ve frekanslar benzerlik göstermekte ve genelde yaygın kullanılan kolonlara göre daha rijit davranış sergilediği görülmüştür.

Xu vd, (2016), altıgen şeklinde teşkil edilmiş beton dolgulu kompozit kolonun deneysel çalışma ile sismik performansını incelemişlerdir. On iki adet numunelere sabit eksenel yükleme ve döngüsel yanal yükleme uygulanmıştır. Deneylerin sonucunda, kolonların yüksek mukavemet sergilediği ve iyi süneklik, yüksek enerji yayma kapasitesi olduğu görülmüştür.

Ji vd, (2018), petek tipi çelik gömme kompozit kolonları doğrusal olmayan burkulma analizi ile incelemişlerdir.

Olabi vd, (2018), Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018, Çelik Yapıların Tasarım ve Hesap ve Yapım Esasları 2016'ya göre tasarlanan kompozit perde duvar ile betonarme perde duvar deneysel olarak tersinir yükler altındaki etkisi altında davranışı OpenSees sonlu eleman programında incelenmiştir. Sonuç olarak, kompozit perdenin betonarme perdeye göre daha aderans sorunu ve daha az dayanım kaybı yaşandığı görülmüştür.

Ertaş (2018), Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018, Çelik Yapıların Tasarım ve Hesap ve Yapım Esasları 2016'ya göre süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çelik çerçeve sistemlerden oluşan ve düşey elemanları çelik gömme veya beton dolgulu kompozit kolonlu olan yapıya Modal Analiz uygulanmıştır. Sistemin oldukça esnek davranış sergilediğini ve elemanların gerekli dayanımların kapasitelerin oldukça altında olduğu sonucuna varılmıştır.

Şimşek (2018), süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çerçeve olarak tasarlanan her iki doğrultusunda beton dolgulu kompozit kolonlar teşkil edilen konut türü yapı tasarlanıp, farklı deprem yer hareketleriyle zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz Yöntemi ile incelenmiştir. Sonuç olarak, kirişler belirgin hasar bölgesinde olup, kolonlarda hasar görülmemiştir. Bu yüzden bina kontrollü hasar performans düzeyini sağlamaktadır.

Hadim (2018), Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar 2018 yönetmeliğindeki çelik yapı tasarım esasları göz önünde bulundurularak boyutlandırılan beton dolgulu kompozit kolonlardan oluşan dış merkezi çaprazlı yatay yük taşıyıcı sistemleri incelemek için zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz uygulanmıştır. Sonuç olarak, tüm taşıyıcı elemanlar sınırlandırılan dayanımları aşmadığı görülmüştür.

Lacki (2018), elik kolon ve elik gömme kompozit kolonu sıkıştırma ve tek eksenli bükme ile deneysel olarak davranışlarını incelemişlerdir. Bileşik etkiler, gerilme ve yerdeğiştirmeler karşılaştırılmıştır.

Uzun (2018), Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 ve Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007'ye göre moment aktaran ereve sistemde üç farklı boyutta beton dolgulu elik boru profilden kompozit kolonlarla oluşturulan bir ofis binası olarak tasarlamıştır ve her iki yönetmelik esasınca Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi kullanılmıştır. Doğrusal olmayan hesap yöntemleri; dinamik itme analizi yöntemi olan zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi ile statik itme analizi (pushover) Yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmada her iki yönetmelik uyarınca yapılan analiz sonuçları yakın çıkmıştır. Hedeflenen performans düzeyi olan kontrollü hasar performans düzeyine ulaşmıştır.

merbeyoğlu (2019), Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 ve elik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları 2016'ya göre yapısal tasarımı oluşturulan kompozit kolonlu iki doğrultuda moment aktaran çerçevelerden oluşan bir yapının zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizle sismik davranışı incelenmiştir. Sonuç olarak, yapı performans hedefi olan Kontrollü Hasar hedefi sağlanmıştır.

Aıkelli (2019), taşıyıcı sisteminde elik gömme kompozit kolon, elik kiriş ve bağ kirişi, betonarme döşeme ve boşluklu perde sistemi kullanılan, ofis binası olarak 15 katlı bir yapı tasarlanmıştır. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz Yöntemi uygulayarak yapının performansı belirlenmiştir. Sonuç olarak, taşıyıcı sistem Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'de öngörülen kontrollü hasar performans hedefini sağlamış ve kolonların tümü sınırlı hasar bölgesinde kaldığı grlmştir.

Işık (2019), biyocoğrafya optimizasyon tekniğinin çok katlı kompozit ereve ile oluşturulan yapılara uygulayarak elik yapı sistemi ile davranışını oluşturulan dört modelde kıyaslamıştır. Sonuç olarak, aynı tasarım formuna sahip olan kompozit kolonlu yapının, elik yapıya göre daha avantajlı olduğuna ulaşılmıştır.

Güler (2019), farklı yükseklik ve farklı zemin sınıfına sahip elik gömme kutu profil kompozit kolonlu taşıyıcı sistemleri Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018, elik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları 2016 ve Türk Standartları 500'e göre yapı tasarımı yapıp mimari, mühendislik ve yapı maliyeti bakımından karşılaştırmıştır. Bu çalışmanın sonucunda, taşıyıcı sistemler arasında alan kazanımı açısından en avantajlı olan elik kolonlu taşıyıcı sistem olduğuna ulaşmıştır. Yine kompozit kolonlu taşıyıcı sisteminde betonarme tasarlanan yapıdan alan kazanımı bakımından daha avantajlı olduğu grlmştir.

Yönev (2019), her iki doğrultuda merkezi çaprazlı çerçevelerden oluşan süneklik düzeyi yüksek üç farklı sistemde birleşim tiplerini doğrusal olmayan analiz yöntemlerinden olan itme analizi uygulamıştır. Sonucunda, modellerin analizleri sonucu verilerin birbirine yakın ve benzer davranış sergilediği yalnızca mafsallı olarak tasarlanan kayma levhali modelde belirgin bir şekilde deprem davranışına bir etkisi olmadığı görülmüştür.

Uslu vd, (2020), birleşik etkiler altındaki davranışı incelemek adına 9 katlı bir yapılarda çelik gömme kompozit kolonlar ile çelik kolonları ANSYS sonlu elemanlar programında statik analiz uygulayarak karşılaştırmıştır. Sonucunda, kompozit kolonların çelik kolonlara göre gerilmeleri karşıladığı görüldüğü için çelik kolona göre daha avantajlı olduğuna varılmıştır.

Uslu vd. (2021), mevcut bir binaya Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e uygun bir şekilde çelik gömme kompozit kolonların deprem performansını zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan hesap yöntemi ile incelenip, yapı güçlendirilmiştir.

3. MATERİYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, süneklik düzeyi yüksek ters V çaprazlı sistemler, merkezi yatay bağ kirişli dışmerkez ve düşey bağ kirişli dışmerkez çaprazlı olmak üzere ayrı ayrı üç farklı çapraz sistem olarak tasarlanmıştır. Çalışmaya esas alınan çerçeve sistemlerde dört farklı kompozit kolon kesiti kullanılmıştır.

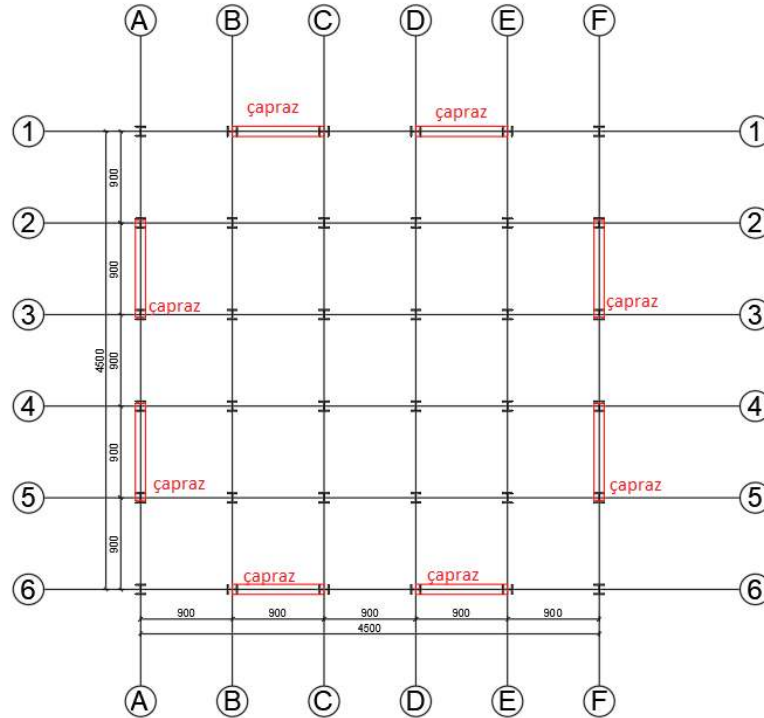
3.1. Bina Taşıyıcı Sistemlerin Tanıtılması

Çalışmaya esas alınan çerçeve sistemler orta katlı yapıları temsilen 7 katlı bir konut türü binaların deprem yüklerini karşılamak üzere tasarlanmıştır. Bina kolonları ∓ 0.00 kotunda, temele sabit olarak mesnetlenmiştir. Kat yükseklikleri ise zemin kat 4 metre, diğer tüm katlar 3 metre olup bina toplam yüksekliği 25 metre olmaktadır. Açıklıklar 9'ar metre olup toplamda binanın X ve Y eksenindeki uzunluğu 45 metredir.

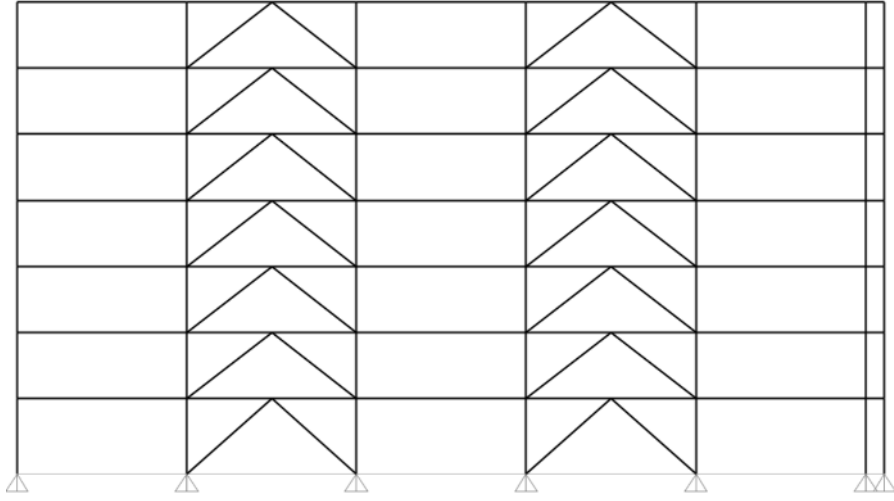
Çaprazlı çerçeve sistem üç farklı sistem olarak tasarlanmıştır. Bunlar;
Merkezi ters V çaprazlı çerçeve,
Dışmerkez ters V çaprazlı çerçeve,
Dışmerkez ters Y çaprazlı çerçevedir.

Plan ve kesit görüşleri Şekil 3.1'de görünmektedir.

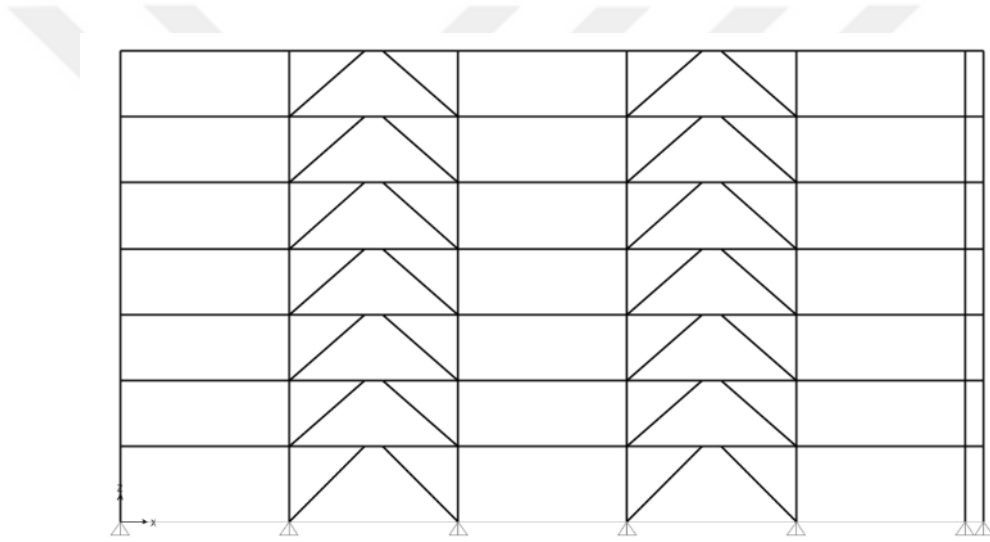
İki boyutlu genel sistem görünüşleri Şekil 3.2, 3.3 ve 3.4 ile verilmiştir.



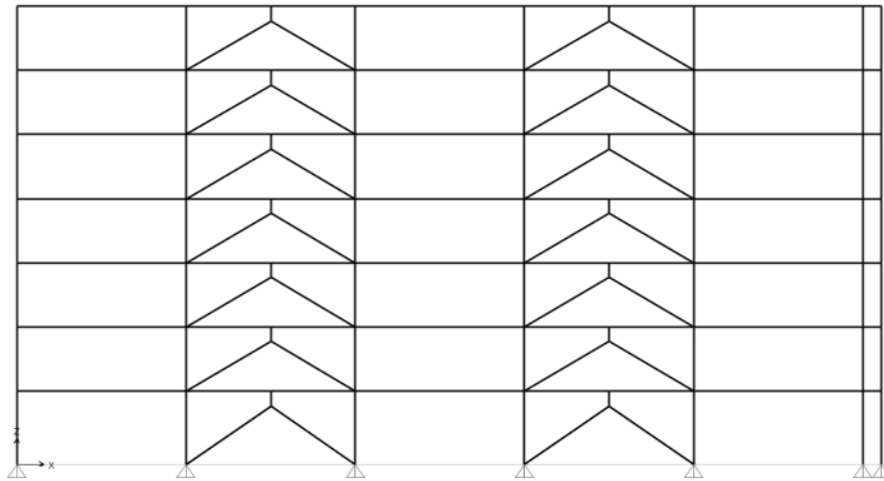
Şekil 3.1. Modelin plan görünüşü



Şekil 3.2. Merkezi çaprazlı çerçeve sistem genel görünümü



Şekil 3.3. Dış merkezi (yatay bağ kirişli) çaprazlı çerçeve sistem genel görünümü



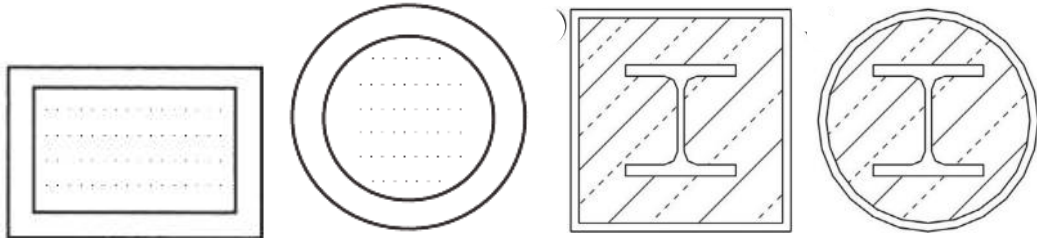
Şekil 3.4. Dış merkezi (düşey bağ kirişli) çaprazlı çerçeve sistem genel görünümü

Çapraz sistemler X ve Y yönünde teşkil edilmiş olup hesaplar iki boyutlu çerçeve sistem üzerinden yapılmıştır. Bu sebeple alınan sabit ve hareketli yükler çizgisel yüklere çevrilip her bir kat kirişi üzerine verilmiştir. Ayrıca düşey yükler tekil yüklere dönüştürülüp her bir kat kolonuna eksenel kuvvet olarak yüklenmiştir. Ana kirişler, kolonlara, çaprazlar, ana kirişlere her iki yönde mafsallı olarak tanımlanmıştır. Bağ kiriş boyu yatay bağ kirişli dışmerkez çaprazlı çerçeveler için $1.6M_p/V_p$ den küçük olacak şekilde 1 m, düşey bağ kirişli dışmerkez çaprazlı çerçeveler için $0.8 M_p/V_p$ den küçük olacak şekilde 0.8 m olarak seçilmiştir. Farklı çapraz sistemleri ve farklı kompozit kolon kesitleri kullanıldığı toplam 12 adet çerçevenin doğrusal elastik yapısal analizleri SAP2000 V21 programı ile gerçekleştirilmiştir. Sadece düşey yük taşıyan sistem elemanı olan kirişler için HEB kesitleri, sadece düşey yük taşıyan kolonlar için ise kompozit olan kesitlerin içine gömme kesit olarak IPE kesitleri kullanılmıştır. Yatay yük taşıyıcı çaprazlı çerçeve elemanları olan kirişler için HEB kesitleri, çapraz elemanlar için HEB profiller, kolonlar için kompozit olan kesitlerin içine gömme kesit olarak IPE kesitleri kullanılmıştır. Bağ kiriş için HEB kesitleri kullanılmıştır. ÇYTHYE-2018 ve TBDY-2018 esaslarına göre çapraz eleman kesitlerinde S275, kiriş kesitlerinde S355, bağ kiriş kesitlerinde S355 ve kolon kesitlerinde ise S355 sınıfı çelik malzemeler kullanılmıştır. Ayrıca kolonlarda C40 sınıfı beton malzeme kullanılmıştır.

Modeller, TBDY-2018 4.4.4'e göre tanımlanan iki yük birleşimin göz önüne alınması ile boyutlandırılmıştır. Kompozit kolonlar ise dört farklı kesit olarak seçilmiştir. Bunlar;

- Kutu kesitli beton dolgulu kompozit kolon,
- Kutu kesitli çelik profil gömme kompozit kolon,
- Boru kesitli beton dolgulu kompozit kolon,
- Boru kesitli çelik profil gömme kompozit kolondur.

Kompozit kolonun kesit görünümü Şekil 3.5'te görünmektedir.



Şekil 3.5. Kompozit kolon kesit görünümü (Lacki, 2018; Wang, 1999)

S355 yapı çeliğinin akma gerilmesi;

$$F_y = 355 \text{ N/mm}^2, E = 200000 \text{ N/mm}^2 \text{ dir.}$$

S275 yapı çeliğinin akma gerilmesi;

$$F_y = 275 \text{ N/mm}^2, E = 200000 \text{ N/mm}^2 \text{ dir.}$$

Çelik profil içerisine konulacak betona ait dayanım sınıfı C40/50'dir.

Donatı çeliği olarak kullanılacak malzeme ise S420'dir.

(Modellerdeki kolonların beton alanı yakın tutulmaya çalışılmıştır.)

Modellerde kullanılan çelik ve kompozit eleman kesitleri Tablo 3.1-3.4 ile verilmiştir.

Tablo 3.1. Tüm kompozit kolonların kesitleri

Kesit adı	Kolon Tipi	bxh	Donatı bilgileri		
			Alt-üst donatı	Sağ-sol donatı	Enine donatı
CC80X40	KD	80X40	-	-	-
CC80X40-IPE450	KG	80X40	4 ϕ 20-4 ϕ 20	7 ϕ 20-7 ϕ 20	8 ϕ /9
CC64X3.2	BD	64X64	-	-	-
CC64X3.2-IPE450	BG	64X64	8 ϕ 20		8 ϕ /9

Tablo 3.2. Merkezi çaprazlı çerçevelerin kesitleri

Kat	Çaprazsız kiriş	Çaprazlı kiriş	Çapraz
1	HE320B	HE360B	HE280B
2	HE320B	HE360B	HE280B
3	HE320B	HE340B	HE260B
4	HE320B	HE340B	HE260B
5	HE320B	HE320B	HE240B
6	HE320B	HE320B	HE240B
7	HE320B	HE320B	HE240B

Tablo 3.3. Düşey bağ kirişli dış merkezi çaprazlı çerçevelerin kesitleri

Kat	Çaprazsız kiriş	Çaprazlı kiriş	Çapraz	Bağ kiriş
1	HE320B	HE400B	HE300B	HE400B
2	HE320B	HE360B	HE280B	HE360B
3	HE320B	HE360B	HE280B	HE360B
4	HE320B	HE340B	HE280B	HE340B
5	HE320B	HE340B	HE240B	HE340B
6	HE320B	HE320B	HE240B	HE320B
7	HE320B	HE320B	HE240B	HE320B

Tablo 3.4. Yatay bağ kirişli dış merkezi çaprazlı çerçevelerin kesitleri

Kat	Çaprazsız kiriş	Çaprazlı kiriş	Çapraz	Bağ kiriş
1	HE320B	HE360B	HE300B	HE360B
2	HE320B	HE360B	HE280B	HE360B
3	HE320B	HE340B	HE280B	HE340B
4	HE320B	HE340B	HE280B	HE340B
5	HE320B	HE320B	HE240B	HE320B
6	HE320B	HE320B	HE240B	HE320B
7	HE320B	HE320B	HE240B	HE320B

Çalışmaya esas alınan çaprazlı çerçeve modellerinde farklı çapraz sistemleri yanında çapraz elemanlarda farklı kesit tipleri kullanılmıştır. Buna göre çalışmanın daha kolay anlaşılması ve değerlendirebilmesi için modeller Tablo 3.5’te kodlanmıştır.

Tablo 3.5. Çalışmaya esas alınan modeller

Model	Açıklama
MÇÇ-KD	Merkezi ters V çaprazlı, kutu kesitli beton dolgulu kompozit kolonlu olan model
MÇÇ-KG	Merkezi ters V çaprazlı, kutu kesitli çelik gömme kompozit kolonlu olan model
MÇÇ-BD	Merkezi ters V çaprazlı, boru kesitli beton dolgulu kompozit kolonlu olan model
MÇÇ-BG	Merkezi ters V çaprazlı, boru kesitli çelik gömme kompozit kolonlu olan model
DÇÇ-KD	Dışmerkez ters V çaprazlı (yatay bağ kirişli), kutu kesitli beton dolgulu kompozit kolonlu olan model
DÇÇ-KG	Dışmerkez ters V çaprazlı (yatay bağ kirişli), kutu kesitli çelik gömme kompozit kolonlu olan model
DÇÇ-BD	Dışmerkez ters V çaprazlı (yatay bağ kirişli), boru kesitli beton dolgulu kompozit kolonlu olan model
DÇÇ-BG	Dışmerkez ters V çaprazlı (düşey bağ kirişli), boru kesitli çelik gömme kompozit kolonlu olan model
YDÇÇ-KD	Dışmerkez ters Y çaprazlı (düşey bağ kirişli), kutu kesitli beton dolgulu kompozit kolonlu olan model
YDÇÇ-KG	Dışmerkez ters Y çaprazlı (düşey bağ kirişli), kutu kesitli çelik gömme kompozit kolonlu olan model
YDÇÇ-BD	Dışmerkez ters Y çaprazlı (düşey bağ kirişli), boru kesitli beton dolgulu kompozit kolonlu olan model
YDÇÇ-BG	Dışmerkez ters Y çaprazlı (düşey bağ kirişli), boru kesitli çelik gömme kompozit kolonlu olan model

3.1.1. Yükler

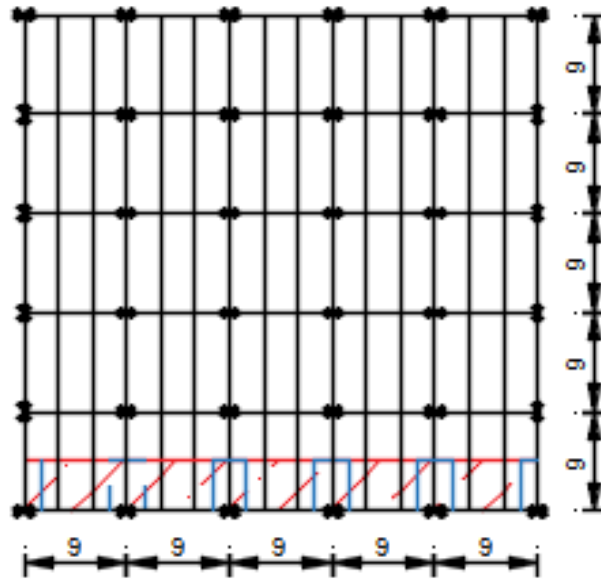
Düşey Yükler

Yapıya gelen düşey yükler Tablo 3.6’da verilmiştir.

Tablo 3.6. Binaya etkiyen düşey yükler

Yüklemeler	Normal Kat Döşemesi (kN/m ²)	Çatı Döşemesi (kN/m ²)
Sabit Yük, G	4.9	4.3
Hareketli Yük, Q	2	1
Dış Duvar Yükü, G_d	3	-

Düşey yükler yk alanları dikkate alınarak çizgisel ve yüklere çevrilmiştir. Çizgisel yükler kirişlere ve tekil yükler kolonlara etkitilmiştir. Hesaplanan yük değerleri aşağıda verilmiştir (şekil 3.6.).



şekil 3.6. Çalışmaya esas alınan çerçeve sistemler yk alanları

Çizgisel yükler;

Çatı döşemesi için sabit çizgisel yük = 22.35 kN/m

Çatı döşemesi için hareketli çizgisel yk= 10.35 kN/m

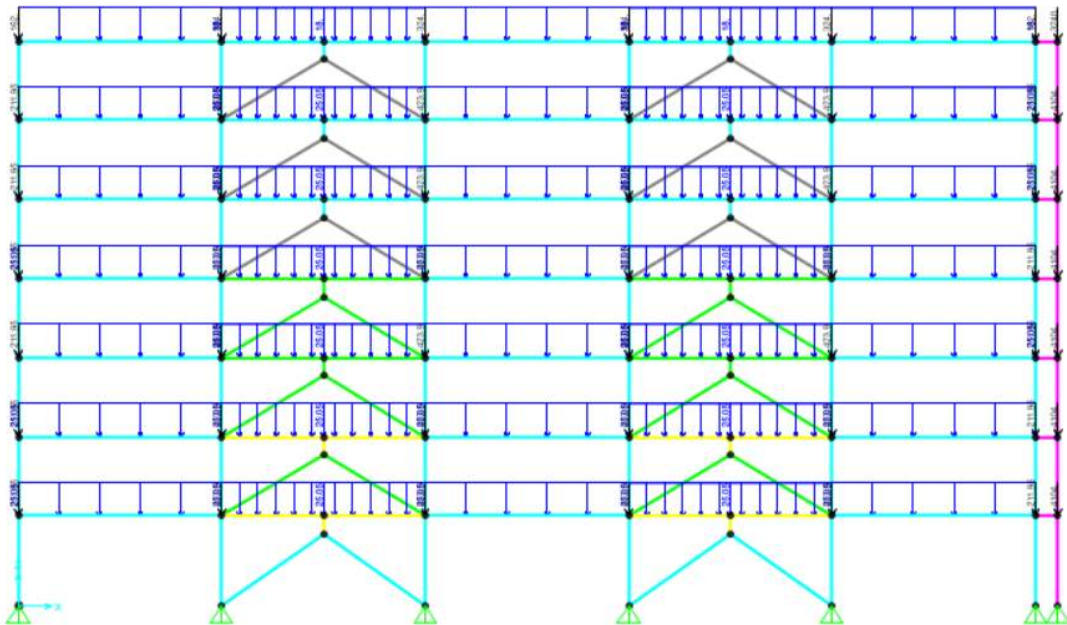
Normal kat döşemesi için sabit çizgisel yük = 25.05 kN/m

Normal kat döşemesi için hareketli çizgisel yük = 9 kN/m

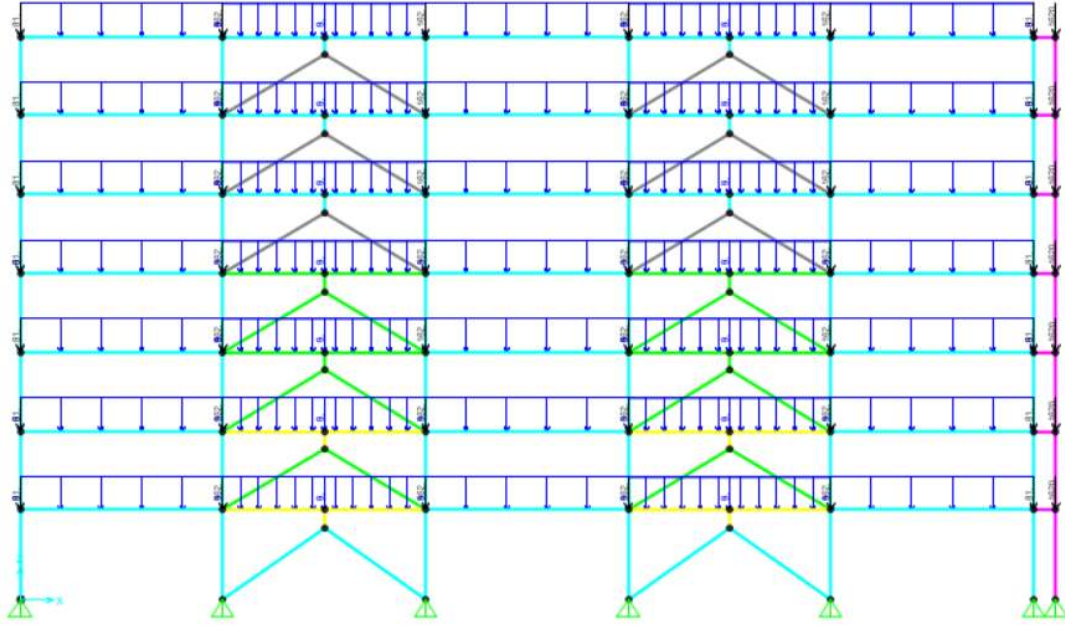
Çatı döşemesi sabit tekil yük için =58.05 kN
 Çatı döşemesi hareketli tekil yük için =13.5kN
 Normal döşeme sabit tekil yük için =66.15 kN
 Normal döşeme hareketli tekil yük için =27 N

Çatı döşemesi sabit tekil yük için =29.03 kN
Çatı döşemesi hareketli tekil yük için =6.75kN
Normal döşeme sabit tekil yük için =33.08 kN
Normal döşeme hareketli tekil yük için =13.5 KN

Şekil 3.7 ve Şekil 3.8 ile modellere etkiyen çizgisel yükler ve tekil yükler görülmektedir.



Şekil 3.7. Sabit çizgisel yükler ve tekil yüklerin model üzerinde etkililmiş hali



Şekil 3.8. Hareketli çizgisel yükler ve tekil yüklerin model üzerinde etkililmiş hali

3.2. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

Deprem yüklerinin belirlenmesinde TBDY-2018 kullanılmıştır.

3.2.1. Deprem yer hareketi düzeyinin belirlenmesi

Tasarıma esas deprem hareketi düzeyi, TBDY-2018 2.2.2 uyarınca 50 yılda aşılma olasılığının %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu “DD-2” standart tasarım deprem yer hareketidir.

3.2.2. Yerel zemin sınıfının belirlenmesi

Modeli kurulan sistem enlem ve boylam değerleri sırasıyla 37.72549°-30.30178 olan Burdur Mehmet Akif Ersoy Mahallesi içinde konumlandığı düşünülmüştür. Baz alınan SPT/N değerlerinin $15 < N < 50$ olması sebebi ile TBDY-2018 Tablo 16.1 uyarınca Yerel Zemin Sınıfı “ZD” (Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları) olarak belirlenmiştir.

3.2.3. Bina Deprem Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesi

Tasarım spektrumlarının oluşturulması

TBDY-2018 2.1.2’de Deprem Tehlike Haritaları tanımlanmıştır. Bu haritalara <https://tdth.afad.gov.tr> adresine gidilerek ulaşılabilir. Burada açılan sayfadan “Raporlama”

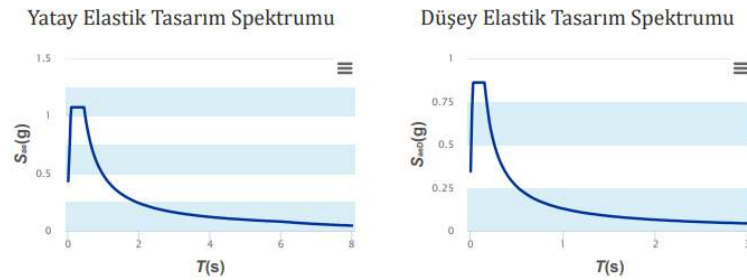
ardından açılan menüden “Rapor Başlığı”, “Deprem Yer Hareketi Düzeyi” için “DD2”, “Yerel Zemin Sınıfı” için “ZD”, “Enlem” ve “Boylam” değerleri için menüde bulunan “Nokta at” tuşu ile Burdur Mehmet Akif Ersoy mahallesi seçilerek “Enlem” ve “Boylam” koordinatları otomatik olarak doldurulmuş oldu ve “Değerleri Hesapla” tuşuna basıldı. Şekil 3.9 ile deprem yer hareket düzeyine bağlı olarak modellerin veri girdileri gösterilmektedir.

Şekil 3.9. Türkiye deprem tehlike haritaları interaktif web uygulaması

İnteraktif Web Uygulamasına gerekli veriler girildikten sonra elde edilen çıktılar Şekil 3.10 ve Şekil 3.11’de verilmiştir.

$$\begin{aligned}
 S_S &= 0.960 & S_1 &= 0.222 & S_{DS} &= 1.071 & S_{D1} &= 0.479 \\
 PGA &= 0.408 & PGV &= 22.456
 \end{aligned}$$

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

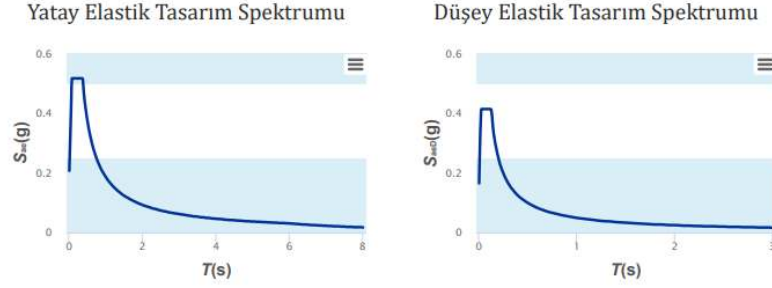


Şekil 3.10. Sismik Tehlike Haritası Özet Raporu DD-2

$$S_s = 0.338 \quad S_1 = 0.077 \quad S_{DS} = 0.517 \quad S_{D1} = 0.185$$

$$PGA = 0.149 \quad PGV = 7.460$$

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



Şekil 3.11. Sismik Tehlike Haritası Özet Raporu DD-3

Enlem ve boylam değerleri sırasıyla 37.72549°-30.30178 olan bu değerlerine tekabül eden harita ve tasarım spektral ivme katsayıları, en büyük yer ivmeleri ve hızları ile yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyotları DD-2 ve DD-3 deprem yer hareketlerine göre Tablo 3.7’de verilmiştir.

Tablo 3.7. Spektral ivme katsayıları

	S_s	S_1	S_{DS}	S_{D1}
DD-2	0.960	0.222	1.071	0.479
DD-3	0.338	0.077	0.517	0.185

Bina kullanım sınıfı ve bina önem katsayısının belirlenmesi

TBDY-2018 Tablo 3.1’da belirtilen “Bina Kullanım Amacı”na göre model için; BKS (Bina Kullanım Sınıfı): 3, I (Bina Önem Katsayısı): 1 olarak belirlendi (Şekil 3.12).

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

Şekil 3.12. Bina Kullanım Sınıfları ve bina önem katsayıları. (TBDY, 2018)

Deprem tasarım sınıfının belirlenmesi

TBDY-2018 Tablo 3.2 uyarınca; $S_{DS} : 1.071 \geq 0.75$, BKS: 3 için DTS (Deprem Tasarım Sınıfı) : 1 olarak belirlendi (Şekil 3.13).

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

Şekil 3.13. Deprem tasarım sınıfları (DTS) (TBDY, 2018)

Bina yükseklik sınıfının belirlenmesi

TBDY-2018 3.3 uyarınca; tanımlanan modele ait bina yüksekliği, $H_N = 25$ m'dir. TBDY-2018 Tablo 3.3' e göre modele ait DTS: 1 ve $17.5 \text{ m} < H_N \leq 28 \text{ m}$ olduğundan, BYS (Bina Yükseklik Sınıfı): 5'dir (Şekil 3.14).

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	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10.5$	

Şekil 3.14. Bina yükseklik sınıfları ve deprem tasarım sınıflarına göre tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları (TBDY, 2018)

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı, R ve dayanım fazlalığı katsayısının, D belirlenmesi

Bu tez kapsamındaki yapı kompozit kolon ve çelik kirişlerden oluşmuştur. Bu tür yapılarda TBDY-2018 4.3.2.2 uyarınca çelik taşıyıcı sistemler için verilen R ve D katsayıları kullanılacaktır. TBDY-2018 4.3.4.2'ye göre birbirine dik doğrultudaki taşıyıcı sistemlerde farklı R ve D katsayıları kullanılabilir. TBDY-2018 Tablo 4.1 uyarınca “Bina Taşıyıcı Sistemi”, C12 (“Deprem etkilerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek dışmerkez veya burkulması önlenmiş merkezi çaprazlı çelik çerçeveler tarafından karşılandığı binalar”), R (Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı): 8, D (Dayanım Fazlalığı Katsayısı): 2.5 ve izin verilen $BYS = 5 \geq 2$ olarak belirlenmiştir. TBDY-2018 Tablo 4.1 uyarınca “Bina Taşıyıcı Sistemi”, C13 (“Deprem etkilerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçeveler tarafından karşılandığı binalar”), R (Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı): 5, D (Dayanım Fazlalığı Katsayısı): 2 ve izin verilen $BYS = 5 \geq 4$ olarak belirlenmiştir (Şekil 3.15).

Bina Taşıyıcı Sistemi	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R	Dayanım Fazlalığı Katsayısı D	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları BYS
C. ÇELİK BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ			
C1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
C11. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> çelik çerçevelerle karşılandığı binalar	8	3	$BYS \geq 3$
C12. Deprem etkilerinin tamamının <i>süneklik düzeyi yüksek</i> dışmerkez veya burkulması önlenmiş merkezi çaprazlı çelik çerçeveler tarafından karşılandığı binalar	8	2.5	$BYS \geq 2$
C13. Deprem etkilerinin tamamının <i>süneklik düzeyi yüksek</i> merkezi çaprazlı çelik çerçeveler tarafından karşılandığı binalar	5	2	$BYS \geq 4$
C14. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> çelik çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> dışmerkez veya burkulması önlenmiş merkezi çaprazlı çelik çerçeveler veya <i>süneklik düzeyi yüksek</i> bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.4.5)	8	3	$BYS \geq 2$
C15. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> çelik çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> merkezi çaprazlı çelik çerçeveler veya <i>süneklik düzeyi yüksek</i> boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.4.5)	6	2.5	$BYS \geq 2$
C16. Deprem etkilerinin tamamının çatı düzeyindeki bağlantıları mafsallı olan ve yüksekliği 12 m'yi geçmeyen <i>süneklik düzeyi yüksek</i> çelik kolonlar tarafından karşılandığı tek katlı binalar	4	2	–

Şekil 3.15. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı, dayanım fazlalığı katsayısı, izin verilen bina yükseklik sınıfları belirlenmesi (TBDY, 2018)

Deprem etkisi altında bina performans hedefi ve uygulanacak tasarım yaklaşımının belirlenmesi

TBDY-2018 Tablo 3.4.a uyarınca deprem yer hareketi düzeyi, DD2 ve DTS: 1 için tanımı TBDY-2018 4.3'te verilen "Normal Performans Hedefi", "KH" (Kontrollü Hasar Performans Düzeyi) olarak belirlenirken, tanımı TBDY-2018 4.1.2'de verilen "Tasarım Yaklaşımı" "DGT" (Dayanıma Göre Tasarım) olarak belirlenmiştir.

Doğrusal hesap yönteminin seçilmesi

Dayanıma Göre Tasarım (DGT) kapsamında kullanılacak TBDY-2018 4.6.1'da verilen ilki "Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi", diğeri "Modal Hesap Yöntemi" olmak üzere iki yöntem vardır. Tezde kullanılan model için $BYS = 5$ ve $DTS = 1$ olmak üzere TBDY-2018 Tablo 4.4'te verilen koşullar sağlanmış olduğundan deprem kuvvetlerinin hesabında "Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi" kullanılmıştır.

3.2.4. TBDY-2018 Kullanılarak Eşdeğer Deprem Dükü Yöntemi ile doğrusal deprem hesabı

Deprem yüklerinin belirlenmesi

Model simetrik olduğundan, iki boyutlu çerçeveyi (X) yönünde seçilerek o yönde deprem hesabı yapılacaktır.

Binanın Hâkim Doğal Titreşim Periyodunun Belirlenmesi, $T_p^{(x)}$

Çalışma kapsamında incelenen binaların ön boyutlandırması için Denklem 3.1’de ile hesaplanan TpA ampirik periyot değerine göre deprem hesabı yapılmıştır. Bunun nedeni her model farklı olduğundan standart bir deprem yükü ile inceleme yapmak amaçlıdır. Toplam taban kesme kuvvetleri Tablo 17’de verilmiştir. Modelin periyodu TBDY-2018’e göre ampirik periyodun 1.4 katından küçük olmalıdır. Aksi takdirde 1.4 TpA değeri periyot olarak alınmalıdır.

$$TpA = C_t H_N^{3/4} \quad (3.1)$$

(Burada, C_t çaprazlı çelik çerçevelerden oluşan binalar için 0.08 değerine eşit bir katsayı ve H_N toplam yapı yüksekliğidir.)

$$TpA = 0.08 \times 25^{3/4} = 0.894 \text{ s}$$

$$1.4 TpA = 1.4 \times 0.894 = 1.252 \text{ s}$$

$$T_p^{(x)} = 1.4 TpA = 1.252 \text{ s (Tüm modellerde)}$$

Deprem Yükü Azaltma Katsayısının Bulunması, R_a

T_B (Spektrum Köşe Periyodu) (Denklem 3.2):

$$T_B = S_{D1}/S_{DS} \quad (3.2)$$

$$= 0.479/1.071 = 0.447 \text{ s}$$

T_A (Spektrum Köşe Periyodu) (Denklem 3.3):

$$T_A = 0.2 S_{D1}/S_{DS} \quad (3.3)$$

$$= 0.2 \times 0.479/1.071 = 0.089 \text{ s}$$

$0.447 \text{ (s)} < T_p^{(x)} = 1.252 \text{ (s)}$ olduğundan R_a , belirlenecektir (TBDY, 2018).

Dış merkezi çaprazlı çerçeveler için;

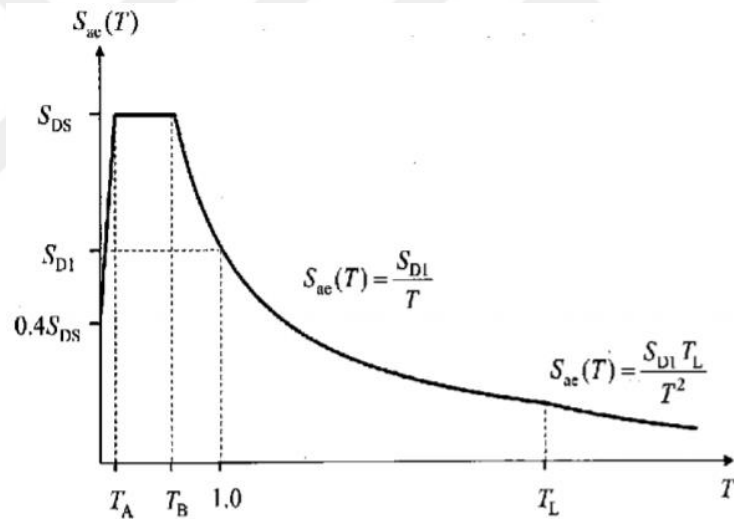
$$R_a(T) = \frac{R}{I} = \frac{8}{I} = 8$$

Merkezi çaprazlı çerçeveler için;

$$R_a(T) = \frac{R}{I} = \frac{5}{I} = 5$$

Yatay Elastik Tasarım Spektral İvmesinin Bulunması, $S_{ae}(T)$

TBDY-2018 2.3.4.1 uyarınca $S_{ae}(T)$, doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi cinsinden Denklem 3.5 ile belirlenecektir. Azaltılmış tasarım spektral ivmesi hesabı için yatay elastik tasarım spektral ivmesi ($S_{ae}(T)$) Şekil 3.16’da TBDY-2018 uyarınca verilmiştir.



Şekil 3.16. Yatay elastik tasarım spektral ivmeleri (TBDY, 2018)

$T_B = 0.447 \text{ s} \leq T_p^{(x)} = 1.25 \text{ s} \leq T_L = 6.00 \text{ s}$ olduğundan,

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} \quad (3.5)$$

$$\frac{0.479}{1.25} g = 3.76 \frac{m}{s^3}$$

Azaltılmış Tasarım Spektral İvmesinin Bulunması, $S_{aR}(T)$

$S_{aR}(T)$ Denklem 3.6 ile bulunur (TBDY, 2018)

$$S_{aR}(T) = \frac{S_{ae}(T)}{R_a(T)} \quad (3.6)$$

Dış merkezi çaprazlı çerçeveler için;

$$\frac{3.76}{8} = 0.47 \frac{m}{s^3}$$

Merkezi çaprazlı çerçeveler için;

$$\frac{3.76}{5} g = 0.752 \frac{m}{s^3}$$

(X) Doğrultusunda Taban Kesme Kuvvetinin Bulunması, $V_{tE}^{(X)}$

$V_{tE}^{(X)}$ Denklem 3.7 ile bulunmuştur (TBDY, 2018).

$$V_{tE}^{(X)} = m_t S_{aR} T p^{(X)} \geq 0.04 x m_t x I * SDS x g \quad (3.7)$$

Yukarıda verilen denklemde yer alan bina toplam kütlesi (m_t) Denklem 3.8 ile belirlenmiştir (TBDY, 2018).

$$m_t = \sum_{i=1}^N m_i \quad (3.8)$$

m_t Değeri Tablo 3.8 ile verilmiştir.

Tablo 3 8. Bina kat ağırlık ve kütleleri

Kat	$w_i(\text{kN})$	$m_i(\text{kNs}^2/\text{m})$
Çatı	4657.5	474.77
6	5838.75	595.18
5	5838.75	595.18
4	5838.75	595.18
3	5838.75	595.18
2	5838.75	595.18
1	5838.75	595.18
Σ	39690	4045.87

Dış merkezi çaprazlı çerçeveler için;

$$V_{tE}^{(X)} = 4045.87 * 0.47 \Rightarrow 1901.15 \text{ kN} \geq 0.04 \times 4045.87 \times 1 \times 1.071 \times 9.81 = 1700.3 \text{ kN}$$

olduğundan,

$$V_{tE}^{(X)} = 1901.15 \text{ kN}$$

Merkezi çaprazlı çerçeveler için;

$$V_{tE}^{(X)} = 4045.87 \times 0.752 \Rightarrow 3041.84 \text{ kN} \geq 0.04 \times 4045.87 \times 1 \times 1.071 \times 9.81 = 1700.3 \text{ kN}$$

olduğundan,

$$V_{tE}^{(X)} = 3041.84 \text{ kN}$$

Binanın N' İnci Katına Etkiyen, Ek Eşdeğer Deprem Yükünün Bulunması ($\Delta F_{NE}^{(X)}$)

$\Delta F_{NE}^{(X)}$ Denklem 3.9 ile bulunmuştur (TBDY, 2018).

$$\Delta F_{NE}^{(X)} = 0.0075 \times N \times V_{tE}^{(X)} \quad (3.9)$$

$$\Delta F_{NE}^{(X)} = 0.0075 \times 7 \times 3041.84 = 159.7 \text{ kN olarak bulunur.}$$

(X) Doğrultusundaki Deprem Yüklerinin Bulunması, ($F_{iE}^{(X)}$)

$F_{iE}^{(X)}$, Denklem 3.10 kullanılarak bulunur (TBDY, 2018).

$$F_{iE}^{(X)} = (V_{tE}^{(X)} - \Delta F_{NE}^{(X)}) \times \frac{m_i H_i}{\sum m_i H_i} \quad (3.10)$$

Katlara gelen eşdeğer deprem kesme kuvveti Denklem 3.11 ile bulunur.

$$V_{tE}^{(i)} = \Delta F_{NE}^{(X)} + \sum F_{iE}^{(X)} \quad (3.11)$$

Denklem 3.11 kullanılarak (X) doğrultusu için bulunan dış merkezi ve merkezi çaprazlı çerçeveler için deprem yükleri ve kesme kuvvetleri Tablo 3.9 ve 3.10 ile gösterilmiştir.

Tablo 3.9. DÇÇ ve YDÇÇ için deprem yükleri ve kesme kuvvetleri

Kat	$\frac{m_i H_i}{\sum m_i H_i}$	$F_{iE}^{(X)}$ (kN)	$V_{tE}^{(I)}$ (kN)
Çatı	0.2068	472.29	472.29
6	0.2229	401.58	873.86
5	0.1866	336.20	1210.07
4	0.1503	270.83	1480.90
3	0.1141	205.46	1686.35
2	0.0778	140.08	1826.44
1	0.0415	74.71	1901.15
Σ	1.0	1901.15	472.29

Tablo 3.10. MÇÇ için deprem yükleri ve kesme kuvvetleri

Kat	$\frac{m_i H_i}{\sum m_i H_i}$	$F_{iE}^{(X)}$ (kN)	$V_{tE}^{(I)}$ (kN)
Çatı	0.2068	755.66	755.66
6	0.2229	642.52	1398.18
5	0.1866	537.92	1936.11
4	0.1503	433.33	2369.44
3	0.1141	328.73	2698.17
2	0.0778	224.14	2922.30
1	0.0415	119.54	3041.84
Σ	1.0	755.66	755.66

SAP2000 V21’de deprem yükleri rijit diyafram atayarak gerçekleştirilmiştir ve sonrasında kat üst seviyesine gelecek şekilde deprem yükleri atanmıştır. Programda girildiği sekme Şekil 3.17’de görünmektedir.

User Seismic Load Pattern

Edit

User Seismic Loads on Diaphragms

Diaphragm	Diaphragm Z	FX	FY	MZ	X	Y
DIAPH1_25.	25.	472.	0.	0.	0	0
DIAPH1_21.5	21.5	402.	0.	0.	0	0
DIAPH1_18.	18.	336.	0.	0.	0	0
DIAPH1_14.5	14.5	270.	0.	0.	0	0
DIAPH1_11.	11.	204.	0.	0.	0	0
DIAPH1_7.5	7.5	142.	0.	0.	0	0
DIAPH1_4.	4.	74.	0.	0.	0	0

☒ User Specified Application Point
☐ Apply at Center of Mass

Additional Ecc. Ratio (all Diaph.):

OK Cancel

Şekil 3.17. SAP2000’de Deprem yükleri girilen sekme

3.2.5. Yük Birleşimleri

TBDY-2018 4.4.4’e göre tanımlanan iki yük birleşimin göz önüne alınması gerekmektedir.

Yük birleşimlerinde yer alan yükler

G : Sabit Yük,

Q : Hareketli Yük,

Q_r : Çatı Hareketli Yüğü,

S : Kar Yüğü,

R : Yağmur Yüğü,

W : Rüzgar Yüğü,

E : Deprem Etkisi,

F : Akışkan Madde Basınç Yüğü,

T : Sıcaklık Değişmesi ve/veya Mesnet Çökmesi Etkileri,

H : Yatay Zemin Basıncı, Zemin Suyu Basıncı veya Yığılı Madde Basıncı

Tasarım yöntemi

Tasarım Yöntemi olarak “Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT)” yöntemi seçilmiştir.

YDKT için yük birleşimleri

Ayrıca, çalışmaya esas çerçeve sistemlerin tasarımı için doğrusal analiz yöntemi kullanılmıştır. (TBDY, 2018) ve (ÇYTHYE,2018) yük ve dayanım katsayıları ile tasarım yöntemine göre dikkate alınan yük birleşimleri aşağıda verilmiştir.

- 1.4G
- 1.2G + 1.6Q + 0.5(Q_r veya S veya R)
- 1.2G + 1.6(Q_r veya S veya R) + (Q veya 0.8W)
- 1.2G + 1.6W + 1.0Q + 0.5(Q_r veya S veya R)
- 1.2G + 1.0E + 1.0Q + 0.2S
- 0.9G + 1.6W
- 0.9G + 1.0E

F, H, T yükleri bulunmadığından birleşimlere eklenmemiştir.

Yatayda birbirine dik doğrultulardaki deprem etkilerinin birleştirilmesi

TBDY-2018 4.4.2.1 uyarınca yatay deprem etkisi altında taşıyıcı sistemin deprem hesabı “Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi” ‘ne göre yapıldığından, Denklem 2.34 ve Denklem 2.35’e göre deprem etkileri birleştirilir.

Burada, G sabit yükü, Q hareketli yükü, S kar yükü, H yatay zemin itkisi etkisi, $E_d^{(H)}$ tasarıma esas yatay deprem etkisi, $E_d^{(Z)}$ ise düşey doğrultudaki depremin etkisini göstermektedir. Bu çalışmada, 20 m’yi aşan kiriş elemanları, 5m’yi aşan konsol kiriş elemanları, kirişlere oturan ve düşeyde eğimli olan kolon elemanları bulunmadığı için $E_d^{(Z)}$ düşey deprem etkisi aşağıdaki Denklem 3.12 ve 3.13 ile hesaplanarak göz önüne alınmıştır.

$$E_d^{(H)} = \mp E_d^{(X)} \mp 0.3E_d^{(Y)} \quad (3.12)$$

$$E_d^{(H)} = \mp 0.3E_d^{(X)} \mp E_d^{(Y)} \quad (3.13)$$

Düşey deprem etkisinin belirlenmesi

Analizi yapılacak model TBDY-2018 4.4.3.1’de bahsedilen yapı tipleri dışında olduğundan düşey deprem etkisi;

$E_d^{(Z)}$ Denklem 3.12 ve 3.13 ile belirlenmiştir.

Bu yük birleşimleri aşağıdaki Denklem 3.14 ve 3.15 ile ifade edilir.

$$1.2G+Q+0.2S+E_d^{(H)}+0.3E_d^{(Z)} \quad (3.14)$$

$$0.9G+E_d^{(H)}-0.3E_d^{(Z)} \quad (3.15)$$

Ayrıca $S_{DS}=0.903$ Denklem 8’de yerine yazılarak $E_d^{(Z)}$ değeri elde edilmiş ve bu değer Denklem 3.16’da yerine yazılarak yük birleşimleri aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

$$E_d^{(Z)} = (2/3)S_{DS} \times G = (2/3) \times 1.071G = 0.714G \quad (3.16)$$

$$1.4142G+Q+0.2S \mp E_d^{(X)} \mp 0.3E_d^{(Y)}$$

$$1.4142G+Q+0.2S \mp 0.3E_d^{(X)} \mp E_d^{(Y)}$$

$$0.6858G \mp E_d^{(X)} \mp 0.3E_d^{(Y)}$$

$$0.6858G \mp 0.3E_d^{(X)} \mp E_d^{(Y)}$$

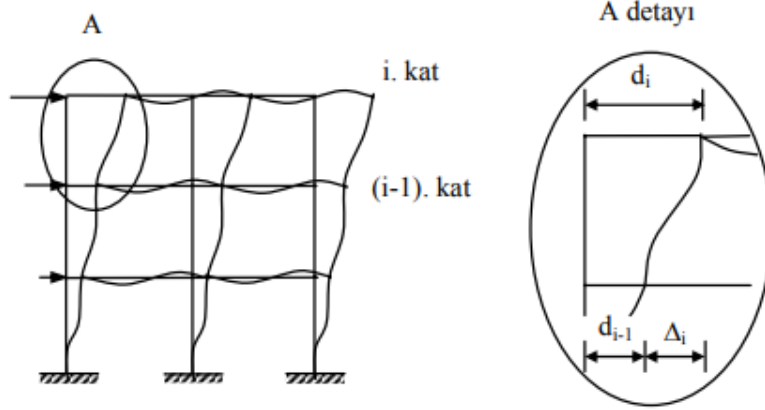
3.3. Sistem Analizleri

Konut türü binanın bilgisayar analizleri için modeli 3 boyutlu olarak SAP2000 V21 yazılımı kullanılarak hazırlanmıştır. Sabit ve hareketli yükler sisteme döşemelerden kirişlere yük aktarım kuralları göz önünde bulundurularak etkitilmiştir. Normal katlarda ve çatı katında çizgisel yük olarak etkitilmiştir. Deprem yükleri kat seviyelerine etkitilmiştir. İkinci mertebe teorisine göre hesap Yönetmelik 6.3’te verilen “Genel Analiz Yöntemi” ile otomatik olarak SAP2000 V21 programına yaptırılacaktır ve YDKT yöntemi ile dayanım kontrol edilecektir. Bu amaçla Yönetmelik 6.2.2’de tanımlı verilen geometrik ön kusurlar, Yönetmelik 6.2.2.2 uyarınca fiktif yükler olarak göz önüne alınabilir.

SAP2000 V21’de hem şablon olarak hem de “Section Designer” ile kompozit eleman tanımlamak mümkündür. Yapılan bazı denemeler sonucunda “Section Designer” ile kompozit kolon oluşturulmasına karar verilmiş ve “Base Material” olarak çelik malzemesi seçilmiştir. Ardından “Design” kısmından “Steel Frame Design” seçilmiştir.

3.3.1. Görelî Kat Ötelemelerinin Hesaplanması ve Sınırlandırılması

Azaltılmış görelî kat ötelemesi (Δ_i), herhangi bir kattaki düşey taşıyıcı elemanın üst ucunda oluşan ötelemelerin farkından oluşan ötelenme miktarı olarak tanımlanmaktadır. Görelî kat ötelemesi detayı Şekil 3.18 ile gösterilmektedir.



Şekil 3.18. Çerçeve yapıda oluşan görelî kat ötelemesi (Demir ve ark. 2007)

Görelî kat ötelemelerinin kontrolü TBDY-2018 4.9'a göre yapılacaktır. Azaltılmış görelî kat ötelemesi, Δ_i Denklem 3.17 ile bulunur (TBDY, 2018.)

$$\Delta_i = d_i - d_{(i-1)} \quad (3.17)$$

Bu değer X doğrultusu için hesaplanacaktır. Tüm modellerin görelî kat ötelemesi Tablo 3.11-3.13 ile verilmiştir.

Tablo 3.11. MÇÇ sistemlerin görelî kat ötelemeleri

No	MÇÇ-KD	MÇÇ-KG	MÇÇ-BD	MÇÇ-BG
	$\Delta(m)$			
1	0.0047	0.0039	0.0039	0.0039
2	0.0042	0.0039	0.0037	0.0040
3	0.0043	0.0043	0.0039	0.0044
4	0.0041	0.0043	0.0037	0.0043
5	0.0037	0.0041	0.0035	0.0042
6	0.0030	0.0035	0.0028	0.0036
Çatı	0.0023	0.0028	0.0021	0.0028

Tablo 3.12.DÇÇ sistemlerin görel kat ötelemeleri

No	DÇÇ-KD	DÇÇ-KG	DÇÇ-BD	DÇÇ-BG
	$\Delta(m)$			
1	0.0036	0.0035	0.0035	0.0035
2	0.0034	0.0037	0.0035	0.0037
3	0.0034	0.0037	0.0035	0.0038
4	0.0032	0.0037	0.0033	0.0037
5	0.0030	0.0035	0.0031	0.0036
6	0.0025	0.0030	0.0026	0.0031
Çatı	0.0019	0.0022	0.0019	0.0022

Tablo 3.13. YDÇÇ sistemlerin görel kat ötelemeleri

No	YDÇÇ-KD	YDÇÇ-KG	YDÇÇ-BD	YDÇÇ-BG
	$\Delta(m)$			
1	0.0079	0.0079	0.0079	0.0079
2	0.0074	0.0078	0.0077	0.0078
3	0.0075	0.0077	0.0076	0.0078
4	0.0071	0.0076	0.0073	0.0077
5	0.0066	0.0073	0.0069	0.0075
6	0.0056	0.0060	0.0056	0.0060
Çatı	0.0047	0.0046	0.0044	0.0043

3.3.2. Etkin Görel Kat Ötelemelerinin Kontrolü

Görel kat ötelemelerinin kontrolü, TBDY-2018 4.9'a göre yapıldıktan sonra Binanın i'inci katındaki kolon veya perdeler için etkin görel kat ötelemesi $\delta_i^{(X)}$ TBDY-2018 Denklem 3.18'e hesaplanacaktır.

$$\delta_i^{(X)} = \frac{R}{I} x \Delta_i \quad (3.18)$$

Hesaplanan etkin görel kat ötelemeleri (TBDY-2018 Denk. 4,34b)'ye göre λ katsayısı ile hesaplanan sınır koşulu ile karşılaştırılacaktır.

$$\lambda = \frac{S_{aE}^{(T)}(DD-3)}{S_{aE}^{(T)}(DD-2)} \text{ Denklemi ile belirlenir. Sonrasında;}$$

$\lambda \times \frac{\delta_{i,max}^{(X)}}{h_i} \leq 0.016\kappa$ koşulunu sağlıyor mu kontrol edilir. (κ katsayısı TBDY-2018 4.9.1.4 uyarınca 0.5 olarak alınacaktır. Bu koşulda $0.016\kappa = 0.5 * 0.016 \Rightarrow 0.008$ 'dir.)

$$\lambda = \frac{s_{aE}^{(T)}(DD-3)}{s_{aE}^{(T)}(DD-2)} = \frac{0.148}{0.3832} \Rightarrow 0.3862 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Aşağıdaki Tablo 3.14-3.25 ile tüm modellerin etkin görelî kat öteleme sonuçları bulunmaktadır.

Tablo 3.14. MÇÇ-KD modeli etkin görelî kat öteleme kontrolü

Kat	h_i	$\Delta(m)$	$\delta(m)$	λ	$\delta x \lambda / h_i$	Max	Sınır	
1	4	0.0047	0.0373	0.3862	0.0036	0.0038	0.008	✓
2	3.5	0.0042	0.0336		0.0037			
3	3.5	0.0043	0.0346		0.0038			
4	3.5	0.0041	0.0326		0.0036			
5	3.5	0.0037	0.0298		0.0033			
6	3.5	0.0030	0.0242		0.0027			
Çatı	3.5	0.0023	0.0182		0.0020			

Tablo 3.15. MÇÇ-KG modeli etkin görelî kat öteleme kontrolü

Kat	h_i	$\Delta(m)$	$\delta(m)$	λ	$\delta x \lambda / h_i$	Max	Sınır	
1	4	0.0039	0.0314	0.3862	0.0030	0.0038	0.008	✓
2	3.5	0.0039	0.0313		0.0035			
3	3.5	0.0043	0.0346		0.0038			
4	3.5	0.0043	0.0340		0.0038			
5	3.5	0.0041	0.0328		0.0036			
6	3.5	0.0035	0.0280		0.0031			
Çatı	3.5	0.0028	0.0221		0.0024			

Tablo 3.16. MÇÇ-BD modeli etkin görelî kat öteleme kontrolü

Kat	h_i	$\Delta(m)$	$\delta (m)$	λ	$\delta x\lambda/h_i$	Max	Sınır	
1	4	0.0039	0.0313	0.3862	0.0030	0.0034	0.008	✓
2	3.5	0.0037	0.0293		0.0032			
3	3.5	0.0039	0.0311		0.0034			
4	3.5	0.0037	0.0296		0.0033			
5	3.5	0.0035	0.0277		0.0031			
6	3.5	0.0028	0.0226		0.0025			
Çatı	3.5	0.0021	0.0167		0.0018			

Tablo 3.17. MÇÇ-BG modeli etkin görelî kat öteleme kontrolü

Kat	h_i	$\Delta(m)$	$\delta (m)$	λ	$\delta x\lambda/h_i$	Max	Sınır	
1	4	0.0039	0.0312	0.3862	0.0030	0.0039	0.008	✓
2	3.5	0.0040	0.0317		0.0035			
3	3.5	0.0044	0.0353		0.0039			
4	3.5	0.0043	0.0348		0.0038			
5	3.5	0.0042	0.0338		0.0037			
6	3.5	0.0036	0.0289		0.0032			
Çatı	3.5	0.0028	0.0226		0.0025			

Tablo 3.18. DÇÇ-KD modeli etkin görelî kat öteleme kontrolü

Kat	h_i	$\Delta(m)$	$\delta (m)$	λ	$\delta x\lambda/h_i$	Max	Sınır	
1	4	0.0036	0.0286	0.3862	0.0028	0.0031	0.008	✓
2	3.5	0.0034	0.0273		0.0030			
3	3.5	0.0034	0.0269		0.0030			
4	3.5	0.0032	0.0257		0.0028			
5	3.5	0.0030	0.0239		0.0026			
6	3.5	0.0025	0.0198		0.0022			
Çatı	3.5	0.0019	0.0151		0.0017			

Tablo 3.19. DÇÇ-KG modeli etkin görelî kat öteleme kontrolü

Kat	h_i	$\Delta(m)$	$\delta (m)$	λ	$\delta x\lambda/h_i$	Max	Sınır	
1	4	0.0035	0.0283	0.3862	0.0027	0.0033	0.008	✓
2	3.5	0.0037	0.0292		0.0032			
3	3.5	0.0037	0.0297		0.0033			
4	3.5	0.0037	0.0293		0.0032			
5	3.5	0.0035	0.0282		0.0031			
6	3.5	0.0030	0.0239		0.0026			
Çatı	3.5	0.0022	0.0180		0.0020			

Tablo 3.20. DÇÇ-BD modeli etkin görelî kat öteleme kontrolü

Kat	h_i	$\Delta(m)$	$\delta (m)$	λ	$\delta x\lambda/h_i$	Max	Sınır	
1	4	0.0035	0.0284	0.3862	0.0027	0.0031	0.008	✓
2	3.5	0.0035	0.0279		0.0031			
3	3.5	0.0035	0.0277		0.0031			
4	3.5	0.0033	0.0267		0.0029			
5	3.5	0.0031	0.0251		0.0028			
6	3.5	0.0026	0.0206		0.0023			
Çatı	3.5	0.0019	0.0149		0.0016			

Tablo 3.21. DÇÇ-BG modeli etkin görelî kat öteleme kontrolü

Kat	h_i	$\Delta(m)$	$\delta (m)$	λ	$\delta x\lambda/h_i$	Max	Sınır	
1	4	0.0035	0.0280	0.3862	0.0027	0.0033	0.008	✓
2	3.5	0.0037	0.0296		0.0033			
3	3.5	0.0038	0.0301		0.0033			
4	3.5	0.0037	0.0298		0.0033			
5	3.5	0.0036	0.0289		0.0032			
6	3.5	0.0031	0.0245		0.0027			
Çatı	3.5	0.0022	0.0180		0.0020			

Tablo 3.22. YDÇÇ-KD modeli etkin görelî kat öteleme kontrolü

Kat	h_i	$\Delta(m)$	$\delta (m)$	λ	$\delta x \lambda / h_i$	Max	Sınır	
1	4	0.0079	0.0634	0.3862	0.0061	0.0066	0.008	✓
2	3.5	0.0074	0.0596		0.0066			
3	3.5	0.0075	0.0597		0.0066			
4	3.5	0.0071	0.0567		0.0063			
5	3.5	0.0066	0.0527		0.0058			
6	3.5	0.0056	0.0448		0.0049			
Çatı	3.5	0.0047	0.0376		0.0041			

Tablo 3.23. YDÇÇ-KG modeli etkin görelî kat öteleme kontrolü

Kat	h_i	$\Delta(m)$	$\delta (m)$	λ	$\delta x \lambda / h_i$	Max	Sınır	
1	4	0.0079	0.0638	0.3862	0.0062	0.0069	0.008	✓
2	3.5	0.0078	0.0625		0.0069			
3	3.5	0.0077	0.0632		0.0070			
4	3.5	0.0076	0.0612		0.0067			
5	3.5	0.0073	0.0585		0.0065			
6	3.5	0.0060	0.0478		0.0053			
Çatı	3.5	0.0046	0.0368		0.0041			

Tablo 3.24. YDÇÇ-BD modeli etkin görelî kat öteleme kontrolü

Kat	h_i	$\Delta(m)$	$\delta (m)$	λ	$\delta x \lambda / h_i$	Max	Sınır	
1	4	0.0079	0.0636	0.3862	0.0061	0.0068	0.008	✓
2	3.5	0.0077	0.0612		0.0068			
3	3.5	0.0076	0.0620		0.0068			
4	3.5	0.0073	0.0587		0.0065			
5	3.5	0.0069	0.0552		0.0061			
6	3.5	0.0056	0.0449		0.0050			
Çatı	3.5	0.0044	0.0350		0.0039			

Tablo 3.25. YDÇÇ-BG modeli etkin görelî kat öteleme kontrolü

Kat	h_i	$\Delta(m)$	δ (m)	λ	$\delta x \lambda / h_i$	Max	Sınır	
1	4	0.0079	0.0633	0.3862	0.0061	0.0071	0.008	✓
2	3.5	0.0078	0.0634		0.0070			
3	3.5	0.0078	0.0639		0.0070			
4	3.5	0.0077	0.0617		0.0068			
5	3.5	0.0075	0.0600		0.0066			
6	3.5	0.0060	0.0478		0.0053			
Çatı	3.5	0.0043	0.0346		0.0038			

3.3.3. İkinci Mertebe Etkileri

TBDY-2018 4.9.2 uyarınca, göz önüne alınan deprem doğrultusunda her bir katta, ikinci mertebe etkilerini temsil eden ikinci mertebe gösterge değeri Denklem 3.18 ile hesaplanmaktadır.

$$\theta_{II,i}^{(x)} = \frac{(\Delta i)}{v * h_i} x \sum w_k \quad (3.18)$$

Sonrasında TBDY-2018 Denk. 4.36'ya göre $\theta_{II,max}^{(x)} \leq 0.12x \frac{D}{C_h R}$ olmalıdır.

C_h , TBDY-2018 4.9.2.2 uyarınca kompozit kolonlu binalarda "1" olarak alınacaktır. Tablo 3.26 ile modellerin Θ sınır değerleri verilmiştir.

Tablo 3.26. Çerçevelere göre Θ sınır değerleri

Modeller	D	R	C_h	$\theta_{sınır}$
MÇÇ modellerde	2	5	1	0.048
DÇÇ modellerde	2.5	8	1	0.0375
YDÇÇ modellerde	2.5	8	1	0.0375

İkinci mertebe gösterge değerleri aşağıdaki Tablo 3.27-3.38 ile verilmiştir.

Tablo 3.27. MÇÇ-KD modeli ikinci mertebe etkileri kontrolü

Kat	W_k	F(kN)	V(kN)	$\Delta_{Ort}(m)$	$h_i(m)$	Θ_{II}	$\Theta_{II\text{sınır}}$
1	5838.75	119.54	3041.84	0.0047	4	0.0153	0.048
2	5838.75	224.14	2922.3	0.0042	3.5	0.0140	
3	5838.75	328.73	2698.16	0.0043	3.5	0.0129	
4	5838.75	433.33	2369.43	0.0041	3.5	0.0110	
5	5838.75	537.92	1936.1	0.0037	3.5	0.0091	
6	5838.75	642.52	1398.18	0.0030	3.5	0.0066	
Çatı	4837.5	755.66	755.66	0.0023	3.5	0.0042	

Tablo 3.28. MÇÇ-KG modeli ikinci mertebe etkileri kontrolü

Kat	W_k	F(kN)	V(kN)	$\Delta_{Ort}(m)$	$h_i(m)$	Θ_{II}	$\Theta_{II\text{sınır}}$
1	5838.75	119.54	3041.84	0.0039	4	0.0128	0.048
2	5838.75	224.14	2922.3	0.0039	3.5	0.0130	
3	5838.75	328.73	2698.16	0.0043	3.5	0.0129	
4	5838.75	433.33	2369.43	0.0043	3.5	0.0115	
5	5838.75	537.92	1936.1	0.0041	3.5	0.0100	
6	5838.75	642.52	1398.18	0.0035	3.5	0.0076	
Çatı	4837.5	755.66	755.66	0.0028	3.5	0.0050	

Tablo 3.29. MÇÇ-BD modeli ikinci mertebe etkileri kontrolü

Kat	W_k	F(kN)	V(kN)	$\Delta_{Ort}(m)$	$h_i(m)$	Θ_{II}	$\Theta_{II\text{sınır}}$
1	5838.75	119.54	3041.84	0.0039	4	0.0128	0.048
2	5838.75	224.14	2922.3	0.0037	3.5	0.0122	
3	5838.75	328.73	2698.16	0.0039	3.5	0.0116	
4	5838.75	433.33	2369.43	0.0037	3.5	0.0100	
5	5838.75	537.92	1936.1	0.0035	3.5	0.0084	
6	5838.75	642.52	1398.18	0.0028	3.5	0.0062	
Çatı	4837.5	755.66	755.66	0.0021	3.5	0.0038	

Tablo 3.30. MÇÇ-BG modeli ikinci mertebe etkileri kontrolü

Kat	Wk	F(kN)	V(kN)	$\Delta_{Ort}(m)$	$h_i(m)$	Θ_{II}	$\Theta_{II\text{sınır}}$
1	5838.75	119.54	3041.84	0.0039	4	0.0128	0.048
2	5838.75	224.14	2922.3	0.0040	3.5	0.0132	
3	5838.75	328.73	2698.16	0.0044	3.5	0.0132	
4	5838.75	433.33	2369.43	0.0043	3.5	0.0117	
5	5838.75	537.92	1936.1	0.0042	3.5	0.0103	
6	5838.75	642.52	1398.18	0.0036	3.5	0.0079	
Çatı	4837.5	755.66	755.66	0.0028	3.5	0.0052	

Tablo 3.31. DÇÇ-KD modeli ikinci mertebe etkileri kontrolü

Kat	Wk	F(kN)	V(kN)	$\Delta_{Ort}(m)$	$h_i(m)$	Θ_{II}	$\Theta_{II\text{sınır}}$
1	5838.75	74.71	1901.16	0.0036	4	0.0188	0.048
2	5838.75	140.08	1826.45	0.0034	3.5	0.0181	
3	5838.75	205.46	1686.37	0.0034	3.5	0.0161	
4	5838.75	270.83	1480.91	0.0032	3.5	0.0139	
5	5838.75	336.21	1210.08	0.0030	3.5	0.0116	
6	5838.75	401.58	873.87	0.0025	3.5	0.0087	
Çatı	4837.5	472.29	472.29	0.0019	3.5	0.0055	

Tablo 3.32. DÇÇ-KG modeli ikinci mertebe etkileri kontrolü

Kat	Wk	F(kN)	V(kN)	$\Delta_{Ort}(m)$	$h_i(m)$	Θ_{II}	$\Theta_{II\text{sınır}}$
1	5838.75	74.71	1901.16	0.0035	4	0.0185	0.048
2	5838.75	140.08	1826.45	0.0037	3.5	0.0194	
3	5838.75	205.46	1686.37	0.0037	3.5	0.0177	
4	5838.75	270.83	1480.91	0.0037	3.5	0.0158	
5	5838.75	336.21	1210.08	0.0035	3.5	0.0137	
6	5838.75	401.58	873.87	0.0030	3.5	0.0104	
Çatı	4837.5	472.29	472.29	0.0022	3.5	0.0066	

Tablo 3.33. DÇÇ-BD modeli ikinci mertebe etkileri kontrolü

Kat	Wk	F(kN)	V(kN)	$\Delta_{Ort}(m)$	$h_i(m)$	Θ_{II}	$\Theta_{II\text{sınır}}$
1	5838.75	74.71	1901.16	0.0035	4.0	0.0186	0.048
2	5838.75	140.08	1826.45	0.0035	3.5	0.0186	
3	5838.75	205.46	1686.37	0.0035	3.5	0.0165	
4	5838.75	270.83	1480.91	0.0033	3.5	0.0144	
5	5838.75	336.21	1210.08	0.0031	3.5	0.0122	
6	5838.75	401.58	873.87	0.0026	3.5	0.0090	
Çatı	4837.5	472.29	472.29	0.0019	3.5	0.0054	

Tablo 3.34. DÇÇ-BG modeli ikinci mertebe etkileri kontrolü

Kat	Wk	F(kN)	V(kN)	$\Delta_{Ort}(m)$	$h_i(m)$	Θ_{II}	$\Theta_{II\text{sınır}}$
1	5838.75	74.71	1901.16	0.0035	4	0.0184	0.048
2	5838.75	140.08	1826.45	0.0037	3.5	0.0197	
3	5838.75	205.46	1686.37	0.0038	3.5	0.0180	
4	5838.75	270.83	1480.91	0.0037	3.5	0.0161	
5	5838.75	336.21	1210.08	0.0036	3.5	0.0141	
6	5838.75	401.58	873.87	0.0031	3.5	0.0107	
Çatı	4837.5	472.29	472.29	0.0022	3.5	0.0066	

Tablo 3.35. YDÇÇ-KD modeli ikinci mertebe etkileri kontrolü

Kat	Wk	F(kN)	V(kN)	$\Delta_{Ort}(m)$	$h_i(m)$	Θ_{II}	$\Theta_{II\text{sınır}}$
1	5838.75	74.71	1901.16	0.0079	4	0.0061	0.048
2	5838.75	140.08	1826.45	0.0074	3.5	0.0068	
3	5838.75	205.46	1686.37	0.0075	3.5	0.0074	
4	5838.75	270.83	1480.91	0.0071	3.5	0.0080	
5	5838.75	336.21	1210.08	0.0066	3.5	0.0091	
6	5838.75	401.58	873.87	0.0056	3.5	0.0107	
Çatı	4837.5	472.29	472.29	0.0047	3.5	0.0137	

Tablo 3.36. YDÇÇ-KG modeli ikinci merteye etkileri kontrolü

Kat	Wk	F(kN)	V(kN)	$\Delta_{Ort}(m)$	$h_i(m)$	Θ_{II}	$\Theta_{II\text{sınır}}$
1	5838.75	74.71	1901.16	0.0079	4	0.0061	0.048
2	5838.75	140.08	1826.45	0.0078	3.5	0.0071	
3	5838.75	205.46	1686.37	0.0077	3.5	0.0078	
4	5838.75	270.83	1480.91	0.0076	3.5	0.0086	
5	5838.75	336.21	1210.08	0.0073	3.5	0.0101	
6	5838.75	401.58	873.87	0.0060	3.5	0.0114	
Çatı	4837.5	472.29	472.29	0.0046	3.5	0.0135	

Tablo 3.37. YDÇÇ-BD modeli ikinci merteye etkileri kontrolü

Kat	Wk	F(kN)	V(kN)	$\Delta_{Ort}(m)$	$h_i(m)$	Θ_{II}	$\Theta_{II\text{sınır}}$
1	5838.75	74.71	1901.16	0.0079	4	0.0061	0.048
2	5838.75	140.08	1826.45	0.0077	3.5	0.0061	
3	5838.75	205.46	1686.37	0.0076	3.5	0.0070	
4	5838.75	270.83	1480.91	0.0073	3.5	0.0077	
5	5838.75	336.21	1210.08	0.0069	3.5	0.0083	
6	5838.75	401.58	873.87	0.0056	3.5	0.0095	
Çatı	4837.5	472.29	472.29	0.0044	3.5	0.0107	

Tablo 3.38. YDÇÇ-BG modeli ikinci merteye etkileri kontrolü

Kat	Wk	F(kN)	V(kN)	$\Delta_{Ort}(m)$	$h_i(m)$	Θ_{II}	$\Theta_{II\text{sınır}}$
1	5838.75	74.71	1901.16	0.0079	4	0.0061	0.048
2	5838.75	140.08	1826.45	0.0078	3.5	0.0072	
3	5838.75	205.46	1686.37	0.0078	3.5	0.0079	
4	5838.75	270.83	1480.91	0.0077	3.5	0.0087	
5	5838.75	336.21	1210.08	0.0075	3.5	0.0103	
6	5838.75	401.58	873.87	0.0060	3.5	0.0114	
Çatı	4837.5	472.29	472.29	0.0043	3.5	0.0127	

$\Theta_{II}(\text{sınır})$ koşulunu sağladığından, ikinci merteye etkilerinin ÇYTHYE-2018'ye göre değerlendirmesi yeterlidir.

3.4. Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Boyutlandırılması

3.4.1. Merkezi Çaprazlı Çerçevelerin Boyutlandırılması

Merkezi Çaprazlı Çerçevelerin Çaprazların Boyutlandırılması

Her kattaki elemanlar için boyutlandırma yapılmıştır. Örnek olması amacıyla kutu kesitli beton dolgulu kompozit kolonlu çerçeveli modelde birinci kat, B-C aksları arası merkezi çapraz sistemi elemanlarında en elverişsiz olan düşey yükler + deprem yüklemesi 1.4142G+Q-EX için dayanım kontrolleri yapılacaktır.

Düşey sabit ve hareketli yükler ile deprem etkilerinden dolayı çaprazında oluşan iç kuvvetler aşağıdaki değerleri almaktadır.

$$P_u = 1229 \text{ kN}$$

Tüm modellerin iç kuvvet değerleri Tablo 3.39’da verilmiştir.

Tablo 3.39. Tüm modellerin iç kuvvet değerleri

	KD	KG	BD	BG
Kat	P_u (kN)	P_u (kN)	P_u (kN)	P_u (kN)
1	1229	1223	1214	1219
2	1144	1132	1130	1133
3	1043	1048	1043	1053
4	958	953	953	955
5	801	805	801	810
6	653	640	639	642
Çatı	458	413	418	405

Seçilen çapraz kesiti HE280B için enkesit karakteristikleri:

$$d=280\text{mm} \quad b_f=280\text{mm} \quad t_w=10.5 \text{ mm} \quad t_f=18 \text{ mm} \quad i_x=154.5\text{mm} \quad i_y=74.8 \text{ mm}$$

Süneklik düzeyi yüksek çerçevelerin çaprazları TBDY-2018 9.6.1.1’de verilen enkesit koşulları uyarınca, giriş enkesitinin narinlik oranlarının TBDY-2018 Tablo 9.3’te verilen koşulları gerekmektedir.

Yerel burkulma sınır durumu için kesitin sınıflandırılması

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesit, genişlik/kalınlık oranı TBDY-2018 Tablo 9.3’te verilen λ_{hd} sınır değerini aşmadığından, süneklik düzeyi yüksek eleman olarak değerlendirilir.

Çaprazın Karakteristik Basınç Dayanımının Belirlenmesi

$K_x = K_y = 1.0$ ile hesaplanan burkulma boyu aşağıdaki değerleri almaktadır.

$$L_{cx} = L_{cy} = 1.0 \times 6021 = 6021 \text{ mm}$$

(Tüm modellerde birinci katın çaprazının uzunluğu 6021 mm, diğer katlarda 5701 mm'dir.)

Yerel Burkulma Sınır Durumu İçin Kesitin Sınıflandırılması

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{b}{t} = \frac{269.5}{10.5} = 27.5 \leq \lambda_r = 1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.49 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 40.2$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesit, genişlik/kalınlık oranı TBDY-2018 Tablo 9.3'te verilen λ_r sınır değerini aşmadığından, narin olmayan enkesit olarak değerlendirilir. Tüm modellerde kesitler aynı olduğundan burada diğer kesitler için verilere gerek duyulmamıştır.

CYTHYE-2018 8.2.1 uyarınca, elemanın eksenel basınç kuvveti dayanımını, x ve y asal eksenleri etrafında eğilmeli burkulma sınır durumları esas alınarak hesaplanan dayanımlarının küçüğü belirleyecektir.

Narinlik oranı:

$$\left(\frac{L_{cx}}{i_x} = \frac{6021}{121.3} = 49.6 \quad ; \quad \frac{L_{cy}}{i_y} = \frac{6021}{71} = 84.8 \right)$$

Bu doğrultuda y asal eksen etrafında eğilmeli burkulma sınır durumları esas alınarak dayanımlar hesaplanacaktır.

CYTHYE-2018 8.1.1 uyarınca, narinlik oranları $L_c/i < 200$ koşulu sağlamaktadır.

Eğilmeli Burkulma Sınır Durumunda Karakteristik Basınç Kuvveti Dayanımı, P_n

$\left(\frac{L_c}{i} \right)_{maks} = \max(49.6; 84.8) = 84.8$ olduğundan, elemanın eksenel basınç kuvveti dayanımını, y asal ekseninde eğilmeli burkulma sınır durumu belirlenecektir.

Eğilmeli burkulma sınır durumunda kritik burkulma gerilmesi, F_{cr} , için elastik burkulma gerilmesi F_e

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_c^2}{i}\right)} = \frac{\pi^2 \times 200000}{84.8^2} = 274.2 \text{ MPa}$$

ÇYTHYE-2018 8.2 uyarınca;

$$84.8 < 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 127.1 \text{ olduğundan,}$$

$$F_{cr} = \left(0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right) \times F_y = \left(0.658^{\frac{275}{274.2}}\right) \times 275 = 180.7 \text{ MPa}$$

Karakteristik Basınç Kuvveti Dayanımı, P_n

$$P_n = F_{cr} \times A_g = 184.7 \times 13.1 = 2367.6 \text{ kN} \quad (\text{ÇYTHYE Denk. (8.2)})$$

Çaprazın Tasarım Basınç Kuvveti

$$P_c = \phi_c \times P_n = 0.9 \times 2367.6 = 2130.8 \text{ kN}$$

Tüm modellerin karakteristik basınç dayanımları Tablo 3.40 ile verilmiştir.

Tablo 3.40. Tüm modellerin karakteristik basınç dayanımları

	<i>KD-KG-BD-BG</i>			
Kat	F_e (MPa)	F_{cr} (MPa)	P_n (kN)	P_c (kN)
1	274.20	180.73	2367.6	2130.8
2	305.85	188.75	2472.7	2225.4
3	264.29	177.91	2099.3	1889.4
4	264.29	177.91	2099.3	1889.4
5	224.28	164.61	1744.9	1570.4
6	224.28	164.61	1744.9	1570.4
Çatı	224.28	164.61	1744.9	1570.4

Tüm modellerin basınç dayanımı kontrolü Tablo 3.41 ile verilmiştir.

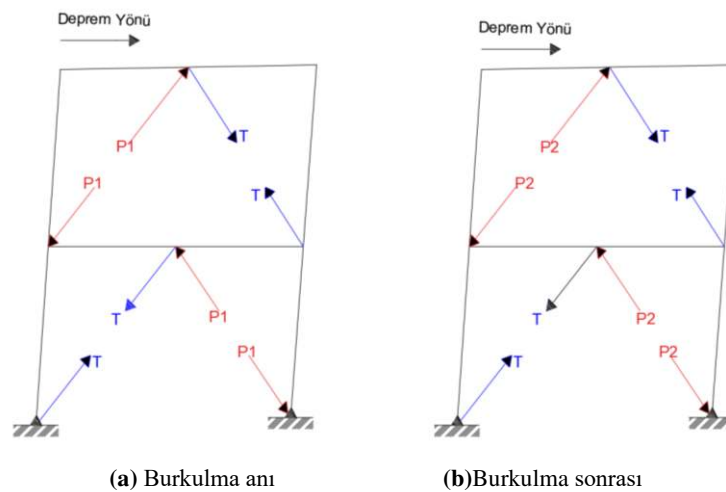
Tablo 3.41. Tüm modellerin basınç dayanımı kontrolü

		KD		KG		BD		BG	
Kat	P_c (kN)	P_u (kN)	P_u/P_c	P_u (kN)	P_u/P_c	P_u (kN)	P_u/P_c	P_u (kN)	P_u/P_c
1	2130.8	1229	0.58	1223	0.57	1214	0.57	1219	0.57
2	2225.4	1144	0.51	1132	0.51	1130	0.51	1133	0.51
3	1889.4	1043	0.55	1048	0.55	1043	0.55	1053	0.56
4	1889.4	958	0.51	953	0.50	953	0.50	955	0.51
5	1570.4	801	0.51	805	0.51	801	0.51	810	0.52
6	1570.4	653	0.42	640	0.41	639	0.41	642	0.41
Çatı	1570.4	458	0.29	413	0.26	418	0.27	405	0.26

Merkezi Çaprazlı Çerçeve Kirişlerin Boyutlandırılması

Her kattaki elemanlar için boyutlandırma yapılmıştır. Örnek olması amacıyla kutu kesitli beton dolgulu kompozit kolonlu çerçevesel modelde birinci kat, B-C aksları arası merkezi çapraz sistemi elemanlarında en elverişsiz olan düşey yükler + deprem yüklemesi 1.4142G+Q-EX için dayanım kontrolleri yapılacaktır. TBDY-2018 9.6.2.1'e göre süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçeve sistemlerin kolon, kiriş ve birleşimlerinin boyutlandırılmasında gerekli dayanımlar TBDY-2018 9.2.6'da belirtilen artırılmış deprem yükleri esas alınarak hesaplanacaktır.

TBDY-2018'e göre tasarımında göz önüne alınması gereken mekanizma durumları Şekil 3.19'da verilmiştir.

**Şekil 3.19.** Çapraz elemanların eksenel basınç etkisi altında mekanizma durumu

İki farklı mekanizma durumu için T , P_1 ve P_2 kuvvetleri aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$T = R_y \times F_y \times A_g \quad (\text{TBDY Denk. (9.15)})$$

$$P_1 = 1.14 \times F_{cre} \times A_g \quad (\text{TBDY Denk. (9.16)})$$

$$P_2 = 0.3 \times (1.14 \times F_{cre} \times A_g) \quad (\text{TBDY Denk. (9.17)})$$

Yukarıdaki denklemlerde F_{cre} olası akma gerilmesi ile hesaplanan kritik burkulma gerilmesini ifade etmektedir. S275 çeliği için olası akma gerilmesinin karakteristik akma gerilmesine oranı R_y , TBDY-2018 Tablo 9.2'ye 1.3 değerini almaktadır.

HE280B çapraz elemanı için;

$$T = 1.3 \times 275 \times 13.1 = 4683.3 \text{ kN}$$

Eğilmeli Burkulma Sınır Durumunda Karakteristik Basınç Kuvveti Dayanımı, P_n

$(\frac{L_c}{i})_{maks} = \max(49.6; 84.8) = 84.8$ olduğundan, elemanın eksenel basınç kuvveti dayanımını, y asal ekseninde eğilmeli burkulma sınır durumu belirlenecektir.

Eğilmeli Burkulma Sınır Durumunda Kritik Burkulma Gerilmesi, F_{cr} , için Elastik Burkulma Gerilmesi, F_e

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(\frac{L_c}{i})^2} = \frac{\pi^2 \times 200000}{84.8^2} = 274.2 \text{ MPa}$$

ÇYTHYE-2018 8.2 uyarınca;

$$84.8 < 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 127.1 \text{ olduğundan,}$$

$$F_{cr} = (0.658^{\frac{F_y}{F_e}}) \times F_y = ((0.658^{\frac{275}{274.2}}) \times 275 = 180.7 \text{ MPa}$$

Karakteristik Basınç Kuvveti Dayanımı, P_n

$$P_n = F_{cr} \times A_g = 180.7 \times 13.1 = 2367.6 \text{ kN}$$

$$P_1 = 1.14 \times 2367.6 = 2699.01 \text{ kN}$$

$$P_2=0.3 \times 2699.1=809.7 \text{ kN}$$

Tüm modellerin T, P_1 ve P_2 kuvvetleri Tablo 3.42 ile verilmiştir.

Tablo 3.42. Tüm modellerin T, P_1 ve P_2 kuvvetleri

	KD-KG-BD-BG		
	T(kN)	P_1 (kN)	P_2 (kN)
1	4683.25	2699.01	809.70
2	4683.25	2818.82	845.65
3	4218.5	2393.19	717.96
4	4218.5	2393.19	717.96
5	3789.5	1989.13	596.74
6	3789.5	1989.13	596.74
Çatı	3789.5	1989.13	596.74

Kirişlerin boyutlandırılmasında eksenel basınç kuvveti etkisindeki çapraz elemanların burkulma sonrasına gelen tipik mekanizma durumunda çapraz elemanların plastikleşmesine neden olan ve TBDY-2018 Denk. (9.15) ve Denk. (9.17) ile belirlenen olası eksenel çekme kuvveti ve burkulma sonrası oluşan olası eksenel basınç kuvveti dayanımları gözönüne alınmalıdır.

Kat kirişlerinde çaprazlar yok sayılarak 1.4142G+Q yük birleşimine göre elde edilen eğilme momenti ilgili örnek model için 112 kNm mertebesindedir.

Diğer katlar için Kat kirişlerinde çaprazlar yok sayılarak 1.4142G+Q yük birleşimine göre elde edilen eğilme momenti değerleri Tablo 3.43 ile verilmiştir.

Tablo 3.43. Eğilme momenti değerleri

	KD	KG	BD	BG
Kat	M(kNm)	M(kNm)	M(kNm)	M(kNm)
1	112	134	120	135
2	106	124	113	124
3	102	118	111	119
4	100	115	109	115
5	98	109	106	110
6	96	106	104	107
Çatı	75	81	80	81

Birinci Kat Kirişinin Dayanım Kontrolü

Kiriş ortasında çapraz yüklerinden oluşan bileşke düşey tekil kuvvet aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$P_u = 4683.3 \times \frac{4}{6.021} - 809.7 \times \frac{4}{6.021} - 845.7 \times \frac{3.5}{5.701} - 4683.25 \times \frac{3.5}{5.701} = 217.3 \text{ kN}$$

Kirişteki Toplam Eğilme Momenti

$$M_u = 217.3 \times \frac{4.5}{3.5} + 112 = 391.4 \text{ kNm}$$

Kiriş ortasında çapraz yüklerinden oluşan bileşke yatay tekil kuvvet ihmal edilmiştir. Tüm modellerde oluşan kirişteki toplam eğilme momenti Tablo 3.44'te verilmiştir.

Tablo 3.44. Kirişteki toplam eğilme momenti

	KD		KG		BD		BG	
Kat	P_u (kN)	M_u (kNm)	P_u (kN)	M_u (kNm)	P_u (kN)	M_u (kNm)	P_u (kN)	M_u (kNm)
1	217	391	217	413	217	399	217	414
2	207	372	207	390	207	379	207	390
3	0	102	0	118	0	111	0	119
4	189	343	189	358	189	352	189	358
5	0	98	0	109	0	106	0	110
6	0	96	0	106	0	104	0	107

Çatı kirişlerinin kontrolü diğer kat kirişlerinin etkileri ile olduğundan ayrı olarak kontrol edilmiştir.

Seçilen kiriş kesiti HE360B için enkesit karakteristikleri:

$$d=360\text{mm} \quad b_f=360\text{mm} \quad t_w=12.5 \text{ mm} \quad t_f=22.5 \text{ mm} \quad h= \quad W_{px}=268.3 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

Yerel Burkulma Sınır Durumu İçin Kesitin Sınıflandırılması

Bağ kirişi için yapılan tahkikler bağ kirişi dışında kalan kat kirişi için de geçerlidir. Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesit, genişlik/kalınlık oranı TBDY-2018 Tablo 9.3'te verilen λ_{hd} sınır değerini aşmadığından, süneklik düzeyi yüksek eleman olarak değerlendirilir.

Kirişin Karakteristik Eğilme Momenti Dayanımının Belirlenmesi

Yerel Burkulma Sınırı Durumu İçin Kesitin Sınıflandırılması

ÇYTHYE-2018 5.4 uyarınca;

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{h}{t_w} = \frac{337.5}{12.5} = 27 \leq \lambda_p = 3.76 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3.76 \times \sqrt{\frac{200000}{355}} = 89.3$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesit, genişlik/kalınlık oranı TBDY-2018 Tablo 5.1B’de verilen λ_p sınır değerini aşmadığından, kompakt olarak değerlendirilir. Tüm modellerde kesitler aynı olduğundan onlarda yeterlidir. Maksimum kesit yeterli olduğundan diğerleri burada belirtilmemiştir. Bu durumda, kuvvetli asal eksen etrafında eğilme etkisindeki, çift simetri eksenli I-kesitli elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n ÇYTHYE-2018 9.2 uyarınca belirlenecektir.

Akma Sınır Durumunda Karakteristik Eğilme Momenti Dayanımı, M_n

$$M_n = M_p = F_y \times W_{px} = 355 \times 2.683 = 952.47 \text{ kNm}$$

Kirişin Tasarım Eğilme Momenti Dayanımın Kontrolü

$$M_{cx} = M_d = \phi_b \times M_n = 0.9 \times 952.47 = 857.22 \text{ kNm}$$

Tüm modellerin eğilme momenti dayanımı Tablo 3.45 ile verilmiştir.

Tablo 3.45. Tüm modellerin eğilme momenti dayanımı

	KD-KG-BD-BG	
Kat	M_n (kNm)	M_d (kNm)
1	952.5	857.2
2	952.5	857.2
3	854.8	769.4
4	854.8	769.4
5	762.9	686.6
6	762.9	686.6
Çatı	762.9	686.6

$$\frac{M_u}{M_d} = \frac{391}{857.2} = 0.46$$

Tüm modellerin kirişlerinin tasarım eğilme momenti dayanımı kontrolü Tablo 3.46 ile verilmiştir.

Tablo 3.46. Kirişlerin tasarım eğilme momenti dayanımı

	KD			KG		
Kat	M_u (kNm)	M_d (kNm)	M_u/M_d	M_u (kNm)	M_d (kNm)	M_u/M_d
1	391	857.2	0.46	413	857.2	0.48
2	372	857.2	0.43	390	857.2	0.45
3	102	769.4	0.13	118	769.4	0.15
4	343	769.4	0.45	358	769.4	0.47
5	98	686.6	0.14	109	686.6	0.16
6	96	686.6	0.14	106	686.6	0.15
	BD			BG		
Kat	M_u (kNm)	M_d (kNm)	M_u/M_d	M_u (kNm)	M_d (kNm)	M_u/M_d
1	399	857.2	0.47	414	857.2	0.48
2	379	857.2	0.44	390	857.2	0.45
3	111	769.4	0.14	119	769.4	0.15
4	352	769.4	0.46	358	769.4	0.47
5	106	686.6	0.15	110	686.6	0.16
6	104	686.6	0.15	107	686.6	0.16

Kirişin Karakteristik Kesme Kuvveti Dayanımının Belirlenmesi

Çift simetri eksenli I-enkesitte ÇYTHYE-2018 10.2.1.(a) uyarınca;

$$\frac{h}{t_w} = \frac{261}{12.5} = 20.9 \leq 2.24 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2.24 \times \sqrt{\frac{200000}{355}} = 53.2 \text{ olduğundan,}$$

$\phi_v = 1.0$ ve $C_{v1} = 1.0$ alınacaktır. Tüm modellerde kesitler aynı olduğundan burada diğer kesitler için verilere gerek duyulmamıştır.

Karakteristik kesme kuvveti dayanımı, V_n

ÇYTHYE-2018 10.2 uyarınca;

$$V_n = 0.6 \times F_y \times A_w \times C_{v1} = 0.6 \times 355 \times 360 \times 12.5 \times 1.0 \times 10^{-3} = 958.5 \text{ kN} \quad (\text{ÇYTHYE Denk. (10.1)})$$

Kirişin Tasarım Kesme Kuvveti Dayanımının Kontrolü

$$V_d = \phi_v \times V_n = 1.0 \times 958.5 = 958.5 \text{ Kn}$$

$$\frac{V_u}{V_d} = \frac{129}{958.5} = 0.13$$

Tüm modellerin kesme kuvveti dayanımının kontrolü Tablo 3.47 ile verilmiştir.

Tablo 3.47. Tüm modellerin kesme kuvveti dayanımı kontrolü

	KD			KG		
Kat	V_u (kN)	$V_n=V_d$ (kN)	V_u/V_d	V_u (kN)	$V_n=V_d$ (kN)	V_u/V_d
1	131	958.5	0.14	130	958.5	0.14
2	129	958.5	0.13	127	958.5	0.13
3	129	869.04	0.15	126	869.04	0.14
4	127	869.04	0.15	125	869.04	0.14
5	126	783.84	0.16	124	783.84	0.16
6	124	783.84	0.16	124	783.84	0.16
	BD			BG		
Kat	V_u (kN)	$V_n=V_d$ (kN)	V_u/V_d	V_u (kN)	$V_n=V_d$ (kN)	V_u/V_d
1	127	958.5	0.13	130	958.5	0.14
2	125	958.5	0.13	128	958.5	0.13
3	125	869.04	0.14	126	869.04	0.14
4	124	869.04	0.14	126	869.04	0.14
5	124	783.84	0.16	124	783.84	0.16
6	123	783.84	0.16	124	783.84	0.16

Çatı Kat Kirişinin Dayanım Kontrolü

Kiriş ortasında çapraz yüklerinden oluşan bileşke yatay tekil kuvvet aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$P_u = 3789.5 \times \frac{4.5}{5.701} + 596.74 \times \frac{4.5}{5.701} = 3462.2 \text{ kN}$$

Yatay kuvvetin kirişin çaprazların iki tarafında kalan bölümleri arasında eşit miktarda dağıtacağı varsayılırsa kirişe etkiyen aksenal kuvvet 1731 kN olarak bulunabilir. Diğer modellerin kirişe etkiyen aksenal kuvvetleri bu modeldeki değerlerle aynıdır. Çünkü kesit özellikleri ve bina özellikleri aynıdır.

Seçilen çatı kiriş kesiti HE320B için enkesit karakteristikleri:

$$d=320 \text{ mm } b_f=320 \text{ mm } t_w=11.5 \text{ mm } t_f=20.5 \text{ mm } i_x=138.4 \text{ mm } i_y=75.8 \text{ mm}$$

Süneklik düzeyi yüksek çerçevelerin çaprazları TBDY-2018 9.6.1.1.'de verilen enkesit koşulları uyarınca, kiriş enkesitinin narinlik oranlarının TBDY-2018 Tablo 9.3'te verilen koşulları gerekmektedir.

Yerel Burkulma Sınır Durumu İçin Kesitin Sınıflandırılması

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{h}{t_w} = \frac{308.5}{11.5} = 26.8 \leq \lambda_r = 2.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2.45 \times \sqrt{\frac{200000}{355}} = 58.2$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesit, genişlik/kalınlık oranı TBDY-2018 Tablo 9.3'te verilen λ_{hd} sınır değerini aşmadığından, süneklik düzeyi yüksek eleman olarak değerlendirilir.

Kirişin Karakteristik Eğilme Momenti Dayanımının Belirlenmesi

Yerel burkulma sınırı durumu için kesitin sınıflandırılması

ÇYTHYE-2018 5.4 uyarınca;

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{h}{t_w} = \frac{308.5}{11.5} = 26.8 \leq \lambda_p = 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3.76 \times \sqrt{\frac{200000}{355}} = 89.3$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesit, genişlik/kalınlık oranı TBDY-2018 Tablo 5.1B'de verilen λ_p sınır değerini aşmadığından, kompakt olarak değerlendirilir. Tüm modellerde kesitler aynı olduğundan onlarda yeterlidir. Maksimum kesit yeterli olduğundan diğerleri burada belirtilmemiştir. Bu durumda, kuvvetli asal eksen etrafında eğilme etkisindeki, çift simetri eksenli I-kesitli elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n , ÇYTHYE-2018 9.2 uyarınca belirlenecektir.

Akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n

$$M_n = M_p = F_y \times W_{px} = 355 \times 2.149 = 762.9 \text{ kNm}$$

Kirişin tasarım eğilme momenti dayanımı

$$M_{cx} = \phi_b \times M_n = 0.9 \times 762.9 = 686.6 \text{ kNm}$$

Kirişin Karakteristik Basınç Dayanımının Belirlenmesi

TBDY-2018 9.8.3.1 uyarınca bağ kirişinin üst ve alt başlıkları kirişin iki ucunda yanal doğrultuda desteklenecektir. Bu destekler gözönüne alınınca kat kirişinin desteklenmeyen uzunluğu 4500 mm olarak elde edilir.

$K_y = 1.0$ ile hesaplanan burkulma boyu aşağıdaki değerleri almaktadır.

$$L_{cy} = 1.0 \times 4500 = 4500 \text{ mm}$$

Yerel Burkulma Sınır Durumu İçin Kesitin Sınıflandırılması

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{h}{t_w} = \frac{308.5}{11.5} = 26.8 \leq \lambda_r = 1.49 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.49 \times \sqrt{\frac{200000}{355}} = 35.4$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesit, genişlik/kalınlık oranı TBDY-2018 Tablo 5.1A'a verilen λ_r sınır değerini aşmadığından, narin olmayan enkesit olarak değerlendirilir. Tüm modellerde kesitler aynı olduğundan onlarda yeterlidir. Maksimum kesit yeterli olduğundan diğerleri burada belirtilmemiştir.

ÇYTHYE-2018 8.2.1 uyarınca, elemanın eksenel basınç kuvveti dayanımını, x ve y asal eksenleri etrafında eğilmeli burkulma sınır durumları esas alınarak hesaplanan dayanımlarının küçüğü belirleyecektir.

Narinlik oranı:

$$\left(\frac{L_{cx}}{i_x} = \frac{4500}{138.4} = 32.5 \quad ; \quad \frac{L_{cy}}{i_y} = \frac{4500}{75.8} = 59.4 \right)$$

Bu doğrultuda y asal eksen etrafında eğilmeli burkulma sınır durumları esas alınarak dayanımlar hesaplanacaktır.

ÇYTHYE-2018 8.1.1 uyarınca, narinlik oranları $L_c/i < 200$ koşulu sağlamaktadır.

Eğilmeli burkulma sınır durumunda karakteristik basınç kuvveti dayanımı, P_n

$\left(\frac{L_c}{i} \right)_{maks} = \max(32.5; 59.4) = 59.4$ olduğundan, elemanın eksenel basınç kuvveti dayanımını, y asal ekseninde eğilmeli burkulma sınır durumu belirlenecektir.

Eğilmeli burkulma sınır durumunda kritik burkulma gerilmesi, F_{cr} , için elastik burkulma gerilmesi F_e

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_c}{i}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 200000}{59.4^2} = 559.5 \text{ MPa}$$

ÇYTHYE-2018 8.2 uyarınca;

$$59.4 < 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 111.8 \text{ olduğundan,}$$

$$F_{cr} = \left(0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right) \times F_y = \left(0.658^{\frac{355}{559.5}}\right) \times 355 = 183.5 \text{ MPa}$$

Karakteristik Basınç Kuvveti Dayanımı, P_n

$$P_n = F_{cr} \times A_g = 183.5 \times 18.1 = 3322.15 \text{ kN}$$

(ÇYTHYE Denk. (8.2))

Kirişin Tasarım Basınç Kuvveti

$$P_c = \phi_c \times P_n = 0.9 \times 3322.15 = 2989.9 \text{ kN}$$

Tüm modellerin karakteristik basınç dayanımları Tablo 3.48 ile verilmiştir.

Tablo 3.48. Tüm modellerin karakteristik basınç dayanımları

	<i>KD-KG-BD-BG</i>			
Kat	F_e (MPa)	F_{cr} (MPa)	P_n (kN)	P_c (kN)
1	544.8	186.7	3006.6	2705.9
2	552.1	185.1	3165.9	2849.4
3	552.1	185.1	3165.9	2849.4
4	552.1	185.1	3165.9	2849.4
5	559.5	183.5	3322.1	2989.9
6	559.5	183.5	3322.1	2989.9
Çatı	559.5	183.5	3322.1	2989.9

Kiriş Birleşik Etkiler Altında Dayanımının Kontrolü

ÇYTHYE-2018 11.1 uyarınca;

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{1731.2}{2989.9} = 0.58 < 1.0 \text{ olduğundan,}$$

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \chi \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0$$

(ÇYTHYE Denk. (11.1a))

$$\frac{229}{2989.93} + \frac{8}{9} \chi \left(\frac{81}{686.6} + 0 \right) = 0.16 \leq 1.0$$

Eğer $\frac{P_r}{P_c} < 0.2$ için

$$\frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0 \text{ olmalıdır.}$$

(ÇYTHYE Denk. (11.1b))

Tüm modellerin birleşik etkiler altında dayanımının kontrolü Tablo 3.49 ile verilmiştir.

Tablo 3.49. Tüm modellerin birleşik etkiler altında dayanımının kontrolü

	KD			KG		
Kat	$\frac{P_r}{P_c}$	Durum	Kontrol	$\frac{P_r}{P_c}$	Durum	Kontrol
1	0.28	>0.2	0.38	0.28	>0.2	0.42
2	0.26	>0.2	0.37	0.26	>0.2	0.38
3	0.23	>0.2	0.36	0.23	>0.2	0.37
4	0.21	>0.2	0.33	0.21	>0.2	0.34
5	0.16	<0.2	0.23	0.16	<0.2	0.24
6	0.12	<0.2	0.21	0.12	<0.2	0.21
Çatı	0.08	<0.2	0.16	0.07	<0.2	0.15
	BD			BG		
Kat	$\frac{P_r}{P_c}$	Durum	Kontrol	$\frac{P_r}{P_c}$	Durum	Kontrol
1	0.28	>0.2	0.41	0.28	>0.2	0.42
2	0.26	>0.2	0.37	0.26	>0.2	0.39
3	0.23	>0.2	0.36	0.23	>0.2	0.37
4	0.21	>0.2	0.33	0.21	>0.2	0.34
5	0.16	<0.2	0.23	0.16	<0.2	0.24
6	0.12	<0.2	0.21	0.12	<0.2	0.21
Çatı	0.07	<0.2	0.15	0.07	<0.2	0.15

Kirişin Karakteristik Kesme Kuvveti Dayanımının Belirlenmesi

Çift simetri eksenli I-enkesitte ÇYTHYE-2018 10.2.1.(a) uyarınca;

$$\frac{h}{t_w} = \frac{308.5}{11.5} = 26.8 \leq 2.24 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2.24 \times \sqrt{\frac{200000}{355}} = 53.2 \text{ olduğundan,}$$

$\phi_v=1.0$ ve $C_{v1}=1.0$ alınacaktır. Tüm modellerde kesitler aynı olduğundan burada diğer kesitler için verilere gerek duyulmamıştır.

Karakteristik kesme kuvveti dayanımı, V_n ,

ÇYTHYE-2018 10.2 uyarınca;

$$V_n = 0.6 \times F_y \times A_w \times C_{v1} = 0.6 \times 355 \times 320 \times 11.5 \times 1.0 \times 10^{-3} = 783.8 \text{ kN} \quad (\text{ÇYTHYE Denk. (10.1)})$$

Kirişin Tasarım Kesme Kuvveti Dayanımının Kontrolü

$$V_d = \phi_v \times V_n = 1.0 \times 783.8 = 783.8 \text{ kN}$$

$$\frac{V_u}{V_d} = \frac{98}{958.5} = 0.13$$

Tüm modellerin kesme kuvveti dayanımının kontrolü Tablo 3.50 ile verilmiştir.

Tablo 3.50. Tüm modellerin kesme kuvveti dayanımının kontrolü

	KD			KG		
Kat	V_u (kN)	$V_n=V_d$ (kN)	V_u/V_d	V_u (kN)	$V_n=V_d$ (kN)	V_u/V_d
Çatı	99	783.84	0.13	95	783.84	0.12
	BD			BG		
Kat	V_u (kN)	$V_n=V_d$ (kN)	V_u/V_d	V_u (kN)	$V_n=V_d$ (kN)	V_u/V_d
Çatı	95	783.84	0.12	95	783.84	0.12

3.4.2. Yatay Bağ Kirişli Dış Merkezi Çaprazlı Çerçevelerin Boyutlandırılması

Yatay Bağ Kirişli Dış Merkezi Çaprazlı Çerçeve Bağ Kirişi Boyutlandırılması

Her kattaki elemanlar için boyutlandırma yapılmıştır. Örnek olması amacıyla kutu kesitli beton dolgulu kompozit kolonlu çerçeveli modelde birinci kat, B-C aksları arası dışmerkez çapraz sistemi elemanlarında en elverişsiz olan düşey yükler + deprem yüklemesi 1.4142G+Q-EX için dayanım kontrolleri yapılacaktır.

Düşey sabit ve hareketli yükler ile deprem etkilerinden dolayı bağ kirişinde oluşan iç kuvvetler aşağıdaki değerleri almaktadır.

$$V_u = 449 \text{ kN}$$

Tüm modellerin iç kuvvet değerleri Tablo 3.51 ile verilmiştir.

Tablo 3.51. Tüm modellerin iç kuvvet değerleri

	KD	KG	BD	BG
Kat	V_u (kN)	V_u (kN)	V_u (kN)	V_u (kN)
1	449	451	448	452
2	376	375	376	372
3	347	344	347	349
4	313	312	313	309
5	250	246	250	254
6	191	190	191	189
Çatı	119	122	119	115

Seçilen bağ kirişi kesiti HE400B için enkesit karakteristikleri:

$$d=400\text{mm} \quad b_f=400\text{mm} \quad t_w=13.5 \text{ mm} \quad t_f=24 \text{ mm} \quad h= \quad W_{px}=288.4 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

Süneklik düzeyi yüksek çerçevelerin kirişleri TBDY-2018 9.8.1.1’de verilen enkesit koşulları uyarınca, kiriş enkesitinin narinlik oranlarının TBDY-2018 Tablo 9.3’te verilen koşulları gerekmektedir.

Yerel Burkulma Sınır Durumu İçin Kesitin Sınıflandırılması

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{h}{t_w} = \frac{337.5}{12.5} = 27 \leq \lambda_{hd} = 2.45 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2.45 \times \sqrt{\frac{200000}{355}} = 58.2$$

Diğer katlardaki tüm elemanlar da sınır değerini aşmamaktadır.

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesit, genişlik/kalınlık oranı TBDY-2018 Tablo 9.3’te verilen λ_{hd} sınır değerini aşmadığından, süneklik düzeyi yüksek eleman olarak değerlendirilir.

Bağ Kirişinin Kapasitesi

$$\frac{P_r}{P_y} < 0.15 \text{ için} \quad V_p = 0.6 \times F_y \times A_w \quad ; \quad M_p = F_y \times W_p \quad (\text{TBDY Denk. (9.19)})$$

$$V_p = 0.6 \times 355 \times (400 - 2 \times 24) \times 13.5 \times 10^3 = 1012.18 \text{ KN}$$

$$M_p = 355 \times 2.884 = 1023.82 \text{ kNm}$$

$$V_n = \min(V_p, \frac{M_p}{e}) = \min(1012.18, \frac{2 \times 1023.82}{1}) = 2047.64 = 1012.18 \text{ kN} \quad (\text{TBDY Denk. (9.18)})$$

Diğer tüm modellerin bağ kiriş kapasitesi Tablo 3.52 ile verilmektedir.

Tablo 3.52. Tüm modellerin bağ kirişi kapasitesi

	KD		KG		BD		BG	
Kat	V_p (kN)	M_p (kNm)	V_p (kN)	M_p (kNm)	V_p (kN)	M_p (kNm)	V_p (kN)	M_p (kNm)
Çatı	1012.18	1023.82	1012.18	1023.82	1012.18	1023.82	1012.18	1023.82
6	838.69	851.645	838.69	851.645	838.69	851.645	838.69	851.645
5	838.69	851.645	838.69	851.645	838.69	851.645	838.69	851.645
4	759.13	765.38	759.13	765.38	759.13	765.38	759.13	765.38
3	759.13	765.38	759.13	765.38	759.13	765.38	759.13	765.38
2	683.41	683.73	683.41	683.73	683.41	683.73	683.41	683.73
1	683.41	683.73	683.41	683.73	683.41	683.73	683.41	683.73

Bağ Kirişin Kesme Kuvveti Dayanımının Kontrolü

$$V_d = \phi_v \times V_n = 0.9 \times 1012.18 = 910.8 \text{ kN}$$

$$V_u = F_{xi} \times h_i \times L_b = 950.6 \times 4 \times 9 = 422.5 \text{ kN}$$

$$\frac{V_u}{V_d} = \frac{422.5}{910.8} = 0.46$$

Tablo 3.53 ile tüm modellerin bağ kirişin kesme kuvveti dayanımı kontrolü verilmiştir.

Tablo 3.53. Tüm modellerin bağ kirişin kesme kuvveti dayanımı kontrolü

	KD			KG		BD		BG	
Kat	V_u (kN)	V_d (kN)	Kontrol	V_u (kN)	V_d (kN)	Kontrol	V_u (kN)	V_d (kN)	Kontrol
Çatı	91.8	615.1	0.15	91.8	615.1	0.15	91.8	615.1	0.15
6	169.9	615.1	0.28	169.9	615.1	0.28	169.9	615.1	0.28
5	235.3	683.2	0.34	235.3	683.2	0.34	235.3	683.2	0.34
4	287.9	683.2	0.42	287.9	683.2	0.42	287.9	683.2	0.42
3	327.9	754.8	0.43	327.9	754.8	0.43	327.9	754.8	0.43
2	355.2	754.8	0.47	355.2	754.8	0.47	355.2	754.8	0.47
1	422.5	910.9	0.46	422.5	910.9	0.46	422.5	910.9	0.46

Bağ Kirişinin Dönme Açısı Kontrolü

TBDY-2018 9.8.4 uyarınca, bağ kirişinin dönme açısı kontrol edilecektir. Buna göre, incelenen bağ kirişinin bulunduğu 1. Katın (x) doğrultusundaki dönme açısı;

$$\theta_p = \frac{R}{I} \times \frac{\Delta_i}{h_i} = \frac{8 \times 0.003579}{1 \times 4} = 0.00716$$

Görelî kat ötelenmesi açısından oluşan,

$$\gamma_p = \frac{L}{e} \times \theta_p = \frac{9}{1} \times 0.00716 = 0.06442$$

Bağ kirişi dönme açısı, bağ kirişi uzunluğunun,

$$e = 1 \text{ m} = 1.30 \frac{M_p}{V_p} < 1.60 \frac{M_p}{V_p}$$

Değeri için;

$$\gamma_p = 0.06442 < 0.08 \text{ radyan koşulunu sağlamaktadır.}$$

Tablo 3.54 ile tüm modellerin bağ kirişinin dönme açısı kontrolü verilmiştir.

Tablo 3.54. Tüm modellerin bağ kirişinin dönme açısı kontrolü

	KD			KG		
Kat	θ_p	γ_p	Kontrol	θ_p	γ_p	Kontrol
1	0.0072	0.064	0.08	0.0071	0.064	0.08
2	0.0078	0.070	0.08	0.0083	0.075	0.08
3	0.0077	0.069	0.08	0.0085	0.076	0.08
4	0.0074	0.066	0.08	0.0084	0.075	0.08
5	0.0068	0.061	0.08	0.0081	0.073	0.08
6	0.0057	0.051	0.08	0.0068	0.061	0.08
Çatı	0.0043	0.039	0.08	0.0051	0.046	0.08
	BD			BG		
Kat	θ_p	γ_p	Kontrol	θ_p	γ_p	Kontrol
1	0.0071	0.064	0.08	0.0070	0.063	0.08
2	0.0080	0.072	0.08	0.0085	0.076	0.08
3	0.0079	0.071	0.08	0.0086	0.077	0.08
4	0.0076	0.069	0.08	0.0085	0.077	0.08
5	0.0072	0.064	0.08	0.0083	0.074	0.08
6	0.0059	0.053	0.08	0.0070	0.063	0.08
Çatı	0.0043	0.038	0.08	0.0051	0.046	0.08

Düşey Bağ Kirişli Dış Merkezi Çaprazlı Çerçeve Bağ Kirişinin Kat Kirişi Dışında Kalan Bölümünün Boyutlandırılması

TBDY-2018 9.8.6.1 uyarınca bağ kirişinin plastikleşmesine neden olan yükleme deprem etkilerinin V_p/V_E olarak tanımlanan tasarım büyütme katsayısı ile uyumlu olacak şekilde arttırılması suretiyle belirlenecektir.

$$\frac{V_p}{V_u} = \frac{1012.18}{449} = 2.26$$

En elverişsiz kombinasyon ile kirişlerde oluşan kesme kuvveti Tablo 3.55 ile verilmiştir.

Tablo 3.55. Tüm modellerin kirişlerinde oluşan kesme kuvveti

	KD	KG	BD	BG
Kat	$V_u(kN)$	$V_u(kN)$	$V_u(kN)$	$V_u(kN)$
1	449	451	448	448
2	376	375	376	376
3	347	344	347	347
4	313	312	313	313
5	250	246	250	250
6	191	190	191	191
Çatı	119	122	119	115

Tüm modellerin V_p/V_E değerleri Tablo 3.56 ile verilmiştir.

Tablo 3.56. Tüm modellerin V_p/V_E değerleri

	KD			KG		
Kat	$V_n(kN)$	$V_u(kN)$	V_p/V_E	$V_n(kN)$	$V_u(kN)$	V_p/V_E
1	1012.18	449	2.25	1012.18	451	2.24
2	838.69	376	2.23	838.69	375	2.24
3	838.69	347	2.42	838.69	344	2.44
4	759.13	313	2.43	759.13	312	2.43
5	759.13	250	3.04	759.13	246	3.09
6	683.41	191	5.22	683.41	190	3.60
Çatı	683.41	119	5.74	683.41	122	5.60
	BD			BG		
Kat	$V_n(kN)$	$V_u(kN)$	V_p/V_E	$V_n(kN)$	$V_u(kN)$	V_p/V_E
1	1012.18	448	2.26	1012.18	452	2.24
2	838.69	376	2.23	838.69	372	2.25
3	838.69	347	2.42	838.69	349	2.40
4	759.13	313	2.43	759.13	309	2.46
5	759.13	250	3.04	759.13	254	2.99
6	683.41	191	3.58	683.41	189	3.62
Çatı	683.41	119	5.74	683.41	115	5.94

TBDY-2018 9.8.6.3 uyarınca kat kirişinin bağ kirişi dışında kalan bölümünün gerekli dayanımının belirlenmesine, TBDY-2018 9.2.5'te verilen yük birleşimlerindeki deprem etkileri, bağ kirişinin plastikleşmesine neden olan yüklemenin, $1.1R_y$ katı ile büyütülecektir. Toplam büyütme katsayısı $2.25 \times 1.1 \times 1.25 = 3.1$ olarak elde edilir.

Tüm modeller için büyütme katsayısı ve kombinasyonlar Tablo 3.57 ile verilmiştir.

Tablo 3.57. Tüm modeller için büyütme katsayısı ve kombinasyonlar

KD		KG	
$1.1R_y$	Kombinasyon	$1.1R_y$	Kombinasyon
3.09	$1.4142G+Q-3.09EX$	3.09	$1.4142G+Q-3.09EX$
BD		BG	
$1.1R_y$	Kombinasyon	$1.1R_y$	Kombinasyon
3.11	$1.4142G+Q-3.11EX$	3.07	$1.4142G+Q-3.07EX$

Düşey sabit ve hareketli yükler ile arttırılmış deprem etkilerinden dolayı $1.4142G+Q-3.09EX$ yük birleşimi ile elde edilen bağ kirişi dışındaki kat kirişinde oluşan iç kuvvetler aşağıdaki değerleri almaktadır.

$$V_u = 197 \text{ kN} \quad M_u = 431 \text{ kN} - m \quad P_u = 1260 \text{ kN}$$

Tüm modellerin iç kuvvet değerleri Tablo 3.58 ile verilmiştir.

Tablo 3.58. Tüm modellerin iç kuvvet değerleri

	KD			KG		
Kat	M_u (kNm)	V_u (kN)	P_u (kN)	M_u (kNm)	V_u (kN)	P_u (kN)
1	431	197	1260	452	201	1198
2	384	185	1191	398	189	1192
3	338	174	1082	350	177	1090
4	312	167	980	320	169	979
5	168	156	744	278	158	765
6	222	144	577	223	145	572
Çatı	162	109	403	148	106	354
Kat	BD			BG		
1	M_u (kNm)	V_u (kN)	P_u (kN)	M_u (kNm)	V_u (kN)	P_u (kN)
2	435	198	1239	458	203	1194
3	393	186	1195	403	189	1176
4	343	175	1092	356	178	1100
5	314	168	986	322	169	983
6	274	157	759	284	160	781
Çatı	222	144	575	224	145	576
	150	106	370	141	104	337

Yerel Burkulma Sınır Durumu İçin Kesitin Sınıflandırılması

Bağ kirişi için yapılan tahkikler bağ kirişi dışında kalan kat kirişi için de geçerlidir. Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesit, genişlik/kalınlık oranı TBDY-2018 Tablo 9.3'te verilen λ_{hd} sınır değerini aşmadığından, süneklik düzeyi yüksek eleman olarak değerlendirilir.

Kirişin Karakteristik Basınç Dayanımının Belirlenmesi

TBDY-2018 9.8.3.1 uyarınca bağ kirişinin üst ve alt başlıkları kirişin iki ucunda yanal doğrultuda desteklenecektir. Bu destekler gözönüne alınınca kat kirişinin desteklenmeyen uzunluğu 4000 mm olarak elde edilir.

$K_y=1.0$ ile hesaplanan burkulma boyu aşağıdaki değerleri almaktadır.

$$L_{cy}=1.0 \times 4500=4000\text{mm}$$

Yerel Burkulma Sınır Durumu İçin Kesitin Sınıflandırılması

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{h}{t_w} = \frac{376}{13.5} = 27.9 \leq \lambda_r = 1.49 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.49 \times \sqrt{\frac{200000}{355}} = 35.4$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesit, genişlik/kalınlık oranı TBDY-2018 Tablo 5.1A'a verilen λ_r sınır değerini aşmadığından, narin olmayan enkesit olarak değerlendirilir. Tüm modellerde kesitler aynı olduğundan onlarda yeterlidir. Maksimum kesit yeterli olduğundan diğerleri burada belirtilmemiştir.

ÇYTHYE-2018 8.2.1 uyarınca, elemanın eksenel basınç kuvveti dayanımını, x ve y asal eksenleri etrafında eğilmeli burkulma sınır durumları esas alınarak hesaplanan dayanımlarının küçüğü belirleyecektir.

Narinlik oranı:

$$\left(\frac{L_{cx}}{i_x}\right) = \frac{4000}{170.8} = 23.42 \quad ; \quad \frac{L_{cy}}{i_y} = \frac{4000}{74} = 54.05$$

Bu doğrultuda y asal eksen etrafında eğilmeli burkulma sınır durumları esas alınarak dayanımlar hesaplanacaktır.

ÇYTHYE-2018 8.1.1 uyarınca, narinlik oranları $L_c/i < 200$ koşulu sağlamaktadır.

Eğilmeli burkulma sınır durumunda karakteristik basınç kuvveti dayanımı, P_n

$\left(\frac{L_c}{i}\right)_{maks} = \max(23.42; 54.05) = 54.05$ olduğundan, elemanın eksenel basınç kuvveti dayanımını, y asal ekseninde eğilmeli burkulma sınır durumu belirlenecektir.

Eğilmeli burkulma sınır durumunda kritik burkulma gerilmesi, F_{cr} , için elastik burkulma gerilmesi F_e

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_c}{i}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 200000}{54.05^2} = 674.9 \text{ MPa}$$

ÇYTHYE-2018 8.2 uyarınca;

$$54.05 < 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 111.8 \text{ olduğundan,}$$

$$F_{cr} = \left(0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right) \times F_y = \left(0.658^{\frac{355}{674.9}}\right) \times 355 = 160.2 \text{ MPa}$$

Karakteristik basınç kuvveti dayanımı, P_n

$$P_n = F_{cr} \times A_g = 160.2 \times 19.8 = 3171.9 \text{ kN} \quad (\text{ÇYTHYE Denk. (8.2)})$$

Kirişin Tasarım Basınç Kuvveti

$$P_c = \phi_c \times P_n = 0.9 \times 3171.9 = 2854.7 \text{ kN}$$

Tüm modellerin karakteristik basınç dayanımları Tablo 3.59 ile verilmiştir.

Tablo 3.59. Tüm modellerin karakteristik basınç dayanımları

	KD-KG-BD-BG			
Kat	F_e (MPa)	F_{cr} (MPa)	P_n (kN)	P_c (kN)
1	674.89	160.20	3171.93	2854.73
2	689.56	157.45	2849.87	2564.88
3	689.56	157.45	2849.87	2564.88
4	698.81	155.74	2663.21	2396.89
5	698.81	155.74	2663.21	2396.89
6	708.12	154.04	2480.09	2232.08
Çatı	708.12	154.04	2480.09	2232.08

Kirişin Karakteristik Eğilme Momenti Dayanımının Belirlenmesi

Yerel Burkulma Sınırı Durumu İçin Kesitin Sınıflandırılması

ÇYTHYE-2018 5.4 uyarınca;

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{h}{t_w} = \frac{376}{13.5} = 27.9 \leq \lambda_p = 3.76 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3.76 \times \sqrt{\frac{200000}{355}} = 89.3$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesit, genişlik/kalınlık oranı TBDY-2018 Tablo 5.1B’de verilen λ_p sınır değerini aşmadığından, kompakt olarak değerlendirilir. Tüm modellerde kesitler aynı olduğundan onlarda yeterlidir. Maksimum kesit yeterli olduğundan diğerleri burada belirtilmemiştir. Bu durumda, kuvvetli asal eksen etrafında eğilme etkisindeki, çift simetri eksenli I-kesitli elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n , ÇYTHYE-2018 9.2 uyarınca belirlenecektir.

Akma Sınır Durumunda Karakteristik Eğilme Momenti Dayanımı, M_n

$$M_n = M_p = F_y \times W_{px} = 355 \times 3.232 = 1147.36 \text{ kNm}$$

Yanal Burulmalı Burkulma Sınır Durumunda Karakteristik Eğilme Momenti Dayanımı

Kiriş alt başlığı kolona birleşen noktada ve bağ kirişi ucunda yanal olarak desteklendiğinden, $L_b = 4000 \text{ mm}$ olarak belirlenir.

$$L_p = 1.76 \times i_y \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76 \times 74.4 \times \sqrt{\frac{200000}{355}} = 3091.32 \text{ mm} \quad (\text{ÇYTHYE Denk. (9.6a)})$$

$$c = 1.0 \quad (\text{ÇYTHYE Denk. (9.7a)})$$

$$i_{ts} = \frac{b_f}{\sqrt{12(1 + \frac{1}{6} \frac{h x t_w}{b_f x t_f})}} = \frac{360}{\sqrt{12(1 + \frac{1}{6} \frac{298 \times 13.5}{400 \times 24})}} = 31.7 \text{ mm} \quad (\text{ÇYTHYE Denk. (9.8b)})$$

$$h_o = d - t_f = 400 - 24 = 376 \text{ mm}$$

Değerleri ile elastik olmayan yanal burulmada sınır uzunluk, L_r

$$L_r = 1.95 \times i_{ts} \times \frac{E}{0.7 \times F_y} \sqrt{\frac{J_c}{W_{ex} h_o}} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{W_{ex} h_o}\right)^2 + 6.76 \left(\frac{0.7 \times F_y}{E}\right)^2} \quad (\text{ÇYTHYE Denk. (9.6b)})$$

$$L_r = 1.95 \times 31.7 \times \frac{200000}{0.7 \times 355} \sqrt{\frac{J_c}{W_{ex} h_o}} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{W_{ex} h_o}\right)^2 + 6.76 \left(\frac{0.7 \times 355}{200000}\right)^2} = 11974.6 \text{ mm}$$

$L_p = 3091.32 \text{ mm} < L_b = 4000 \text{ mm} < L_r = 11974.6 \text{ mm}$ olduğundan, karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n ÇYTHYE-2018 9.2.(b) uyarınca hesaplanacaktır.

Moment düzeltme katsayısı, C_b

Analiz sonuçlarına göre eğilme momenti kiriş uçlarında maksimum değerden sıfıra doğrusal olarak azalan bir değişim gösterdiğinden $C_b = 1.67$ kullanılmalıdır.

$$M_n = C_b \times \left[M_p - (M_p - 0.7 \times F_y \times W_{ex}) \times \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (\text{ÇYTHYE Denk. (9.3)})$$

$$M_n = 1.67 \times \left[1147.36 - (1147.36 - 0.7 \times 355 \times 288.4 \times 10^{-3}) \times \left(\frac{4000 - 3091.32}{11974.6 - 3091.32} \right) \right]$$

$$M_n = 1728.9 > 1147.36 \text{ kNm}$$

$$M_n = 1147.36 \text{ kNm}$$

Kirişin Tasarım Eğilme Momenti Dayanımı

$$M_{cx} = \phi_b \times M_n = 0.9 \times 1147.36 = 1032.62 \text{ kNm}$$

Tüm modellerin eğilme momenti dayanımı Tablo 3.60 ile verilmiştir.

Tablo 3.60. Tüm modellerin eğilme momenti dayanımı

	KD-KG-BD-BG	
Kat	M_n (kNm)	M_{cx} (kNm)
1	1147.4	1032.6
2	952.5	857.2
3	952.5	857.2
4	854.8	769.4
5	854.8	769.4
6	762.9	686.6
Çatı	762.9	686.6

Kiriş Birleşik Etkiler Altında Dayanımının Kontrolü

ÇYTHYE-2018 11.1 uyarınca;

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{1260}{2854.73} = 0.44 > 0.2 \text{ olduğundan,}$$

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \times \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0$$

(ÇYTHYE Denk. (11.1a))

$$\frac{1260}{2854.73} + \frac{8}{9} \times \left(\frac{431}{1032.6} + 0 \right) = 0.81 \leq 1.0$$

Eğer $\frac{P_r}{P_c} < 0.2$ için

$$\frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0 \text{ olmalıdır.} \quad (\text{ÇYTHYE Denk. (11.1b)})$$

Tüm modellerin birleşik etkiler altında dayanımının kontrolü Tablo 3.61 ile verilmiştir.

Tablo 3.61. Tüm modellerin birleşik etkiler altında dayanımının kontrolü

	KD			KG		
Kat	$\frac{P_r}{P_c}$	Durum	Kontrol	$\frac{P_r}{P_c}$	Durum	Kontrol
1	0.44	>0.2	0.81	0.42	>0.2	0.81
2	0.46	>0.2	0.68	0.46	>0.2	0.70
3	0.42	>0.2	0.61	0.42	>0.2	0.62
4	0.41	>0.2	0.61	0.41	>0.2	0.62
5	0.31	>0.2	0.37	0.32	>0.2	0.52
6	0.26	<0.2	0.45	0.26	>0.2	0.45
Çatı	0.18	<0.2	0.33	0.16	<0.2	0.29
	BD			BG		
Kat	$\frac{P_r}{P_c}$	Durum	Kontrol	$\frac{P_r}{P_c}$	Durum	Kontrol
1	0.43	>0.2	0.81	0.42	>0.2	0.81
2	0.47	>0.2	0.69	0.46	>0.2	0.70
3	0.43	>0.2	0.61	0.43	>0.2	0.63
4	0.41	>0.2	0.61	0.41	>0.2	0.62
5	0.32	>0.2	0.51	0.33	>0.2	0.53
6	0.26	>0.2	0.45	0.26	>0.2	0.46
Çatı	0.17	<0.2	0.30	0.15	<0.2	0.28

Kirişin Karakteristik Kesme Kuvveti Dayanımının Belirlenmesi

Çift simetri eksenli I-enkesitte ÇYTHYE-2018 10.2.1.(a) uyarınca;

$$\frac{h}{t_w} = \frac{298}{13.5} = 22.1 \leq 2.24 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2.24 \times \sqrt{\frac{200000}{355}} = 53.2 \text{ olduğundan,}$$

$\phi_v=1.0$ ve $C_{v1}=1.0$ alınacaktır. Tüm modellerde kesitler aynı olduğundan burada diğer kesitler için verilere gerek duyulmamıştır.

Karakteristik kesme kuvveti dayanımı, V_n ,

ÇYTHYE-2018 10.2 uyarınca;

$$V_n = 0.6 \times F_y \times A_w \times C_{v1} = 0.6 \times 355 \times 400 \times 13.5 \times 1.0 \times 10^{-3} = 1150.2 \text{ kN} \quad (\text{ÇYTHYE Denk. (10.1)})$$

Kirişin Tasarım Kesme Kuvveti Dayanımının Kontrolü

$$V_d = \phi_v \times V_n = 1.0 \times 1150.2 = 1150.2 \text{ kN}$$

$$\frac{V_u}{V_d} = \frac{197}{1150.2} = 0.17$$

Tüm modellerin kesme kuvveti dayanımının kontrolü Tablo 3.62 ile verilmiştir.

Tablo 3.62. Tüm modellerin kesme kuvveti dayanımının kontrolü

	KD			KG		
Kat	V_u (kN)	$V_n=V_d$ (kN)	V_u/V_d	V_u (kN)	$V_n=V_d$ (kN)	V_u/V_d
1	197	1150.2	0.17	201	1150.2	0.17
2	185	958.5	0.19	189	958.5	0.20
3	174	958.5	0.18	177	958.5	0.18
4	167	869.04	0.19	169	869.04	0.19
5	156	869.04	0.18	158	869.04	0.18
6	144	783.84	0.18	145	783.84	0.18
Çatı	109	783.84	0.14	106	783.84	0.14
Kat	BD			BG		
1	V_u (kN)	$V_n=V_d$ (kN)	V_u/V_d	V_u (kN)	$V_n=V_d$ (kN)	V_u/V_d
2	198	1150.2	0.17	203	1150.2	0.18
3	186	958.5	0.19	189	958.5	0.20
4	175	958.5	0.18	178	958.5	0.19
5	168	869.04	0.19	169	869.04	0.19
6	157	869.04	0.18	160	869.04	0.18
Çatı	144	783.84	0.18	145	783.84	0.18
Kat	106	783.84	0.14	104	783.84	0.13

Yatay Bağ Kirişli Dışmerkez Çaprazlı Çerçeve Çaprazlarının Boyutlandırılması

Her kattaki elemanlar için boyutlandırma yapılmıştır. Örnek olması amacıyla kutu kesitli beton dolgulu kompozit kolonlu çerçeveli modelde birinci kat, B-C aksları arası dışmerkez çapraz sisteminde dayanım kontrolleri yapılacaktır.

TBDY-2018 9.8.6.2 uyarınca çaprazların gerekli dayanımlarının belirlenmesinde, TBDY-2018 9.2.5'te verilen yük birleşimlerindeki deprem etkileri, bağ kirişinin plastikleşmesine neden olan yüklemenin $1.25R_y$ katı ile büyütülecektir.

1.4142G+Q-3.1EX yük birleşimi ile elde edilen çapraz elemanı iç kuvvetleri aşağıdaki değerleri almaktadır.

$$V_u = 0 \quad M_u = 178 \text{ kNm} \quad P_u = 1898 \text{ kN (basınç)}$$

Tüm modellerin iç kuvvetleri Tablo 3.63 ile verilmiştir.

Tablo 3.63. Tüm modellerin iç kuvvetleri

Kat	KD		KG		BD		BG	
	M_u (kNm)	P_u (kN)	M_u (kNm)	P_u (kN)	M_u (kNm)	P_u (kN)	M_u (kNm)	P_u (kN)
1	178	1898	172	1904	177	1901	137	1907
2	126	1725	122	1728	126	1731	121	1737
3	123	1577	124	1588	127	1592	112	1604
4	113	1445	112	1445	113	1453	109	1451
5	66	1140	67	1170	67	1165	62	119
6	48	922	47	917	47	919	46	923
Çatı	33	657	28	593	29	607	25	573

Seçilen çapraz kesiti HE300B için enkesit karakteristikleri:

$$d=300\text{mm} \quad b_f=300\text{mm} \quad t_w=11 \text{ mm} \quad t_f=19 \text{ mm} \quad h=208 \text{ mm} \quad W_{px}=189.7 \times 10^3 \text{ mm}^3 \\ W_{ex}=167.8 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

Süneklik düzeyi yüksek çerçevelerin kirişleri TBDY-2018 9.8.1.1'de verilen enkesit koşulları uyarınca, kiriş enkesitinin narinlik oranlarının TBDY-2018 Tablo 9.3'te verilen koşulları gerekmektedir.

Yerel Burkulma Sınır Durumu İçin Kesitin Sınıflandırılması

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesit, genişlik/kalınlık oranı TBDY-2018 Tablo 9.3'te verilen λ_{hd} sınır değerini aşmadığından, süneklik düzeyi yüksek eleman olarak

değerlendirilir. Tüm modellerde kesitler aynı olduğundan burada diğer kesitler için verilere gerek duyulmamıştır.

Çaprazın Karakteristik Basınç Dayanımının Belirlenmesi

$K_x = K_y = 1.0$ ile hesaplanan burkulma boyu aşağıdaki değerleri almaktadır.

$$L_{cx} = L_{cy} = 1.0 \times 5660 = 5657 \text{ mm}$$

(Tüm modellerde birinci katın çaprazının uzunluğu 5657 mm, diğer katlarda 5315 mm'dir.)

Yerel Burkulma Sınır Durumu İçin Kesitin Sınıflandırılması

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{h}{t_w} = \frac{281}{11} = 25.5 \leq \lambda_r = 1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.49 \sqrt{\frac{2 \times 10^3}{275}} = 40.2$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesit, genişlik/kalınlık oranı TBDY-2018 Tablo 9.3'te verilen λ_r sınır değerini aşmadığından, narin olmayan enkesit olarak değerlendirilir. Tüm modellerde kesitler aynı olduğundan burada diğer kesitler için verilere gerek duyulmamıştır.

ÇYTHYE-2018 8.2.1 uyarınca, elemanın eksenel basınç kuvveti dayanımını, x ve y asal eksenleri etrafında eğilmeli burkulma sınır durumları esas alınarak hesaplanan dayanımlarının küçüğü belirleyecektir.

Narinlik oranı:

$$\left(\frac{L_{cx}}{i_x}\right) = \frac{5657}{130} = 43.5 \quad ; \quad \frac{L_{cy}}{i_y} = \frac{5660}{75.8} = 74.6$$

Bu doğrultuda y asal eksen etrafında eğilmeli burkulma sınır durumları esas alınarak dayanımlar hesaplanacaktır.

ÇYTHYE-2018 8.1.1 uyarınca, narinlik oranları $L_c/i < 200$ koşulu sağlamaktadır.

Eğilmeli burkulma sınır durumunda karakteristik basınç kuvveti dayanımı, P_n

$\left(\frac{L_c}{i}\right)_{maks} = \max(43.5; 74.6) = 74.6$ olduğundan, elemanın eksenel basınç kuvveti dayanımını, y asal ekseninde eğilmeli burkulma sınır durumu belirlenecektir.

Eğilmeli burkulma sınır durumunda kritik burkulma gerilmesi, F_{cr} , için elastik burkulma gerilmesi F_e

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_c}{i}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 200000}{74.6^2} = 354.1 \text{ MPa}$$

ÇYTHYE-2018 8.2 uyarınca;

$$74.6 < 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 127.1 \text{ olduğundan,}$$

$$F_{cr} = (0.658^{\frac{F_y}{F_e}}) \times F_y = ((0.658^{\frac{275}{354.1}}) \times 275 = 233.3 \text{ MPa}$$

Karakteristik basınç kuvveti dayanımı, P_n

$$P_n = F_{cr} \times A_g = 233.3 \times 14.9 = 3476.6 \text{ kN} \quad (\text{ÇYTHYE Denk. (8.2)})$$

Kirişin Tasarım Basınç Kuvveti

$$P_c = \phi_c \times P_n = 0.9 \times 3476.6 = 3128.9 \text{ kN}$$

Tüm modellerin karakteristik basınç dayanımları Tablo 3.64 ile verilmiştir.

Tablo 3.64. Tüm modellerin karakteristik basınç dayanımları

Kat	<i>KD-KG-BD-BG</i>			
	F_e (MPa)	F_{cr} (MPa)	P_n (kN)	P_c (kN)
1	354.0	233.3	3476.6	3128.9
2	351.9	232.7	3048.7	2743.8
3	351.9	232.7	3048.7	2743.8
4	351.9	232.7	3048.7	2743.8
5	258.0	199.6	2115.7	1904.2
6	258.0	199.6	2115.7	1904.2
Çatı	258.0	199.6	2115.7	1904.2

Çaprazın Karakteristik Eğilme Momenti Dayanımının Belirlenmesi

Yerel Burkulma Sınırı Durumu İçin Kesitin Sınıflandırılması

ÇYTHYE-2018 5.4 uyarınca;

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{h}{t_w} = \frac{281}{11} = 25.5 \leq \lambda_p = 3.76 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3.76 \times \sqrt{\frac{200000}{355}} = 89.3$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesit, genişlik/kalınlık oranı TBDY-2018 Tablo 5.1B’de verilen λ_p sınır değerini aşmadığından, kompakt olarak değerlendirilir. Bu durumda, kuvvetli asal eksen etrafında eğilme etkisindeki, çift simetri eksenli I-kesitli elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n , ÇYTHYE-2018 9.2 uyarınca belirlenecektir. Tüm modellerde kesitler aynı olduğundan burada diğer kesitler için verilere gerek duyulmamıştır.

Akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n

$$M_n = M_p = F_y \times W_{px} = 275 \times 1.897 = 521.6 \text{ kNm}$$

Yanal Burulmalı Burkulma Sınır Durumunda Karakteristik Eğilme Momenti Dayanımı

Çaprazın desteklenmeyen boyu $L_b = 5657 \text{ mm}$ olarak belirlenir.

$$L_p = 1.76 \times i_y \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76 \times 75.8 \times \sqrt{\frac{200000}{275}} = 3597.7 \text{ mm} \quad (\text{ÇYTHYE Denk. (9.6a)})$$

$$c = 1.0 \quad (\text{ÇYTHYE Denk. (9.7a)})$$

$$i_{ts} = \frac{b_f}{\sqrt{12(1 + \frac{1}{6} \frac{h x t_w}{b_f x t_f})}} = \frac{300}{\sqrt{12(1 + \frac{1}{6} \frac{208 \times 11}{300 \times 19})}} = 23.8 \text{ mm} \quad (\text{ÇYTHYE Denk. (9.8b)})$$

$$h_o = d - t_f = 300 - 19 = 281 \text{ mm}$$

Değerleri ile elastik olmayan yanal burulmada sınır uzunluk, L_r

$$L_r = 1.95 \times i_{ts} \times \frac{E}{0.7 \times F_y} \sqrt{\frac{J_c}{W_{ex} h_o}} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{W_{ex} h_o}\right)^2} + 6.76 \left(\frac{0.7 \times F_y}{E}\right)^2 \quad (\text{ÇYTHYE Denk. (9.6b)})$$

$$L_r = 1.95 \times 23.8 \times \frac{200000}{0.7 \times 275} \sqrt{\frac{J_c}{W_{ex} h_o}} + \sqrt{\left(\frac{18.9 \times 10^4 \times 1.0}{167.8 \times 10^3 \times 281}\right)^2} + 6.76 \left(\frac{0.7 \times 275}{200000}\right)^2 = 12166.1 \text{ mm}$$

$L_p = 3597.7 \text{ mm} < L_b = 5657 \text{ mm} < L_r = 12166.1 \text{ mm}$ olduğundan, karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n ÇYTHYE-2018 9.2 (b) uyarınca hesaplanacaktır.

Moment düzeltme katsayısı, C_b

Analiz sonuçlarına göre eğilme momenti giriş uçlarında maksimum değerden sıfıra doğrusal olarak azalan bir değişim gösterdiğinden $C_b=1.67$ kullanılmalıdır.

$$M_n = C_b \times \left[M_p - (M_p - 0.7 \times F_y \times W_{ex}) \times \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (\text{ÇYTHYE Denk. (9.3)})$$

$$M_n = 1.67 \times \left[521.6 - (521.6 - 0.7 \times 275 \times 167.8 \times 10^{-3}) \times \left(\frac{5657 - 3597.7}{12166.1 - 3597.7} \right) \right]$$

$$M_n = 673.4 > 521.6 \text{ kNm}$$

$$M_n = 521.6 \text{ kNm}$$

Çaprazın Tasarım Eğilme Momenti Dayanımı

$$M_{cx} = \phi_b \times M_n = 0.9 \times 521.6 = 469.5 \text{ kNm}$$

Tüm modellerin eğilme momenti dayanımı Tablo 3.65 ile verilmiştir.

Tablo 3.65. Tüm modellerin eğilme momenti dayanımı

	KD-KG-BD-BG	
Kat	M_n (kNm)	M_{cx} (kNm)
1	521.6	469.5
2	421.9	379.7
3	421.9	379.7
4	421.9	379.7
5	289.6	260.6
6	289.6	260.6
Çatı	289.6	260.6

Çaprazın Birleşik Etkiler Altında Dayanımının Kontrolü

ÇYTHYE-2018 11.1 uyarınca;

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{1901}{3128.9} = 0.61 > 0.2 \text{ olduğundan,}$$

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \times \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0 \quad (\text{ÇYTHYE Denk. (11.1a)})$$

$$\frac{1901}{3128.9} + \frac{8}{9} \times \left(\frac{179}{469.5} + 0 \right) = 0.95 \leq 1.0$$

Eğer $\frac{P_r}{P_c} < 0.2$ için,

$$\frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0 \quad \text{olmalıdır.} \quad (\text{ÇYTHYE Denk. (11.1b)})$$

Tüm modellerin birleşik etkiler altında dayanımının kontrolü Tablo 3.66 ile verilmiştir.

Tablo 3.66. Tüm modellerin birleşik etkiler altında dayanımının kontrolü

	KD			KG		
Kat	$\frac{P_r}{P_c}$	Durum	Kontrol	$\frac{P_r}{P_c}$	Durum	Kontrol
1	0.61	>0.2	0.94	0.61	>0.2	0.93
2	0.63		0.92	0.63		0.92
3	0.57		0.86	0.58		0.87
4	0.53		0.79	0.53		0.79
5	0.60		0.82	0.61		0.84
6	0.48		0.65	0.48		0.64
Çatı	0.35		0.46	0.31		0.41
	BD			BG		
Kat	$\frac{P_r}{P_c}$	Durum	Kontrol	$\frac{P_r}{P_c}$	Durum	Kontrol
1	0.61	>0.2	0.94	0.61	>0.2	0.87
2	0.63		0.93	0.63		0.92
3	0.58		0.88	0.58		0.85
4	0.53		0.79	0.53		0.78
5	0.61		0.84	0.06		0.27
6	0.48		0.64	0.48		0.64
Çatı	0.32		0.42	0.30		0.39

3.4.3. Düşey Bağ Kirişli Dış Merkezi Çaprazlı Çerçevesinin Boyutlandırılması

Düşey Bağ Kirişli Dış Merkezi Çaprazlı Çerçeve Bağ Kirişi Boyutlandırılması

Her kattaki elemanlar için boyutlandırma yapılmıştır. Örnek olması amacıyla kutu kesitli beton dolgulu kompozit kolonlu çerçeveli modelde birinci kat, B-C aksları arası dışmerkez çapraz sistemi elemanlarında en elverişsiz olan düşey yükler + deprem yüklemesi 1.4142G+Q-EX için dayanım kontrolleri yapılacaktır.

Düşey sabit ve hareketli yükler ile deprem etkilerinden dolayı bağ kirişinde oluşan iç kuvvetler aşağıdaki değerleri almaktadır.

$$V_u = 919 \text{ kN}$$

Tüm modellerin iç kuvvet değerleri Tablo 3.67 ile verilmiştir.

Tablo 3.67. Tüm modellerin iç kuvvet değerleri

	KD	KG	BD	BG
Kat	V_u (kN)	V_u (kN)	V_u (kN)	V_u (kN)
Çatı	347	295	289	272
6	423	411	415	410
5	507	525	523	539
4	692	703	707	708
3	738	774	759	781
2	809	824	286	836
1	919	907	906	896

Seçilen bağ kirişi kesiti HE360B için enkesit karakteristikleri:

$$d=360\text{mm} \quad b_f = 360\text{mm} \quad t_w = 12.5 \text{ mm} \quad t_f = 22.5 \text{ mm} \quad h = \quad W_{px} = 239.9 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

Süneklik düzeyi yüksek çerçevelerin kirişleri TBDY-2018 9.8.1.1’de verilen enkesit koşulları uyarınca, kiriş enkesitinin narinlik oranlarının TBDY-2018 Tablo 9.3’te verilen koşulları gerekmektedir.

Yerel burkulma sınır durumu için kesitin sınıflandırılması

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{h}{t_w} = \frac{337.5}{12.5} = 27 \leq \lambda_{hd} = 2.45 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2.45 \times \sqrt{\frac{200000}{355}} = 58.2$$

Diğer katlardaki tüm elemanlar da sınır değerini aşmamaktadır.

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesit, genişlik/kalınlık oranı TBDY-2018 Tablo 9.3'te verilen λ_{hd} sınır değerini aşmadığından, süneklik düzeyi yüksek eleman olarak değerlendirilir.

Bağ kirişinin kapasitesi

$$\frac{P_r}{P_y} < 0.15 \text{ için} \quad V_p = 0.6 \times F_y \times A_w \quad ; \quad M_p = F_y \times W_p \quad (\text{TBDY Denk. (9.19)})$$

$$V_p = 0.6 \times 355 \times (360 - 2 \times 22.5) \times 12.5 \times 10^3 = 838.7 \text{ kN}$$

$$M_p = 355 \times 2.399 = 851.7 \text{ kNm}$$

$$V_n = \min \left(V_p, \frac{M_p}{e} \right) = \min \left(838.7, \frac{2 \times 851.7}{0.8} = 2129.1 \right) = 838.7 \text{ kN} \quad (\text{TBDY Denk. (9.18)})$$

Diğer tüm modellerin bağ kiriş kapasitesi Tablo 3.68 ile verilmektedir.

Tablo 3.68. Tüm modellerin bağ kirişi kapasitesi

	KD		KG	
Kat	V_p (kN)	M_p (kNm)	V_p (kN)	M_p (kNm)
Çatı	683.4	683.7	683.4	683.7
6	683.4	683.7	683.4	683.7
5	683.4	683.7	683.4	683.7
4	759.1	765.4	759.1	765.4
3	759.1	765.4	759.1	765.4
2	838.7	851.7	838.7	851.7
1	838.7	851.7	838.7	851.7
	BD		BG	
Kat	V_p (kN)	M_p (kNm)	V_p (kN)	M_p (kNm)
Çatı	683.4	683.7	683.4	683.7
6	683.4	683.7	683.4	683.7
5	683.4	683.7	683.4	683.7
4	759.1	765.4	759.1	765.4
3	759.1	765.4	759.1	765.4
2	838.7	851.7	838.7	851.7
1	838.7	851.7	838.7	851.7

Bağ Kirişin Kesme Kuvveti Dayanımının Kontrolü

$$V_d = \phi_v \times V_n = 0.9 \times 838.7 = 754.8 \text{ kN}$$

$$V_u = F_{xi} \times h_i \times L_b = 950.6 \times 4 \times 9 = 422.5 \text{ kN}$$

$$\frac{V_u}{V_d} = \frac{422.5}{754.8} = 0.56$$

Tablo 3.69’da tüm modellerin bağ kirişin kesme kuvveti dayanımı kontrolü verilmiştir.

Tablo 3.69. Tüm modellerin bağ kirişin kesme kuvveti dayanımı kontrolü

	KD-KG-BD-BG		
Kat	V_u (kN)	V_d (kN)	Kontrol
Çatı	91.8	615.1	0.56
6	169.9	615.1	0.47
5	235.3	615.1	0.48
4	287.9	683.2	0.42
3	327.9	683.2	0.38
2	355.2	754.8	0.28
1	422.5	754.8	0.15

Bağ kirişinin dönme açısı kontrolü

TBDY-2018 9.8.4 uyarınca, bağ kirişinin dönme açısı kontrol edilecektir. Buna göre, incelenen bağ kirişinin bulunduğu 1. Katın (x) doğrultusundaki;

$$\theta_p = \frac{R}{I} \times \frac{\Delta_i}{h_i} = \frac{8 \times 0.007928}{1 \times 4} = 0.01586$$

Görelî kat ötelenmesi açısından oluşan,

$$\gamma_p = \frac{h_i}{e} \times \theta_p = \frac{9}{0.8} \times 0.01586 = 0.07987$$

Bağ kirişi dönme açısı, bağ kirişi uzunluğunun,

$$e=0.8 \text{ m} = 1.30 \frac{M_p}{V_p} < 1.60 \frac{M_p}{V_p}$$

Değeri için;

$\gamma_p=0.07987 < 0.08$ radyan koşulunu sağlamaktadır.

Tablo 3.70 ile tüm modellerin bağ kirişinin dönme açısı kontrolü verilmiştir.

Tablo 3.70. Tüm modellerin bağ kirişinin dönme açısı kontrolü

	KD			KG		
Kat	θ_p	γ_p	Kontrol	θ_p	γ_p	Kontrol
Çatı	0.016	0.079	0.08	0.016	0.080	0.08
6	0.017	0.074	0.08	0.018	0.078	0.08
5	0.017	0.075	0.08	0.018	0.079	0.08
4	0.016	0.071	0.08	0.017	0.076	0.08
3	0.015	0.066	0.08	0.017	0.073	0.08
2	0.013	0.056	0.08	0.014	0.060	0.08
1	0.011	0.047	0.08	0.011	0.046	0.08
	BD			BG		
Kat	θ_p	γ_p	Kontrol	θ_p	γ_p	Kontrol
Çatı	0.016	0.079	0.08	0.016	0.079	0.08
6	0.017	0.077	0.08	0.018	0.079	0.08
5	0.018	0.077	0.08	0.018	0.080	0.08
4	0.017	0.073	0.08	0.018	0.077	0.08
3	0.016	0.069	0.08	0.017	0.075	0.08
2	0.013	0.056	0.08	0.014	0.060	0.08
1	0.010	0.044	0.08	0.010	0.043	0.08

Düşey Bağ Kirişli Dış Merkezi Çaprazlı Çerçeve Bağ Kirişinin Kat Kirişi Dışında Kalan Bölümünün Boyutlandırılması

TBDY-2018 9.8.6.1 uyarınca bağ kirişinin plastikleşmesine neden olan yükleme deprem etkilerinin V_p/V_E olarak tanımlanan tasarım büyütme katsayısı ile uyumlu olacak şekilde artırılması suretiyle belirlenecektir.

$$\frac{V_p}{V_u} = \frac{838.7}{919} = 0.913$$

Tüm modellerin V_p/V_E değerleri Tablo 3.71 ile verilmiştir.

Tablo 3.71. Tüm modellerin V_p/V_E değerleri

Kat	KD			KG			BD			BG		
	V_n (kN)	V_u (kN)	V_p/V_E	V_n (kN)	V_u (kN)	V_p/V_E	V_n (kN)	V_u (kN)	V_p/V_E	V_n (kN)	V_u (kN)	V_p/V_E
Çatı	683.4	347	1.97	683.4	295	2.32	683.4	295	2.36	683.4	272	2.51
6	683.4	423	1.62	683.4	411	1.66	683.4	411	1.65	683.4	410	1.67
5	683.4	507	0.14	683.4	525	1.45	683.4	525	1.31	683.4	539	1.41
4	759.1	692	0.109	759.1	703	1.08	759.1	703	1.07	759.1	708	1.08
3	759.1	738	0.103	759.1	774	1.08	759.1	774	1.01	759.1	781	1.07
2	838.7	809	0.104	838.7	824	1.02	838.7	824	1.02	838.7	836	1.01
1	838.7	919	0.91	838.7	907	0.92	838.7	907	0.93	838.7	896	0.94

TBDY-2018 9.8.6.3 uyarınca kat kirişinin bağ kirişi dışında kalan bölümünün gerekli dayanımının belirlenmesine, TBDY-2018 9.2.5'te verilen yük birleşimlerindeki deprem etkileri, bağ kirişinin plastikleşmesine neden olan yüklemenin, $1.1R_y$ katı ile büyütülecektir. Toplam büyütme katsayısı $0.913 \times 1.1 \times 1.25 = 1.25$ olarak elde edilir.

Tüm modeller için büyütme katsayısı ve kombinasyonlar Tablo 3.72 ile verilmiştir.

Tablo 3.72. Tüm modeller için büyütme katsayısı ve kombinasyonlar

KD		KG	
$1.1R_y$	Kombinasyon	$1.1R_y$	Kombinasyon
1.25	1.4142G+Q-1.25EX	1.27	1.4142G+Q-1.27EX
BD		BG	
$1.1R_y$	Kombinasyon	$1.1R_y$	Kombinasyon
1.27	1.4142G+Q-1.27EX	1.28	1.4142G+Q-1.28EX

Düşey sabit ve hareketli yükler ile arttırılmış deprem etkilerinden dolayı 1.4142G+Q-1.25EX yük birleşimi ile elde edilen bağ kirişi dışındaki kat kirişinde oluşan iç kuvvetler aşağıdaki değerleri almaktadır.

$$V_u = 135 \text{ kN} \quad M_u = 206 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad P_u = 575 \text{ kN}$$

Tüm modellerin iç kuvvet değerleri Tablo 3.73'te verilmiştir.

Tablo 3.73. Tüm modellerin iç kuvvet değerleri

	KD			KG		
Kat	M_u (kNm)	V_u (kN)	P_u (kN)	M_u (kNm)	V_u (kN)	P_u (kN)
1	206	135	575	158	119	454
2	198	133	506	160	120	412
3	156	53	461	152	116	387
4	147	50	432	143	113	352
5	91	31	317	130	108	263
6	77	26	265	115	102	206
Çatı	63	22	217	87	78	147
Kat	BD			BG		
1	M_u (kNm)	V_u (kN)	P_u (kN)	M_u (kNm)	V_u (kN)	P_u (kN)
2	204	135	576	195	132	574
3	203	134	525	200	133	535
4	182	127	482	185	128	500
5	173	124	449	171	124	454
6	153	117	332	155	118	345
Çatı	133	109	264	132	108	263
	101	84	183	94	81	174

Yerel burkulma sınır durumu için kesitin sınıflandırılması

Bağ kirişi için yapılan tahkikler bağ kirişi dışında kalan kat kirişi için de geçerlidir. Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesit, genişlik/kalınlık oranı TBDY-2018 Tablo 9.3'te verilen λ_{hd} sınır değerini aşmadığından, süneklik düzeyi yüksek eleman olarak değerlendirilir.

Kirişin karakteristik basınç dayanımının belirlenmesi

TBDY-2018 9.8.3.1 uyarınca bağ kirişinin üst ve alt başlıkları kirişin iki ucunda yanal doğrultuda desteklenecektir. Bu destekler gözönüne alınınca kat kirişinin desteklenmeyen uzunluğu 4500 mm olarak elde edilir.

$K_y=1.0$ ile hesaplanan burkulma boyu aşağıdaki değerleri almaktadır.

$$L_{cy}=1.0 \times 4500 = 4500 \text{ mm}$$

Yerel burkulma sınır durumu için kesitin sınıflandırılması

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{h}{t_w} = \frac{337.5}{12.5} = 27 \leq \lambda_r = 1.49 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.49 \times \sqrt{\frac{200000}{355}} = 35.4$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesit, genişlik/kalınlık oranı TBDY-2018 Tablo 5.1A'a verilen λ_r sınır değerini aşmadığından, narin olmayan enkesit olarak değerlendirilir. Tüm modellerde kesitler aynı olduğundan onlarda yeterlidir. Maksimum kesit yeterli olduğundan diğerleri burada belirtilmemiştir.

ÇYTHYE-2018 8.2.1 uyarınca, elemanın eksenel basınç kuvveti dayanımını, x ve y asal eksenleri etrafında eğilmeli burkulma sınır durumları esas alınarak hesaplanan dayanımlarının küçüğü belirleyecektir.

Narinlik oranı:

$$\left(\frac{L_{cx}}{i_x}\right) = \frac{4500}{154.5} = 29.13 \quad ; \quad \left(\frac{L_{cy}}{i_y}\right) = \frac{4500}{74.8} = 60.16$$

Bu doğrultuda y asal eksen etrafında eğilmeli burkulma sınır durumları esas alınarak dayanımlar hesaplanacaktır.

ÇYTHYE-2018 8.1.1 uyarınca, narinlik oranları $L_c/i < 200$ koşulu sağlamaktadır.

Eğilmeli burkulma sınır durumunda karakteristik basınç kuvveti dayanımı, P_n

$\left(\frac{L_c}{i}\right)_{maks} = \max(29.13; 60.16) = 60.16$ olduğundan, elemanın eksenel basınç kuvveti dayanımını, y asal ekseninde eğilmeli burkulma sınır durumu belirlenecektir.

Eğilmeli burkulma sınır durumunda kritik burkulma gerilmesi, F_{cr} , için elastik burkulma gerilmesi, F_e

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_c}{i}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 200000}{60.16^2} = 544.8 \text{ MPa}$$

ÇYTHYE-2018 8.2 uyarınca;

$$60.16 < 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 111.8 \text{ olduğundan,}$$

$$F_{cr} = (0.658^{\frac{F_y}{F_e}}) \times F_y = \left(0.658^{\frac{355}{544.8}}\right) \times 355 = 186.7 \text{ MPa}$$

Karakteristik basınç kuvveti dayanımı, P_n

$$P_n = F_{cr} \times A_g = 186.7 \times 16.1 = 3006.6 \text{ kN} \quad (\text{ÇYTHYE Denk. (8.2)})$$

Kirişin tasarım basınç kuvveti

$$P_c = \phi_c \times P_n = 0.9 \times 3006.6 = 2705.94 \text{ kN}$$

Tüm modellerin karakteristik basınç dayanımları Tablo 3.74 ile verilmiştir.

Tablo 3.74. Tüm modellerin karakteristik basınç dayanımları

	<i>KD-KG-BD-BG</i>			
Kat	F_e (MPa)	F_{cr} (MPa)	P_n (kN)	P_c (kN)
1	544.8	186.7	3006.6	2705.9
2	552.1	185.1	3165.9	2849.4
3	552.1	185.1	3165.9	2849.4
4	552.1	185.1	3165.9	2849.4
5	559.5	183.5	3322.1	2989.9
6	559.5	183.5	3322.1	2989.9
Çatı	559.5	183.5	3322.1	2989.9

Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

Yerel burkulma sınırı durumu için kesitin sınıflandırılması

ÇYTHYE-2018 5.4 uyarınca;

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{h}{t_w} = \frac{337.5}{12.5} = 27 \leq \lambda_p = 3.76 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3.76 \times \sqrt{\frac{200000}{355}} = 89.3$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesit, genişlik/kalınlık oranı TBDY-2018 Tablo 5.1B’de verilen λ_p sınır değerini aşmadığından, kompakt olarak değerlendirilir. Tüm modellerde kesitler aynı olduğundan onlarda yeterlidir. Maksimum kesit yeterli olduğundan diğerleri burada belirtilmemiştir. Bu durumda, kuvvetli asal eksen etrafında eğilme etkisindeki, çift simetri eksenli I-kesitli elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n , ÇYTHYE-2018 9.2 uyarınca belirlenecektir.

Akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n

$$M_n = M_p = F_y \times W_{px} = 355 \times 2.683 = 952.47 \text{ kNm}$$

Yanal burulmalı burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı

Kiriş alt başlığı kolona birleşen noktada ve bağ kirişi ucunda yanal olarak desteklendiğinden, $L_b = 4500 \text{ mm}$ olarak belirlenir.

$$L_p = 1.76 \times i_y \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76 \times 74.8 \times \sqrt{\frac{200000}{355}} = 3124.74 \text{ mm} \quad (\text{ÇYTHYE Denk. (9.6a)})$$

$$c = 1.0 \quad (\text{ÇYTHYE Denk. (9.7a)})$$

$$i_{ts} = \frac{b_f}{\sqrt{12(1 + \frac{1}{6} \frac{h x t_w}{b_f x t_f})}} = \frac{360}{\sqrt{12(1 + \frac{1}{6} \frac{261 \times 12.5}{360 \times 22.5})}} = 28.6 \text{ mm} \quad (\text{ÇYTHYE Denk. (9.8b)})$$

$$h_o = d - t_f = 360 - 22.5 = 337.5 \text{ mm}$$

Değerleri ile elastik olmayan yanal burulmada sınır uzunluk, L_r

$$L_r = 1.95 \times i_{ts} \times \frac{E}{0.7 \times F_y} \sqrt{\frac{J_c}{W_{ex} h_o}} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{W_{ex} h_o}\right)^2 + 6.76 \left(\frac{0.7 \times F_y}{E}\right)^2} \quad (\text{ÇYTHYE Denk. (9.6b)})$$

$$L_r = 1.95 \times 28.6 \times \frac{200000}{0.7 \times 355} \sqrt{\frac{J_c}{W_{ex} h_o}} + \sqrt{\left(\frac{J_c 29.8 \times 10^4 \times 1.0}{239.9 \times 10^3 \times 337.5} \right)^2 + 6.76 \left(\frac{0.7 \times 355}{200000} \right)^2} = 11071.6 \text{ mm}$$

$$L_p = 3124.74 \text{ mm} < L_b = 4500 \text{ mm} < L_r = 11071.6 \text{ mm} \text{ olduğundan,}$$

Karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n ÇYTHYE-2018 9.2 (b) uyarınca hesaplanacaktır.

Moment düzeltme katsayısı, C_b

Analiz sonuçlarına göre eğilme momenti kiriş uçlarında maksimum değerden sıfıra doğrusal olarak azalan bir değişim gösterdiğinden $C_b = 1.67$ kullanılmalıdır.

$$M_n = C_b \times \left[M_p - (M_p - 0.7 \times F_y \times W_{ex}) \times \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (\text{ÇYTHYE Denk. (9.3)})$$

$$M_n = 1.67 \times \left[952.47 - (952.47 - 0.7 \times 355 \times 239.9 \times 10^{-3}) \times \left(\frac{4500 - 3124.74}{11071.6 - 3124.74} \right) \right]$$

$$M_n = 1329.92 > 952.47 \text{ kNm}$$

$$M_n = 952.47 \text{ kNm}$$

Kirişin tasarım eğilme momenti dayanımı

$$M_{cx} = \phi_b \times M_n = 0.9 \times 952.47 = 857.22 \text{ kNm}$$

Tüm modellerin eğilme momenti dayanımı Tablo 3.75 ile verilmiştir.

Tablo 3.75. Tüm modellerin eğilme momenti dayanımı

	KD-KG-BD-BG	
Kat	$M_n (kNm)$	$M_{cx} (kNm)$
1	952.5	857.2
2	952.5	857.2
3	854.8	769.4
4	854.8	769.4
5	762.9	686.6
6	762.9	686.6
Çatı	762.9	686.6

Kiriş birleşik etkiler altında dayanımının kontrolü

ÇYTHYE-2018 11.1 uyarınca;

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{575}{2705.94} = 0.22 > 0.2 \text{ olduğundan,}$$

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \chi \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0 \quad (\text{ÇYTHYE Denk. (11.1a)})$$

$$\frac{575}{2705.94} + \frac{8}{9} \chi \left(\frac{206}{857.22} + 0 \right) = 0.43 \leq 1.0$$

Eğer $\frac{P_r}{P_c} < 0.2$ için,

$$\frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0 \text{ olmalıdır.} \quad (\text{ÇYTHYE Denk. (11.1b)})$$

Tüm modellerin birleşik etkiler altında dayanımının kontrolü Tablo 3.76 ile verilmiştir.

Tablo 3.76. Tüm modellerin birleşik etkiler altında dayanımının kontrolü

	KD			KG		
Kat	$\frac{P_r}{P_c}$	Durum	Kontrol	$\frac{P_r}{P_c}$	Durum	Kontrol
1	0.21	>0.2	0.43	0.17	<0.2	0.33
2	0.18	<0.2	0.32	0.14	<0.2	0.31
3	0.16	<0.2	0.28	0.14	<0.2	0.31
4	0.15	<0.2	0.27	0.12	<0.2	0.29
5	0.11	<0.2	0.19	0.09	<0.2	0.23
6	0.09	<0.2	0.16	0.07	<0.2	0.20
Çatı	0.07	<0.2	0.13	0.05	<0.2	0.15
	BD			BG		
Kat	$\frac{P_r}{P_c}$	Durum	Kontrol	$\frac{P_r}{P_c}$	Durum	Kontrol
1	0.21	>0.2	0.42	0.21	>0.2	0.41
2	0.18	<0.2	0.33	0.19	<0.2	0.33
3	0.17	<0.2	0.32	0.18	<0.2	0.33
4	0.16	<0.2	0.30	0.16	<0.2	0.30
5	0.11	<0.2	0.28	0.12	<0.2	0.28
6	0.09	<0.2	0.24	0.09	<0.2	0.24
Çatı	0.06	<0.2	0.18	0.06	<0.2	0.17

Kirişin karakteristik kesme kuvveti dayanımının belirlenmesi

Çift simetri eksenli I-enkesitte ÇYTHYE-2018 10.2.1.(a) uyarınca;

$$\frac{h}{t_w} = \frac{261}{12.5} = 20.9 \leq 2.24 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2.24 \times \sqrt{\frac{200000}{355}} = 53.2 \text{ olduğundan,}$$

$\phi_v=1.0$ ve $C_{v1}=1.0$ alınacaktır. Tüm modellerde kesitler aynı olduğundan burada diğer kesitler için verilere gerek duyulmamıştır.

Karakteristik kesme kuvveti dayanımı, V_n ,

ÇYTHYE-2018 10.2 uyarınca;

$$V_n = 0.6 \times F_y \times A_w \times C_{v1} = 0.6 \times 355 \times 360 \times 12.5 \times 1.0 \times 10^{-3} = 958.5 \text{ kN} \quad (\text{ÇYTHYE Denk. (10.1)})$$

Kirişin tasarım kesme kuvveti dayanımının kontrolü

$$V_d = \phi_v \times V_n = 1.0 \times 958.5 = 958.5 \text{ kN}$$

$$\frac{V_u}{V_d} = \frac{135}{958.5} = 0.14$$

Tüm modellerin kesme kuvveti dayanımının kontrolü Tablo 3.77 ile verilmiştir.

Tablo 3.77. Tüm modellerin kesme kuvveti dayanımının kontrolü

	KD			KG			BD			BG		
Kat	V_u (kN)	$V_n=V_d$ (kN)	V_u/V_d	V_u (kN)	$V_n=V_d$ (kN)	V_u/V_d	V_u (kN)	$V_n=V_d$ (kN)	V_u/V_d	V_u (kN)	$V_n=V_d$ (kN)	V_u/V_d
1	135	958.5	0.14	119	958.5	0.12	135	958.5	0.14	132	958.5	0.14
2	133	958.5	0.14	120	958.5	0.13	134	958.5	0.14	133	958.5	0.14
3	53	869.04	0.06	116	869.04	0.13	127	869.04	0.15	128	869.04	0.15
4	50	869.04	0.06	113	869.04	0.13	124	869.04	0.14	124	869.04	0.14
5	31	783.84	0.04	108	783.84	0.14	117	783.84	0.15	118	783.84	0.15
6	26	783.84	0.03	102	783.84	0.13	109	783.84	0.14	108	783.84	0.14
Çatı	22	783.84	0.03	78	783.84	0.10	84	783.84	0.11	81	783.84	0.10

Düşey Bağ Kirişli Dışmerkez Çaprazlı Çerçeve Çaprazlarının Boyutlandırılması

Her kattaki elemanlar için boyutlandırma yapılmıştır. Örnek olması amacıyla kutu kesitli beton dolgulu kompozit kolonlu çerçeveli modelde birinci kat, B-C aksları arası dışmerkez çapraz sisteminde dayanım kontrolleri yapılacaktır.

TBDY-2018 9.8.6.2 uyarınca çaprazların gerekli dayanımlarının belirlenmesinde, TBDY-2018 9.2.5'te verilen yük birleşimlerindeki deprem etkileri, bağ kirişinin plastikleşmesine neden olan yüklemenin $1.25R_y$ katı ile büyütülecektir.

1.4142G+Q-1.25EX yük birleşimi ile elde edilen çapraz elemanı iç kuvvetleri aşağıdaki değerleri almaktadır.

$$V_u = 0 \quad M_u = 194 \text{ kNm} \quad P_u = 1066 \text{ kN (basınç)}$$

Tüm modellerin iç kuvvetleri Tablo 3.78 ile verilmiştir.

Tablo 3.78. Tüm modellerin iç kuvvetleri

	KD		KG		BD		BG	
Kat	$M_u (kNm)$	$P_u (kN)$	$M_u (kNm)$	$P_u (kN)$	$M_u (kNm)$	$P_u (kN)$	$M_u (kNm)$	$P_u (kN)$
1	194	1066	154	808	193	962	192	964
2	158	992	130	746	164	880	167	896
3	156	937	130	715	162	830	167	854
4	147	871	120	670	152	788	153	796
5	91	714	76	557	95	640	98	657
6	77	602	61	486	77	556	77	556
Çatı	63	422	44	362	58	407	51	394

Seçilen çapraz kesiti HE300B için enkesit karakteristikleri:

$$d=300\text{mm} \quad b_f=300\text{mm} \quad t_w=11 \text{ mm} \quad t_f=19 \text{ mm} \quad h=208 \text{ mm} \quad W_{px}=189.7 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{ex}=167.8 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

Süneklik düzeyi yüksek çerçevelerin kirişleri TBDY-2018 9.8.1.1'de verilen enkesit koşulları uyarınca, kiriş enkesitinin narinlik oranlarının TBDY-2018 Tablo 9.3'te verilen koşulları gerekmektedir.

Yerel burkulma sınır durumu için kesitin sınıflandırılması

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesit, genişlik/kalınlık oranı TBDY-2018 Tablo 9.3'te verilen λ_{hd} sınır değerini aşmadığından, süneklik düzeyi yüksek eleman olarak

değerlendirilir. Tüm modellerde kesitler aynı olduğundan burada diğer kesitler için verilere gerek duyulmamıştır.

Çaprazın karakteristik basınç dayanımının belirlenmesi

$K_x = K_y = 1.0$ ile hesaplanan burkulma boyu aşağıdaki değerleri almaktadır.

$$L_{cx} = L_{cy} = 1.0 \times 5660 = 5660 \text{ mm}$$

(Tüm modellerde birinci katın çaprazının uzunluğu 5660 mm, diğer katlarda 5320 mm'dir.)

Yerel burkulma sınır durumu için kesitin sınıflandırılması

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{h}{t_w} = \frac{281}{11} = 25.5 \leq \lambda_r = 1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.49 \sqrt{\frac{2 \times 10^3}{275}} = 40.2$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesit, genişlik/kalınlık oranı TBDY-2018 Tablo 9.3'te verilen λ_r sınır değerini aşmadığından, narin olmayan enkesit olarak değerlendirilir. Tüm modellerde kesitler aynı olduğundan burada diğer kesitler için verilere gerek duyulmamıştır.

ÇYTHYE-2018 8.2.1 uyarınca, elemanın eksenel basınç kuvveti dayanımını, x ve y asal eksenleri etrafında eğilmeli burkulma sınır durumları esas alınarak hesaplanan dayanımlarının küçüğü belirleyecektir.

Narinlik oranı:

$$\left(\frac{L_{cx}}{i_x} = \frac{5660}{130} = 43.5 \right) ; \quad \left(\frac{L_{cy}}{i_y} = \frac{5660}{75.8} = 74.7 \right)$$

Bu doğrultuda y asal eksen etrafında eğilmeli burkulma sınır durumları esas alınarak dayanımlar hesaplanacaktır.

ÇYTHYE-2018 8.1.1 uyarınca, narinlik oranları $L_c/i < 200$ koşulu sağlamaktadır.

Eğilmeli burkulma sınır durumunda karakteristik basınç kuvveti dayanımı, P_n

$\left(\frac{L_c}{i} \right)_{maks} = \max(43.5; 74.7) = 74.7$ olduğundan, elemanın eksenel basınç kuvveti dayanımını, y asal ekseninde eğilmeli burkulma sınır durumu belirlenecektir.

Eğilmeli burkulma sınır durumunda kritik burkulma gerilmesi, F_{cr} , için elastik burkulma gerilmesi F_e

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_c}{i}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 200000}{74.7^2} = 353.7 \text{ MPa}$$

ÇYTHYE-2018 8.2 uyarınca;

$$74.7 < 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 127.1 \text{ olduğundan,}$$

$$F_{cr} = (0.658^{\frac{F_y}{F_e}}) \times F_y = ((0.658^{\frac{275}{353.7}}) \times 275 = 233.2 \text{ MPa}$$

Karakteristik basınç kuvveti dayanımı, P_n

$$P_n = F_{cr} \times A_g = 233.2 \times 14.9 = 3475.1 \text{ kN}$$

(ÇYTHYE Denk. (8.2))

Kirişin tasarım basınç kuvveti

$$P_c = \phi_c \times P_n = 0.9 \times 3475.1 = 3127.5 \text{ kN}$$

Tüm modellerin karakteristik basınç dayanımları Tablo 3.79 ile verilmiştir.

Tablo 3.79. Tüm modellerin karakteristik basınç dayanımları

	<i>KD-KG-BD-BG</i>			
Kat	$F_e(\text{MPa})$	$F_{cr}(\text{MPa})$	$P_n(\text{kN})$	$P_c(\text{kN})$
1	353.7	233.2	3475.01	3127.51
2	351.2	232.5	3046.29	2741.66
3	351.2	232.5	3046.29	2741.66
4	351.2	232.5	3046.29	2741.66
5	257.6	199.4	2113.43	1902.09
6	257.6	199.4	2113.43	1902.09
Çatı	257.6	199.4	2113.43	1902.09

Çaprazın karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

Yerel burkulma sınırı durumu için kesitin sınıflandırılması

ÇYTHYE-2018 5.4 uyarınca;

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{h}{t_w} = \frac{281}{11} = 25.5 \leq \lambda_p = 3.76 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3.76 \times \sqrt{\frac{200000}{355}} = 89.3$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesit, genişlik/kalınlık oranı TBDY-2018 Tablo 5.1B’de verilen λ_p sınır değerini aşmadığından, kompakt olarak değerlendirilir. Bu durumda, kuvvetli asal eksen etrafında eğilme etkisindeki, çift simetri eksenli I-kesitli elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n , ÇYTHYE-2018 9.2 uyarınca belirlenecektir. Tüm modellerde kesitler aynı olduğundan burada diğer kesitler için verilere gerek duyulmamıştır.

Akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n

$$M_n = M_p = F_y \times W_{px} = 275 \times 1.897 = 521.6 \text{ kNm}$$

Yanal burulmalı burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı

Çaprazın desteklenmeyen boyu $L_b = 5660 \text{ mm}$ olarak belirlenir.

$$L_p = 1.76 \times i_y \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76 \times 75.8 \times \sqrt{\frac{200000}{275}} = 3597.7 \text{ mm} \quad (\text{ÇYTHYE Denk. (9.6a)})$$

$$c = 1.0 \quad (\text{ÇYTHYE Denk. (9.7a)})$$

$$i_{ts} = \frac{b_f}{\sqrt{12(1 + \frac{1}{6} \frac{h \times t_w}{b \times t_f})}} = \frac{300}{\sqrt{12(1 + \frac{1}{6} \frac{208 \times 11}{300 \times 19})}} = 23.8 \text{ mm} \quad (\text{ÇYTHYE Denk. (9.8b)})$$

$$h_o = d - t_f = 300 - 19 = 281 \text{ mm}$$

Değerleri ile elastik olmayan yanal burulmada sınır uzunluk, L_r

$$L_r = 1.95 \times i_{ts} \times \frac{E}{0.7 \times F_y} \sqrt{\frac{J_c}{W_{ex} h_o}} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{W_{ex} h_o}\right)^2 + 6.76 \left(\frac{0.7 \times F_y}{E}\right)^2} \quad (\text{ÇYTHYE Denk. (9.6b)})$$

$$L_r = 1.95 \times 23.8 \times \frac{200000}{0.7 \times 275} \sqrt{\frac{J_c}{W_{ex} h_o}} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{W_{ex} h_o}\right)^2 + 6.76 \left(\frac{0.7 \times 275}{200000}\right)^2} = 12166.1 \text{ mm}$$

$L_p = 3597.7 \text{ mm} < L_b = 5660 \text{ mm} < L_r = 12166.1 \text{ mm}$ olduğundan, karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n ÇYTHYE-2018 9.2 (b) uyarınca hesaplanacaktır.

Moment düzeltme katsayısı, C_b

Analiz sonuçlarına göre eğilme momenti giriş uçlarında maksimum değerden sıfıra doğrusal olarak azalan bir değişim gösterdiğinden $C_b=1.67$ kullanılmalıdır.

$$M_n = C_b \times \left[M_p - (M_p - 0.7 \times F_y \times W_{ex}) \times \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (\text{ÇYTHYE Denk. (9.3)})$$

$$M_n = 1.67 \times \left[521.6 - (521.6 - 0.7 \times 275 \times 167.8 \times 10^{-3}) \times \left(\frac{5660 - 3597.7}{12166.1 - 3597.7} \right) \right]$$

$$M_n = 673.12 > 521.6 \text{ kNm}$$

$$M_n = 521.6 \text{ kNm}$$

Çaprazın tasarım eğilme momenti dayanımı

$$M_{cx} = \phi_b \times M_n = 0.9 \times 521.6 = 469.5 \text{ kNm}$$

Tüm modellerin eğilme momenti dayanımı Tablo 3.80 ile verilmiştir.

Tablo 3.80. Tüm modellerin eğilme momenti dayanımı

	KD-KG-BD-BG	
Kat	$M_n(kNm)$	$M_{cx}(kNm)$
1	521.6	469.5
2	421.9	379.7
3	421.9	379.7
4	421.9	379.7
5	289.6	260.6
6	289.6	260.6
Çatı	289.6	260.6

Çaprazın birleşik etkiler altında dayanımının kontrolü

ÇYTHYE-2018 11.1 uyarınca;

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{1066}{3127.5} = 0.34 > 0.2 \text{ olduğundan,}$$

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \chi \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0 \quad (\text{ÇYTHYE Denk. (11.1a)})$$

$$\frac{1066}{3127.5} + \frac{8}{9} \chi \left(\frac{194}{469.5} + 0 \right) = 0.71 \leq 1.0$$

Eğer $\frac{P_r}{P_c} < 0.2$ için,

$$\frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0 \text{ olmalıdır.} \quad (\text{ÇYTHYE Denk. (11.1b)})$$

Tüm modellerin birleşik etkiler altında dayanımının kontrolü Tablo 3.81 ile verilmiştir.

Tablo 3.81. Tüm modellerin birleşik etkiler altında dayanımının kontrolü

	KD			KG		
Kat	$\frac{P_r}{P_c}$	Durum	Kontrol	$\frac{P_r}{P_c}$	Durum	Kontrol
1	0.34	>0.2	0.71	0.26	>0.2	0.55
2	0.36	>0.2	0.73	0.27	>0.2	0.58
3	0.34	>0.2	0.71	0.26	>0.2	0.57
4	0.32	>0.2	0.66	0.24	>0.2	0.53
5	0.38	>0.2	0.69	0.29	>0.2	0.55
6	0.32	>0.2	0.58	0.26	>0.2	0.46
Çatı	0.22	>0.2	0.44	0.19	>0.2	0.34
	BD			BG		
Kat	$\frac{P_r}{P_c}$	Durum	Kontrol	$\frac{P_r}{P_c}$	Durum	Kontrol
1	0.31	>0.2	0.67	0.31	>0.2	0.67
2	0.32	>0.2	0.70	0.33	>0.2	0.72
3	0.30	>0.2	0.68	0.31	>0.2	0.70
4	0.29	>0.2	0.64	0.29	>0.2	0.65
5	0.34	>0.2	0.66	0.35	>0.2	0.68
6	0.29	>0.2	0.55	0.29	>0.2	0.55
Çatı	0.21	>0.2	0.41	0.21	>0.2	0.38

3.4.4. Kompozit Kolonların Boyutlandırılması

Yönetmelik 12.3.2.1 (b) uyarınca beton dolgulu kompozit elemanlar yerel burkulma sınır durumu açısından Bölüm 12.2.4'e uygun olarak sınıflandırılmalıdır.

Yönetmelik 12.2.4 uyarınca basınç etkisindeki çelik enkesit parçası veya parçalarının tümünün genişlik (çap)/kalınlık oranları Tablo 12.1A'da verilen λ_p sınır değerini aşmayan kompozit kesitler kompakt olarak adlandırılır.

Yönetmelik Tablo 12.1A'ya göre;

Genişlik/Kalınlık oranı:

Kutu kesitli beton dolgulu kompozit kolon:

$$\frac{b}{t} = \frac{800}{40} = 20 \leq \lambda_p = 2.26 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2.26 \times \sqrt{\frac{200000}{355}} = 53.6$$

Kutu kesitli çelik gömme kompozit kolon:

$$\frac{b}{t} = \frac{800}{40} = 20 \leq \lambda_p = 2.26 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2.26 \times \sqrt{\frac{200000}{355}} = 53.6$$

Boru kesitli beton dolgulu kompozit kolon:

$$\frac{D}{t} = \frac{640}{35} = 18.3 \leq \lambda_p = 0.15 \times \frac{E}{F_y} = 0.15 \times \frac{200000}{355} = 84.5$$

Boru kesitli çelik gömme kompozit kolon:

$$\frac{D}{t} = \frac{640}{40} = 16 \leq \lambda_p = 0.15 \times \frac{E}{F_y} = 0.15 \times \frac{200000}{355} = 84.5$$

λ_p Sınırı genişlik/kalınlık oranından büyük olduğu için olduğundan kolon kesitleri kompaktır.

Yönetmelik 12.3.2.1 (a) uyarınca yapısal çelik enkesit alanı, toplam kompozit enkesit alanının en az %1'i kadar olmalıdır.

Kutu kesitli beton dolgulu kompozit kolon:

$$A_s = 896 \text{ cm}^2$$

$$A_g = 3200 \text{ cm}^2$$

$$\frac{A_s}{A_g} = \frac{896}{3200} = 0.28 > 0.01 \checkmark$$

Kutu kesitli çelik gömme kompozit kolon:

$$A_s = 155.32 \text{ cm}^2$$

$$A_g = 3200 \text{ cm}^2$$

$$\frac{A_s}{A_g} = \frac{155.32}{3200} = 0.05 > 0.01 \checkmark$$

Boru kesitli beton dolgulu kompozit kolon:

$$A_s = 664.9 \text{ cm}^2$$

$$A_g = 3215.4 \text{ cm}^2$$

$$\frac{A_s}{A_g} = \frac{664.9}{3215.4} = 0.21 > 0.01 \checkmark$$

Boru kesitli çelik gömme kompozit kolon:

$$A_s = 123.92 \text{ cm}^2$$

$$A_g = 3215.4 \text{ cm}^2$$

$$\frac{A_s}{A_g} = \frac{123.92}{3215.4} = 0.04 > 0.01 \checkmark$$

Yönetmelik 12.3.1.1 (c) uyarınca boyuna donatı oranı, p_{sr} 'ın minimum değeri 0.004 olmalıdır.

Kutu kesitli çelik gömme kompozit kolon:

$$A_{sr} = 56.52 \text{ cm}^2$$

$$A_g = 3200 \text{ cm}^2$$

$$\frac{A_{sr}}{A_g} = \frac{56.52}{3200} = 0.018 > 0.004 \checkmark$$

Boru kesitli çelik gömme kompozit kolon:

$$A_{sr} = 25.12 \text{ cm}^2$$

$$A_g = 3215.4 \text{ cm}^2$$

$$\frac{A_{sr}}{A_g} = \frac{25.12}{3215.4} = 0.008 > 0.004 \checkmark$$

Kolonun Kesme Kuvveti Dayanımının Belirlenmesi

Yönetmelik 12.5.1 uyarınca beton dolgulu ve çelik gömme kompozit elemanların tasarım kesme kuvveti dayanımı, $\phi_v x V_n$, (YDKT) sadece çelik kesitin Bölüm 10'a göre belirlenen mevcut kesme kuvveti dayanımı Denklem 3.19 ile hesaplanacaktır.

$$V_n = \frac{F_{cr} x A_g}{2} \quad (3.19)$$

Yönetmelik 10.5 uyarınca kayma etkisinde burkulma sınır durumu için kritik gerilme F_{cr} , aşağıda bulunan Denklem 3.20 ve 3.21 ile hesaplanan kritik gerilmelerin büyüğü olarak alınacaktır.

$$F_{cr,1} = \frac{1.6E}{\sqrt{\frac{L_v}{D} x \left(\frac{D}{t}\right)^{5/4}}} \leq 0.6 x F_y \quad (3.20)$$

$$F_{cr,2} = \frac{0.78E}{\left(\frac{D}{t}\right)^{3/2}} \leq 0.6 x F_y$$

(3.21)

Yönetmelik 10.1 uyarınca tasarım kesme kuvveti dayanımı, $\phi_v x V_n$ ile belirlenir. Burada verilen güvenlik katsayısı, $\phi_v = 0.90$ (YDKT)'dir.

$L_v = L / 2 = 4000 / 2 = 2000$ mm (zemin kat) ve $L_v = L / 2 = 3500 / 2 = 1750$ mm (diğer katlar) (momentin maksimum olduğu yerde kesme kuvveti sıfırdır.) Yönetmelik 10.5 uyarınca t , tasarım et kalınlığı Bölüm 5.4.2'ye göre belirlenecektir. Yönetmelik 5.4.2 uyarınca boru ve kutu enkesitli elemanların kesit hesaplarında tasarım et kalınlığı gözönüne alınır.

Kutu kesitli çelik gömme ve beton dolgulu kompozit kolonlu modeller için;

Zemin kat:

$$F_{cr,1} = 1513.2 \text{ kN}$$

$$F_{cr,2} = 1744.1 \text{ kN olarak bulunmuştur.}$$

$$0.6 x F_y = 0.6 x 355 = 213 \text{ kN} < (F_{cr,1}, F_{cr,2}) \text{ olduğundan } F_{cr} = 213 \text{ kN alınır.}$$

$$V_n = \frac{F_{cr} x A_g}{2} = V_n = \frac{213 x 40 x 80}{2} = 34080 \text{ kN}$$

$$\phi_v x V_n = 0.9 x 34080 = 30672 \text{ kN}$$

Diğer katlar:

$$F_{cr,1}=1617.7 \text{ kN}$$

$$F_{cr,2}=1744.1 \text{ kN olarak bulunmuştur.}$$

$$0.6x F_y=0.6x355=213 \text{ kN} < (F_{cr,1}, F_{cr,2}) \text{ olduğundan } F_{cr}=213 \text{ kN alınır.}$$

$$V_n = \frac{F_{cr} x A_g}{2} = V_n = \frac{213 x 40 x 80}{2} = 34080 \text{ kN}$$

$$\phi_v x V_n = 0.9 x 34080 = 30672 \text{ kN}$$

En elverişsiz yük birleşimi sonucu oluşan gerekli kesme kuvveti V_r okunmuştur ve her kat için kontrol sağlanmıştır. Tablo 3.82 ve 3.83 ile sonuçlar verilmiştir.

Tablo 3.82. Kutu kesitli beton dolgu kolonlu modellerin kesme dayanımı kontrolü

Kat	MÇÇ		DÇÇ		YDÇÇ		Durum
	$V_r(\text{kN})$	$V_r/(\phi_v x V_n)$	$V_r(\text{kN})$	$V_r/(\phi_v x V_n)$	$V_r(\text{kN})$	$V_r/(\phi_v x V_n)$	
Çatı	27.91	0.0009	81.55	0.0095	62.1	0.0072	✓
6	1.95	0.0001	13.63	0.0016	4.1	0.0005	
5	13.41	0.0004	37.86	0.0044	36.6	0.0043	
4	2.45	0.0001	9.94	0.0012	2.48	0.0002	
3	14.38	0.0005	11.8	0.0014	26.44	0.0031	
2	1.66	0.0001	45.38	0.0053	28.11	0.0033	
1	3.11	0.0001	32.43	0.0038	23.8	0.0028	

Tablo 3.83. Kutu kesitli çelik gömme kolonlu modellerin kesme dayanımı kontrolü

Kat	MÇÇ		DÇÇ		YDÇÇ		Durum
	$V_r(\text{kN})$	$V_r/(\phi_v x V_n)$	$V_r(\text{kN})$	$V_r/(\phi_v x V_n)$	$V_r(\text{kN})$	$V_r/(\phi_v x V_n)$	
Çatı	22.43	0.0007	36.22	0.024	67.35	0.045	✓
6	4.86	0.0002	11.23	0.008	2.32	0.001	
5	13.72	0.0004	19.33	0.013	55.66	0.037	
4	1.92	0.0001	3.14	0.002	12.31	0.008	
3	15.03	0.0005	4.10	0.003	25.88	0.017	
2	1.29	0.0001	24.64	0.017	40.43	0.027	
1	11.8	0.0004	22.78	0.015	36.74	0.025	

Boru kesitli çelik gömme ve beton dolgulu kompozit kolonlu modeller için;

Zemin kat:

$$F_{cr,1}=1513.9 \text{ kN}$$

$F_{cr,2}=1995.1 \text{ kN}$ olarak bulunmuştur.

$0.6 \times F_y = 0.6 \times 355 = 213 \text{ kN} < (F_{cr,1}, F_{cr,2})$ olduğundan $F_{cr}=213 \text{ kN}$ alınır.

$$V_n = \frac{F_{cr} \times A_g}{2} = V_n = \frac{213 \times 32^2 \times \pi}{2} = 34243.6 \text{ kN}$$

$$\phi_v \times V_n = 0.9 \times 34243.6 = 30819.2 \text{ kN}$$

Diğer katlar:

$$F_{cr,1}=1618.4 \text{ kN}$$

$F_{cr,2}=1744.1 \text{ kN}$ olarak bulunmuştur.

$0.6 \times F_y = 0.6 \times 355 = 213 \text{ kN} < (F_{cr,1}, F_{cr,2})$ olduğundan $F_{cr}=213 \text{ kN}$ alınır.

$$V_n = \frac{F_{cr} \times A_g}{2} = V_n = \frac{213 \times 32^2 \times \pi}{2} = 34243.6 \text{ kN}$$

$$\phi_v \times V_n = 0.9 \times 34243.6 = 30819.2 \text{ kN}$$

En elverişsiz yük birleşimi sonucu oluşan gerekli kesme kuvveti V_r okunmuştur ve her kat için kontrol sağlanmıştır. Tablo 3.84 ve 3.85 ile sonuçlar verilmiştir.

Tablo 3.84. Boru kesitli beton dolgulu kolonlu modellerin kesme dayanımı kontrolü

	MÇÇ		DÇÇ		YDÇÇ		Durum
Kat	$V_r(\text{kN})$	$V_r/(\phi_v \times V_n)$	$V_r(\text{kN})$	$V_r/(\phi_v \times V_n)$	$V_r(\text{kN})$	$V_r/(\phi_v \times V_n)$	
Çatı	28.84	0.0009	45.5	0.0071	36.89	0.0058	✓
6	5.63	0.0002	13.5	0.0021	7.67	0.0012	
5	16.22	0.0005	22.7	0.0036	27.64	0.0043	
4	1.39	0.0000	1.79	0.0003	5.32	0.0008	
3	17.66	0.0006	3	0.0005	3.89	0.0006	
2	1.98	0.0001	29.5	0.0046	28.6	0.0045	
1	7.28	0.0002	21.8	0.0034	22.4	0.0035	

Tablo 3.85. Boru kesitli çelik gömme kolonlu modellerin kesme dayanımı kontrolü

	MÇÇ		DÇÇ		YDÇÇ		Durum
Kat	V_r (kN)	$V_r/(\phi_v x V_n)$	V_r (kN)	$V_r/(\phi_v x V_n)$	V_r (kN)	$V_r/(\phi_v x V_n)$	
Çatı	11.79	0.0004	19.96	0.0168	19.96	0.0168	✓
6	3.23	0.0001	7.85	0.0066	7.85	0.0066	
5	7.59	0.0002	10.6	0.0089	10.6	0.0089	
4	1.87	0.0001	2.87	0.0017	2.59	0.0017	
3	8.52	0.0003	2.36	0.0017	2.48	0.0017	
2	1.73	0.0001	15.4	0.0130	15.4	0.0130	
1	6.48	0.0002	13.7	0.0115	13.7	0.0115	

Kutu Kesitli Beton Dolgulu Kompozit Kolonların Boyutlandırılması

Taşıyıcı sistemlerin çelik-betonarme kompozit kolonları, TBDY-2018 Bölüm 7 ve Bölüm 9 ile ÇYTHYE-2018 Bölüm 12’de verilen kurallar esas alınarak boyutlandırılacaktır. Kutu kesitli beton dolgulu kompozit kolonun boyutlandırılma adımları aşağıda verilmiştir.

Seçilen eleman TUBO800X400-40 FILLED

Kesit Özellikleri,

$$I=262826.7 \text{ cm}^4 \quad W_e=21930 \text{ cm}^3 \quad W_p=27200 \text{ cm}^3 \quad i_y=14.33 \text{ cm} \quad D=800 \text{ cm} \quad t=40 \text{ cm} \quad A_s=896 \text{ cm}^2$$

Kompozit kolonda çelik malzeme olarak S355 ve beton malzeme olarak C40/45 sınıfı malzeme kullanılmaktadır.

Kolonların Karakteristik Eksenel Basınç Kuvveti Dayanımının Belirlenmesi

Basınç dayanımı kontrolü her bir çerçevenin her katı için yapılmıştır.

TBDY-2018 9.11.4.1 uyarınca çelik kirişler ile beton dolgulu kompozit kolonlardan oluşan süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çerçevelerin elemanlarında, başlık genişliği/kalınlığı, gövde yüksekliği/kalınlığı ve çap/et kalınlığı oranları Tablo 9.3’te verilen λ_{hd} sınır değerlerini aşmayacaktır.

Narinlik oranı:

$$\frac{b}{t} = \frac{800}{40} = 20 \leq \lambda_{hd} = 1.4 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.4 \times \sqrt{\frac{200000}{355}} = 33.22$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesit, genişlik/kalınlık oranı TBDY-2018 Tablo 9.3’te verilen λ_{hd} sınır değerini aşmadığından, süneklik düzeyi yüksek eleman olarak değerlendirilir.

Beton elastisite modülü;

$$E_c = 0.043 \times W_c^{1.5} \times \sqrt{f_{ck}} = 0.043 \times 2400^{1.5} \times \sqrt{40} = 31975.4 \text{ N/mm}^2$$

Beton alanı ve atalet momenti,

$$h_i = d - 2t = 800 - 2 \times 40 = 720 \text{ mm}$$

$$b_i = b - 2t = 400 - 2 \times 40 = 320 \text{ mm}$$

$$A_c = 720 \times 320 = 230400 \text{ mm}^2$$

$$I_c = \frac{\pi x h_i^4}{64} = 1318498.56 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

$$A_g = 800 \times 400 = 320000 \text{ mm}^2$$

Eksenel basınç kuvveti etkisindeki, çift simetri eksenli beton dolgulu kompozit elemanların basınç dayanımları Yönetmelik 12.3.2.2 uyarınca belirlenecektir.

Kutu kesitli beton dolgulu kompozit kolonlu modeller için;

$$P_{no} = P_p \quad (3.22)$$

$$P_p = F_y \times A_s + C_2 \times f_{ck} \times (A_c + A_{sr} + \frac{E_{sr}}{E_c}) \quad (3.23)$$

($C_2 = 0.85$ (kutu kesit))

$$P_p = 355 \times 89600 \times 10^{-3} + 0.85 \times 40 \times (230400 \times 10^{-3}) = 39641.6 \text{ KN}$$

Eğilmeli burkulma sınır durumunda karakteristik basınç kuvveti dayanımı, P_n

$$C_3 = 0.45 + 3 \times (\frac{A_s + A_{sr}}{A_g}) \leq 0.9 \quad (3.24)$$

$$C_3 = 0.45 + 3 \times (\frac{89600}{320000}) = 1.23 \leq 0.9 \text{ (Olmadığından } C_3 = 0.9 \text{ alınır.)}$$

$$EI_{ef} = E_s \times I_s + C_3 \times E_c \times I_c \quad (3.25)$$

$$= 200000 \times 262826.7 \times 10^4 + 0.9 \times 31975.4 \times 1318498.56 \times 10^4 = 5.59 \times 10^{14} \text{ Nmm}^2$$

Eleman burkulma boyu, L_c , belirlenmesi

Yönetmelik 6.3.3 uyarınca elemanların burkulma boyu katsayıları, K , daha küçük bir değer kullanılması geçerli bir yaklaşımla kanıtlanmadığı sürece; $K = 1$ olarak alınacaktır.

Kolon Boyu zemin kat için; $L = 4000$ mm ve diğer katlar için $L=3500$ mm'dir.

$$L_c = KL = 1 \times 4000 = 4000 \text{ mm (zemin kat)}$$

$$L_c = KL = 1 \times 3500 = 3500 \text{ mm (diğer katlar) olarak bulunur.}$$

Yönetmelik 12.3.1.2 uyarınca, beton dolgulu kompozit elemanların basınç dayanımı, eğilmeli burkulma sınır durumu esas alınarak belirlenecektir.

Zemin Kat:

$$P_e = \frac{\pi^2 x E I_{ef}}{L_c^2} = \frac{\pi^2 x 5.59 \times 10^{14}}{4000^2 \times 10^{-3}} = 344244.9 \text{ kN}$$

$$\frac{P_{no}}{P_e} = \frac{39641.6}{344244.9} = 0.115 \leq 2.25$$

$$P_n = P_{no} \times (0.658)^{\frac{P_{no}}{P_e}} = 39641.6 \times (0.658)^{0.115} = 37776.3 \text{ kN}$$

Diğer katlar:

$$P_e = \frac{\pi^2 x E I_{ef}}{L_c^2} = \frac{\pi^2 x 5.59 \times 10^{14}}{3500^2 \times 10^{-3}} = 449625.9 \text{ kN}$$

$$\frac{P_{no}}{P_e} = \frac{39641.6}{449625.9} = 0.09 \leq 2.25$$

$$P_n = P_{no} \times (0.658)^{\frac{P_{no}}{P_e}} = 39641.6 \times (0.658)^{0.09} = 38205.4 \text{ kN}$$

Yönetmelik 12.3.1.2 uyarınca Tasarım basınç dayanımı, $\phi_c x P_n$, (YDKT) ile bulunur.

Zemin kat:

$$P_d = \phi_c x P_n = 0.75 \times 37776.3 = 28332.2 \text{ kN}$$

Diğer katlar:

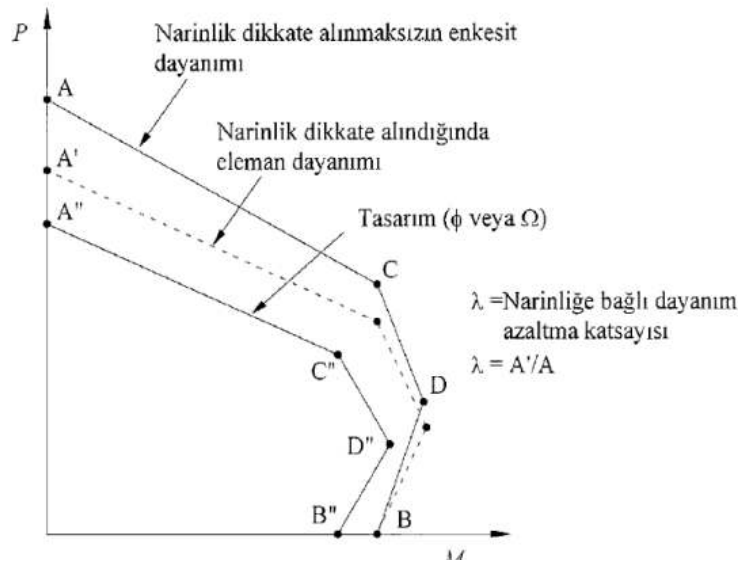
$$P_d = \phi_c x P_n = 0.75 \times 38205.4 = 28654.1 \text{ kN}$$

1.2G+1.6Q kombinasyonu ile kolonlarda okunan eksenel kuvvetler P_u olarak adlandırılmıştır. Bu verilere göre tüm çerçevelerin basınç dayanımı kontrolü verileri Tablo 3.86 ile verilmiştir.

Tablo 3.86. Tüm çerçevelerin basınç dayanım kontrolü

	MÇÇ		DÇÇ		YDÇÇ		Durum
Katlar	P_u (kN)	P_u/P_d	P_u (kN)	P_u/P_d	P_u (kN)	P_u/P_d	
Çatı	935.49	0.03	869.7	0.03	873.62	0.03	✓
6	2152.08	0.08	2013.3	0.07	2018.25	0.07	
5	3391.86	0.12	3181.2	0.11	3185.94	0.11	
4	4631.79	0.16	4348.2	0.15	4353.36	0.15	
3	5872.55	0.20	5515.8	0.19	5520.99	0.19	
2	7113.27	0.25	6683.3	0.23	6888.57	0.24	
1	8338.25	0.29	7849.2	0.28	7855.05	0.28	

Kompozit enkesitin eksenel kuvvet ve eğilme momenti bileşik etkisinin değerlendirilmesi için karşılıklı etki diyagramları kullanılmıştır. ÇYTHYE-2018 Tablo 12.4'te yer alan esaslar sayesinde diyagram çizilmiştir. Yönetmelikte karşılıklı etki diyagramı belirlenen tipik bazı noktaların hesaplamaları sayesinde çizilmektedir. Karşılıklı etki diyagramı çizilirken narinlik etkisini de göz önüne alabilmek için dayanımlar λ dayanım azaltma katsayısı ile azaltılmıştır. Şekil 3.20'de de görüldüğü üzere en dıştaki eğri hesaplamalar sonucu elde edilen azaltılmamış dayanımların oluşturduğu egridir. Ortadaki eğri narinlik için dayanım azaltma katsayısının kullanıldığı eğri, en içteki eğri ise tasarım azaltma katsayılarının dayanım azaltma katsayıları ile kullanılarak elde edildiği egridir. Narinlik için dayanım azaltma katsayıları sadece eksenel kuvvetler üzerinde kullanılmıştır. Şekil 3.20'de kompozit elemanlar için karşılıklı etki diyagramı ÇYTHYE-2018'e göre verilmiştir.



Şekil 3.20. Kompozit elemanlar için karşılıklı etki diyagramı (ÇYTHYE, 2018)

A NOKTASI;

$$b_i = B - 2t = 400 - 2 \times 40 = 320 \text{ mm}$$

$$h_i = H - 2t = 800 - 2 \times 40 = 720 \text{ mm}$$

$$A_c = b_i \times h_i = 720 \times 320 = 230400 \text{ mm}^2$$

$$P_A = A_s \times F_y + 0.85 \times f_{ck} \times A_c = 89600 \times 355 + 0.85 \times 40 \times 230400 = 39641.6 \text{ kN}$$

$$M_A = 0$$

D NOKTASI;

$$W_e = \frac{b_i \times h_i^2}{4} = \frac{320 \times 720^2}{4} = 41472$$

$$P_D = \frac{0.85 \times f_{ck} \times A_c}{2} = \frac{0.85 \times 40 \times 230400}{4} = 3916.8 \text{ kN}$$

$$M_D = W_{px} \times F_y + \frac{W_e}{2} (0.85 \times f_{ck}) = 1036.1 \text{ kNm}$$

B NOKTASI;

$$P_B = 0$$

$$h_n = \frac{0.85 \times f_{ck} \times A_c}{2[0.85 \times f_{ck} \times b_i + 4tF_y]} = 5.79$$

$$W_{sn} = 2t \times h_n^2 = 2 \times 40 \times 5.79^2 = 1071.7 \text{ mm}^3$$

$$W_{cn} = b_i \times h_n^2 = 320 \times 5.79^2 = 267.9 \text{ mm}^3$$

$$M_B = M_D - W_{sn} \times F_y - \frac{1}{2} W_{cn} (0.85 \times f_{ck}) = 1024.8 \text{ kNm}$$

C NOKTASI;

$$P_C=0.85 \times f_{ck} \times A_c=7833.6 \text{ KN}$$

$$M_C=M_B=1024.8 \text{ kNm}$$

Narinlik için dayanım azaltma katsayısı,

Narinlik etkisinin göz önüne alınabilmesi için verilen azaltma katsayısı, λ , Denklem 3.26 ile bulunmuştur.

$$\lambda = \frac{P_n}{P_{no}}$$

(3.26)

$$\lambda = \frac{P_n}{P_{no}} = \frac{38205.42}{39641.6} = 0.96 \text{ (2,3,4,5,6 ve Çatı katları için)}$$

$$\lambda = \frac{P_n}{P_{no}} = \frac{37776.3}{39641.6} = 0.95 \text{ (zemin kat için)}$$

Dayanım azaltma katsayıları kullanılarak elde edilen eğri için eksenel kuvvetler,

$$P'_A=0.95 \times 39641.6=37776.3 \text{ KN}$$

$$P'_B=0.95 \times 0=0$$

$$P'_C=0.95 \times 7833.6=7464.9 \text{ KN}$$

$$P'_D=0.95 \times 3916.8=3732.5 \text{ KN}$$

$$M'_A=0.95 \times 0=0$$

$$M'_B=0.95 \times 1024.8=976.5 \text{ kNm}$$

$$M'_C=0.95 \times 1024.8=976.5 \text{ kNm}$$

$$M'_D=0.95 \times 1036.1=987.3 \text{ kNm}$$

Tasarım azaltma katsayıları ve dayanım azaltma katsayıları kullanılarak elde edilen değerler,

$$P'_{Ad}=0.95 \times 0.75 \times 39641.6=28332.2 \text{ kN}$$

$$P'_{Bd}=0.95 \times 0.75 \times 0=0$$

$$P'_{Cd}=0.95 \times 0.75 \times 7833.6=5598.7 \text{ kN}$$

$$P'_{Dd}=0.95 \times 0.75 \times 3916.8=2799.4 \text{ kN}$$

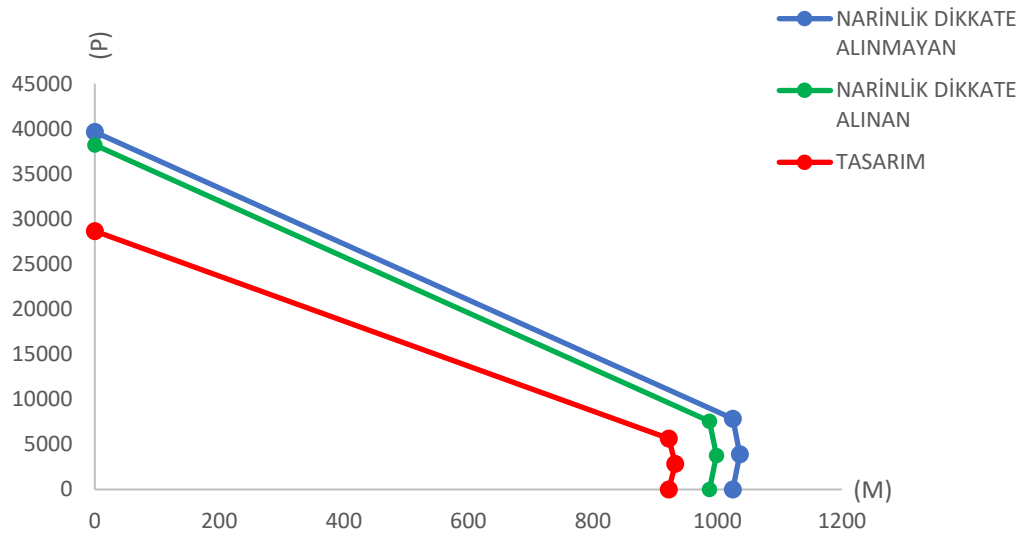
$$M'_{Ad}=0.9 \times 0=0$$

$$M'_{Bd}=0.9 \times 1024.8=922.3 \text{ kNm}$$

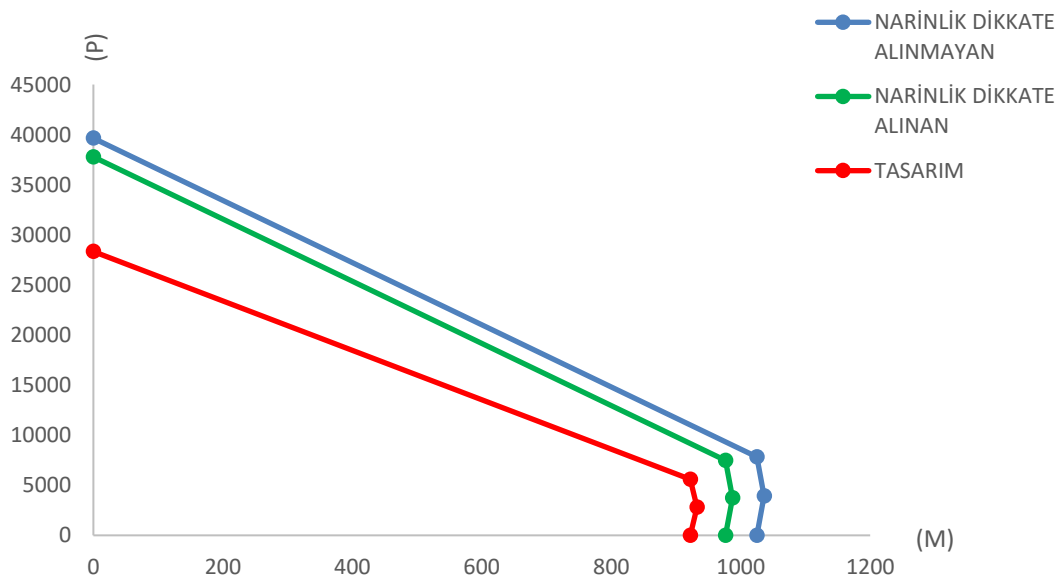
$$M'_{Cd}=0.9 \times 1024.8=922.3 \text{ kNm}$$

$$M'_{Dd}=0.9 \times 1036.1=932.5 \text{ kNm}$$

En elverişsiz iç kuvvetleri oluşturacak yük birleşimleri sonucu kutu kesitli beton dolgulu kompozit kolonu için elde edilen etkileşim diyagramı ve en elverişsiz durumu oluşturan iç kuvvetler aynı diyagram üzerinde Şekil 3.21 ve 3.22 ile gösterilmiştir.



Şekil 3.21. Diğer tüm katlardaki kolonların (KD) karşılıklı etki diyagramı



Şekil 3.22. Zemin kat kolonların (KD) karşılıklı etki diyagramı

Kutu Kesitli Çelik Gömme Kompozit Kolonların Boyutlandırılması

Seçilen eleman TUBO800X400-IPE450 18φ20

Kesit Özellikleri,

$$I=435026.3 \text{ cm}^4 \quad W_e=46684.2 \text{ cm}^3 \quad W_p=76788.4 \text{ cm}^3 \quad i_y=10,88 \text{ cm} \quad D=800 \text{ cm} \quad A_s=155,32 \text{ cm}^2$$

Kullanılan profil: IPE450 Kullanılan donatı: 18φ20

Kompozit kolonda çelik malzeme olarak S355 kullanılmaktadır ve beton malzeme olarak C40/45 sınıfı malzeme kullanılmaktadır.

Kolonların Karakteristik Eksenel Basınç Kuvveti Dayanımının Belirlenmesi

Basınç dayanımı kontrolü her bir çerçevenin her katı için yapılmıştır.

TBDY-2018 9.11.4.1 uyarınca çelik kirişler ile çelik gömme kompozit kolonlardan oluşan süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çerçevelerin elemanlarında, başlık genişliği/kalınlığı, gövde yüksekliği/kalınlığı ve çap/et kalınlığı oranları Tablo 9.3'te verilen λ_{hd} sınır değerlerini aşmayacaktır.

Narinlik oranı:

$$\frac{b}{t} = \frac{800}{40} = 20 \leq \lambda_{hd} = 1.4 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.4 \times \sqrt{\frac{200000}{355}} = 33.22$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesit, genişlik/kalınlık oranı TBDY-2018 Tablo 9.3'te verilen λ_{hd} sınır değerini aşmadığından, süneklik düzeyi yüksek eleman olarak değerlendirilir.

Beton elastisite modülü;

$$E_c = 0.043 \times W_c^{1.5} \times \sqrt{f_{ck}} = 0.043 \times 2400^{1.5} \times \sqrt{40} = 31975.4 \text{ N/mm}^2$$

Beton alanı ve atalet momenti,

$$A_c = 800 \times 400 = 320000 \text{ mm}^2$$

$$I_c = \frac{\pi x h_i^4}{64} = 2009600 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

$$A_g = 800 \times 400 = 320000 \text{ mm}^2$$

Eksenel basınç kuvveti etkisindeki, çift simetri eksenli çelik gömme kompozit elemanların basınç dayanımları Yönetmelik 12.3.1.1 uyarınca belirlenecektir.

Kutu kesitli çelik gömme kompozit kolonlu modeller için;

$$P_{no} = P_p \quad (3.27)$$

$$P_p = F_y \times A_s + A_{sr} \times F_{ysr} + 0.85 f_{ck} \times A_c \quad (3.28)$$

$$P_p = 355 \times 15532 \times 10^{-3} + 0.85 \times 40 \times (304468 \times 10^{-3}) = 15865.8 \text{ kN}$$

Eğilmeli burkulma sınır durumunda karakteristik basınç kuvveti dayanımı, P_n

$$C_1 = 0.25 + 3 \times \left(\frac{A_s + A_{sr}}{A_g} \right) \leq 0.7 \quad (3.29)$$

$$C_1 = 0.25 + 3 \times \left(\frac{15532}{320000} \right) = 0.395 \leq 0.7 \quad (C_1 = 0.395 \text{ alınır.})$$

$$EI_{ef} = E_s \times I_s + C_1 \times E_c \times I_c \quad (3.30)$$

$$= 200000 \times 435026.310^4 + 0.395 \times 31975.4 \times 20096 \times 10^6 = 2.85 \times 10^{14} \text{ Nmm}^2$$

Eleman burkulma boyu, L_c , belirlenmesi

Yönetmelik 6.3.3 uyarınca elemanların burkulma boyu katsayıları, K, daha küçük bir değer kullanılması geçerli bir yaklaşımla kanıtlanmadığı sürece; K = 1 olarak alınacaktır. Kolon Boyu zemin kat için; L = 4000 mm ve diğer katlar için L=3500 mm'dir.

$$L_c = KL = 1 \times 4000 = 4000 \text{ mm (zemin kat)}$$

$$L_c = KL = 1 \times 3500 = 3500 \text{ mm (diğer katlar) olarak bulunur.}$$

Yönetmelik 12.3.1.2 uyarınca, beton dolgulu kompozit elemanların basınç dayanımı, eğilmeli burkulma sınır durumu esas alınarak belirlenecektir.

Zemin Kat:

$$P_e = \frac{\pi^2 \times EI_{ef}}{L_c^2} = \frac{\pi^2 \times 2.85 \times 10^{14}}{4000^2 \times 10^{-3}} = 175793.8 \text{ kN}$$

$$\frac{P_{no}}{P_e} = \frac{15865.8}{175793.8} = 0.09 \leq 2.25$$

$$P_n = P_{no} \times (0.658)^{\frac{P_{no}}{P_e}} = 15865.8 \times (0.658)^{0.09} = 15277.6 \text{ kN}$$

Diğer katlar:

$$P_e = \frac{\pi^2 x E I_{ef}}{L_c^2} = \frac{\pi^2 x 2.85 x 10^{14}}{3500^2 x 10^{-3}} = 229608.2 \text{ kN}$$

$$\frac{P_{no}}{P_e} = \frac{15865.8}{229608.2} = 0.07 \leq 2.25$$

$$P_n = P_{no} x (0.658)^{\frac{P_{no}}{P_e}} = 15865.8 x (0.658)^{0.07} = 15413.5 \text{ kN}$$

Yönetmelik 12.3.1.2 uyarınca Tasarım basınç dayanımı, $\phi_c x P_n$, (YDKT) ile bulunur.

Zemin kat:

$$P_d = \phi_c x P_n = 0.75 x 15277.6 = 11458.2 \text{ kN}$$

Diğer katlar:

$$P_d = \phi_c x P_n = 0.75 x 15413.5 = 11560.11 \text{ kN}$$

1.2G+1.6Q kombinasyonu ile kolonlarda okunan eksenel kuvvetler P_u olarak adlandırılmıştır. Bu verilere göre tüm çerçevelerin basınç dayanımı kontrolü verileri Tablo 3.87 ile verilmiştir.

Tablo 3.87. Tüm modellerin basınç dayanımı kontrolü

	MÇÇ		DÇÇ		MÇÇ		Durum
Katlar	P_u (kN)	P_u/P_d	P_u (kN)	P_u/P_d	P_u (kN)	P_u/P_d	
Çatı	872.40	0.08	869.4	0.08	873.40	0.08	✓
6	2016.40	0.17	2012.7	0.17	2017.70	0.17	
5	3183.70	0.28	3179.9	0.28	3185.10	0.28	
4	4350.80	0.38	4346.4	0.38	4351.80	0.38	
3	5517.90	0.48	5513.2	0.48	5519.10	0.48	
2	6684.50	0.58	6680.2	0.58	6686.10	0.58	
1	7850.40	0.69	7843.5	0.68	7851.40	0.69	

Kompozit enkesitin eksenel kuvvet ve eğilme momenti bileşik etkisinin değerlendirilmesi için karşılıklı etki diyagramları kullanılmıştır. ÇYTHYE-2018 Tablo 12.3'te yer alan tablodaki hesaplamalar sayesinde diyagram çizilmiştir. Yönetmelikte karşılıklı etki diyagramı belirlenen tipik bazı noktaların hesaplamalar sayesinde çizilmektedir. Karşılıklı etki diyagramı çizilirken narinlik etkisini de göz önüne alabilmek için dayanımlar λ dayanım azaltma katsayısı ile azaltılmıştır.

Ortadaki eğri narinlik için dayanım azaltma katsayısının kullanıldığı eğri, en içteki eğri ise tasarım azaltma katsayılarının dayanım azaltma katsayıları ile kullanılarak elde edildiği eğridir. Narinlik için dayanım azaltma katsayıları sadece eksenel kuvvetler üzerinde kullanılmıştır.

A NOKTASI;

$$A_c = h_1 \times h_2 - A_s - A_{sr} = 800 \times 400 - 15532 = 304468 \text{ mm}^2$$

$$P_A = A_s \times F_y + 0.85 \times f_{ck} \times A_c = 15532 \times 355 + 0.85 \times 40 \times 304468 = 15865.8 \text{ kN}$$

$$M_A = 0$$

D NOKTASI;

$$W_r = A_{sr} \left(\frac{h_2}{2} - c \right) = 904320$$

$$W_c = \frac{h_1 \times h_2^2}{4} - W_{px} - W_r = 31018891.8$$

$$M_D = W_{px} \times F_y + W_r \times F_{ysr} + \frac{W_c}{2} (0.85 \times f_{ck}) = 875.6 \text{ kNm}$$

$$P_D = \frac{0.85 \times f_{ck} \times A_c}{2} = \frac{0.85 \times 40 \times 230400}{4} = 5175.9 \text{ kN}$$

B NOKTASI;

$$P_B = 0$$

$$h_n = \frac{0.85 \times f_{ck} \times (A_c - A_s) - 2F_y \times A_s}{2[.85 \times f_{ck} \times h_i]} = 36.1$$

$$W_{sn} = W_{py} = 76788.4$$

$$W_{cn} = h_1 \times h_n^2 - W_{sn} = 966301.2$$

$$M_B = M_D - W_{sn} \times F_y - \frac{1}{2} W_{cn} (0.85 \times f_{ck}) = 831.9 \text{ kNm}$$

C NOKTASI;

$$P_C = 0.85 \times f_{ck} \times A_c = 10351.9 \text{ KN}$$

$$M_C = M_B = 831.9 \text{ kNm}$$

Narinlik için dayanım azaltma katsayısı,

Narinlik etkisinin göz önüne alınabilmesi için verilen azaltma katsayısı, λ ,

$$\lambda = \frac{P_n}{P_{no}} = \frac{15413.5}{15865.8} = 0.97 \text{ (2,3,4,5,6 ve Çatı katları için)}$$

$$\lambda = \frac{P_n}{P_{no}} = \frac{15277.6}{15865.8} = 0.96 \text{ (zemin kat için)}$$

Dayanım azaltma katsayıları kullanılarak elde edilen eğri için eksenel kuvvetler,

$$P'_A = 0.96 \times 15865.8 = 15277.6 \text{ kN}$$

$$P'_B = 0.96 \times 0 = 0$$

$$P'_C = 0.96 \times 10351.9 = 9968.2 \text{ kN}$$

$$P'_D = 0.96 \times 5175.9 = 4984.1 \text{ kN}$$

$$M'_A = 0.96 \times 0 = 0$$

$$M'_B = 0.96 \times 831.9 = 801.1 \text{ kNm}$$

$$M'_C = 0.96 \times 831.9 = 802.3 \text{ kNm}$$

$$M'_D = 0.96 \times 875.6 = 844.4 \text{ kNm}$$

Tasarım azaltma katsayıları ve dayanım azaltma katsayıları kullanılarak elde edilen değerler;

$$P'_{Ad} = 0.96 \times 0.75 \times 15865.8 = 11458.2 \text{ kN}$$

$$P'_{Bd} = 0.96 \times 0.75 \times 0 = 0$$

$$P'_{Cd} = 0.96 \times 0.75 \times 10351.9 = 7476.1 \text{ kN}$$

$$P'_{Dd} = 0.96 \times 0.75 \times 5175.9 = 3738.1 \text{ kN}$$

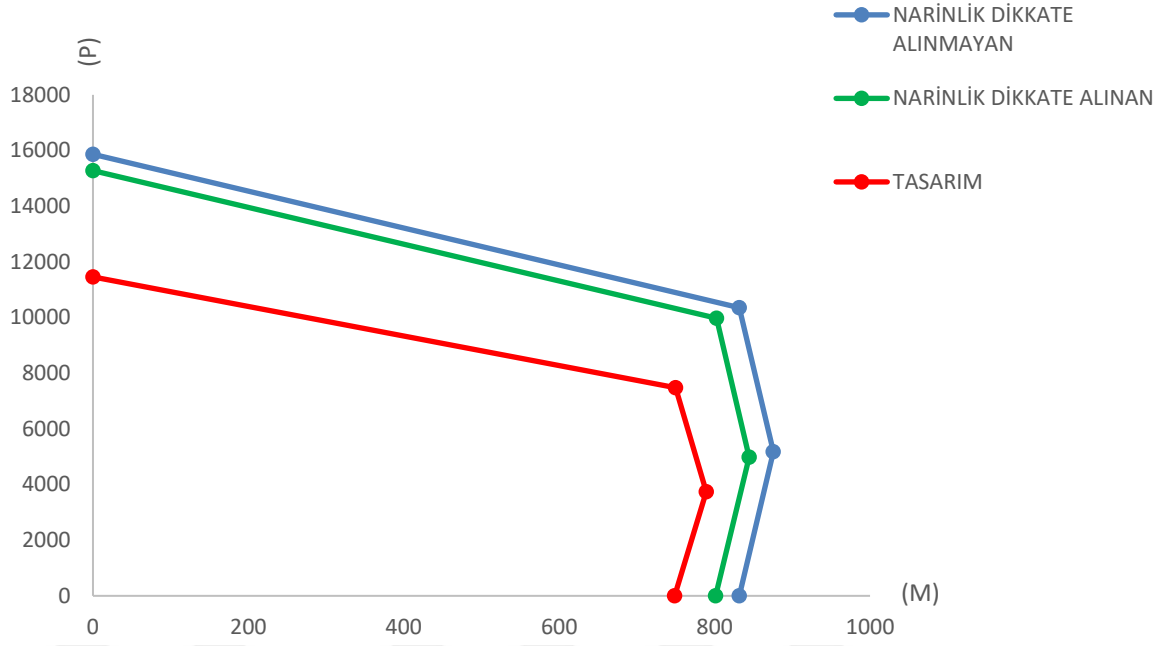
$$M'_{Ad} = 0.9 \times 0 = 0$$

$$M'_{Bd} = 0.9 \times 831.9 = 749.7 \text{ kNm}$$

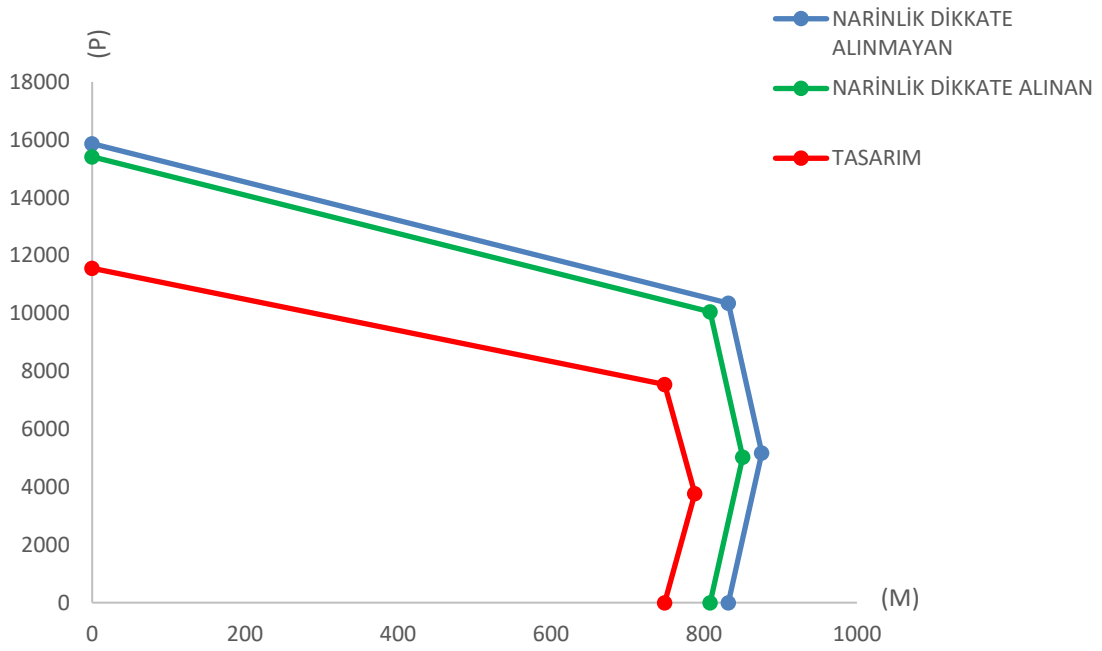
$$M'_{Cd} = 0.9 \times 831.9 = 749.7 \text{ kNm}$$

$$M'_{Dd} = 0.9 \times 854.4 = 789.2 \text{ kNm}$$

En elverişsiz iç kuvvetleri oluşturacak yük birleşimleri sonucu kutu kesitli çelik gömme kompozit kolonu için elde edilen etkileşim diyagramı ve en elverişsiz durumu oluşturan iç kuvvetler aynı diyagram üzerinde Şekil 3.23 ve 3.24 ile gösterilmiştir.



Şekil 3.23. Zemin kattaki kolonların (KG) karşılıklı etki diyagramı



Şekil 3.24. Diğer tüm katlardaki kolonların (KG) karşılıklı etki diyagramı

Boru Kesitli Beton Dolgulu Kompozit Kolonların Boyutlandırılması

Taşıyıcı sistemlerin çelik-betonarme kompozit kolonları, TBDY-2018 Bölüm 7 ve Bölüm 9 ile ÇYTHYE-2018 Bölüm 12’de verilen kurallar esas alınarak boyutlandırılacaktır. Boru kesitli beton dolgulu kompozit kolonun boyutlandırılma adımları aşağıda verilmiştir.

Seçilen eleman PIPE640X35 FILLED

Kesit zellikleri,

$$I=390640 \text{ cm}^4 \quad W_e= 16146.3 \text{ cm}^3 \quad W_p=1207.53 \text{ cm}^3 \quad i_y=14.33 \text{ cm} \quad D=640 \text{ cm} \quad t=35 \text{ cm} \\ A_s=664.9 \text{ cm}^2$$

Kompozit kolonda elik malzeme olarak S355 kullanılmaktadır ve beton malzeme olarak C40/45 sınıfı malzeme kullanılmaktadır.

Kolonların Karakteristik Eksenel Basınç Kuvveti Dayanımının Belirlenmesi

Basınç dayanımı kontrolü her bir çerçevenin her katı için yapılmıştır.

TBDY-2018 9.11.4.1 uyarınca elik kirişler ile beton dolgulu kompozit kolonlardan oluşan süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çerçevelerin elemanlarında, başlık genişliği/kalınlığı, gövde yüksekliği/kalınlığı ve çap/et kalınlığı oranları Tablo 9.3'te verilen λ_{hd} sınır değerlerini aşmayacaktır.

Narinlik oranı:

$$\frac{D}{t} = \frac{640}{35} = 18.3 \leq \lambda_{hd} = 0.076 \times \frac{E}{F_y} = 0.076 \times \frac{200000}{355} = 42.8$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesit, genişlik/kalınlık oranı TBDY-2018 Tablo 9.3'te verilen λ_{hd} sınır değerini aşmadığından, süneklik düzeyi yüksek eleman olarak değerlendirilir.

Beton elastisite modülü;

$$E_c=0.043 \times W_c^{1.5} \times \sqrt{f_{ck}}=0.043 \times 2400^{1.5} \times \sqrt{40}=31975.4 \text{ N/mm}^2$$

Beton alanı ve atalet momenti,

$$h_i=d-2t=640-2 \times 35=570 \text{ mm}$$

$$b_i=b-2t=640-2 \times 35=570 \text{ mm}$$

$$A_c = \frac{\pi \times 570^2}{4} = 255046.5 \text{ mm}^2$$

$$I_c = \frac{\pi \times h_i^4}{64} = 517903.8 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

$$A_g = \frac{\pi \times 640^2}{4} = 321536 \text{ mm}^2$$

Boru kesitli beton dolgulu kompozit kolonlu modeller için;

Eksenel basınç kuvveti etkisindeki, çift simetri eksenli beton dolgulu kompozit elemanların basınç dayanımları Yönetmelik 12.3.2.2 uyarınca belirlenecektir.

($C_2=0.95$ (boru kesiti))

$$P_p = 355 \times 66489.5 \times 10^{-3} + 0.95 \times 40 \times (255046.5 \times 10^{-3}) = 33295.5 \text{ kN}$$

Kompozit elemanın aksenal basınç dayanımının belirlenmesi:

$$C_3 = 0.45 + 3 \times \left(\frac{66489.5}{320000} \right) = 1.07 \leq 0.9 \text{ (Olmadığından } C_3 = 0.9 \text{ alınır.)}$$

$$EI_{ef} = 200000 \times 390640 \times 10^4 + 0.9 \times 31975.4 \times 517903.8 \times 10^4 = 2.82 \times 10^{14} \text{ Nmm}^2$$

Eleman burkulma boyu, L_c , belirlenmesi

Yönetmelik 6.3.3 uyarınca elemanların burkulma boyu katsayıları, K , daha küçük bir değer kullanılması geçerli bir yaklaşımla kanıtlanmadığı sürece; $K = 1$ olarak alınacaktır. Kolon Boyu ilk kat için; $L = 4000 \text{ mm}$ ve diğer katlar için $L = 3500 \text{ mm}$ 'dir.

$$L_c = KL = 1 \times 4000 = 4000 \text{ mm (zemin kat)}$$

$$L_c = KL = 1 \times 3500 = 3500 \text{ mm (diğer katlar) olarak bulunur.}$$

Yönetmelik 12.3.1.2 uyarınca, beton dolgulu kompozit elemanların basınç dayanımı, eğilmeli burkulma sınır durumu esas alınarak belirlenecektir.

Zemin kat:

$$P_e = \frac{\pi^2 \times 2.82 \times 10^{14}}{4000^2 \times 10^{-3}} = 173788.1 \text{ kN}$$

$$\frac{P_{no}}{P_e} = \frac{33295.5}{173788.1} = 0.192 \leq 2.25$$

$$P_n = 39641.6 \times (0.658)^{0.192} = 30729.9 \text{ kN}$$

Diğer katlar:

$$P_e = \frac{\pi^2 \times 2.82 \times 10^{14}}{3500^2 \times 10^{-3}} = 226988.4 \text{ kN}$$

$$\frac{P_{no}}{P_e} = \frac{33295.5}{226988.4} = 0.147 \leq 2.25$$

$$P_n = 39641.6 \times (0.658)^{0.147} = 31312.9 \text{ kN}$$

Yönetmelik 12.3.1.2 uyarınca Tasarım basınç dayanımı, $\phi_c x P_n$, (YDKT) ile bulunur.

Zemin kat:

$$P_d = \phi_c x P_n = 0.75 \times 30729.9 = 23047.4 \text{ kN}$$

Diğer katlar:

$$P_d = \phi_c x P_n = 0.75 \times 31312.9 = 23484.6 \text{ kN}$$

1.2G+1.6Q kombinasyonu ile kolonlarda okunan eksenel kuvvetler P_u olarak adlandırılmıştır. Bu verilere göre tüm çerçevelerin basınç dayanımı kontrolü verileri Tablo 3.88 ile verilmiştir.

Tablo 3.88. Tüm modellerin basınç dayanımı kontrolü

Katlar	MÇÇ		DÇÇ		MÇÇ		Durum
	P_u (kN)	P_u/P_d	P_u (kN)	P_u/P_d	P_u (kN)	P_u/P_d	
Çatı	872.60	0.04	873.1	0.04	873.10	0.04	✓
6	2016.90	0.09	2018.1	0.09	2018.10	0.09	
5	3184.60	0.14	3185.7	0.14	3185.70	0.14	
4	4352.10	0.19	4352.9	0.19	4352.90	0.19	
3	5519.60	0.24	5520.5	0.24	5520.50	0.24	
2	6686.80	0.28	6687.99	0.28	6687.99	0.28	
1	7853.50	0.34	7854.1	0.34	7854.10	0.34	

Kompozit enkesitin eksenel kuvvet ve eğilme momenti bileşik etkisinin değerlendirilmesi için karşılıklı etki diyagramları kullanılmıştır. ÇYTHYE-2018 Tablo 12.5'te yer alan Tablodaki hesaplamalar sayesinde diyagram çizilmiştir. Yönetmelikte karşılıklı etki diyagramı belirlenen tipik bazı noktaların hesaplamalar sayesinde çizilmektedir. Karşılıklı etki diyagramı çizilirken narinlik etkisini de göz önüne alabilmek için dayanımlar λ dayanım azaltma katsayısı ile azaltılmıştır. Şekil 1.6'da görüldüğü üzere en dıştaki eğri hesaplamalar sonucu elde edilen azaltılmamış dayanımların oluşturduğu eğridir. Ortadaki eğri narinlik için dayanım azaltma katsayısının kullanıldığı eğri, en içteki eğri ise tasarım azaltma katsayılarının dayanım azaltma katsayıları ile kullanılarak elde edildiği eğridir. Narinlik için dayanım azaltma katsayıları sadece eksenel kuvvetler üzerinde kullanılmıştır.

A NOKTASI;

$$A_s = \pi(dt - t^2) = 66489.5 \text{ mm}^2$$

$$P_A = A_s \times F_y + 0.95 \times f_{ck} \times A_c = 32275.4 \text{ kN}$$

$$M_A = 0$$

D NOKTASI;

$$W_e = \frac{b_i \times h_i^2}{4} = \frac{320 \times 720^2}{4} = 41472$$

$$P_D = \frac{0.95 \times f_{ck} \times A_c}{2} = \frac{0.95 \times 40 \times 255046.5}{2} = 4335.8 \text{ kN}$$

$$M_D = W_{px} \times F_y + \frac{W_c}{2} (0.95 \times f_{ck}) = 850.1 \text{ kNm}$$

B NOKTASI;

$$P_B = 0$$

$$K_c = f_{ck} \times h^2 = 12996$$

$$K_s = F_y \left(\frac{d-t}{2} \right) \times t = 3758.6$$

$$\Theta = \frac{0.0260 K_c - 2 K_s}{0.0848 K_c} + \frac{\sqrt{(0.0260 K_c + 2 K_s)^2 + 0.857 K_c K_s}}{0.0848 K_c} = 2.72 \text{ rad}$$

$$W_{sB} = \frac{(d^3 - h^3)}{6} \sin\left(\frac{\Theta}{2}\right) = 12540956.8$$

$$W_{cB} = \frac{(h^3)}{6} \sin^3\left(\frac{\Theta}{2}\right) = 173152008.4$$

$$M_B = W_{sB} \times F_y - \frac{1}{2} W_{cB} (0.95 \times f_{ck}) = 774.2 \text{ kNm}$$

C NOKTASI;

$$P_C = 0.95 \times f_{ck} \times A_c = 9691.8 \text{ KN}$$

$$M_C = M_B = 774.2 \text{ kNm}$$

Narinlik için dayanım azaltma katsayısı,

Narinlik etkisinin göz önüne alınabilmesi için verilen azaltma katsayısı, λ ,

$$\lambda = \frac{P_n}{P_{no}} = \frac{31312.9}{33295.5} = 0.94 \text{ (2,3,4,5,6 ve Çatı katları için)}$$

$$\lambda = \frac{P_n}{P_{no}} = \frac{30729.9}{33295.5} = 0.92 \text{ (zemin kat için)}$$

Dayanım azaltma katsayıları kullanılarak elde edilen eğri için eksenel kuvvetler,

$$P'_A=0.92 \times 32275.4=29788.3 \text{ KN}$$

$$P'_B=0.92 \times 0=0$$

$$P'_C=0.92 \times 9691.8=8944.9 \text{ kN}$$

$$P'_D=0.92 \times 4335.8=4001.7 \text{ kN}$$

$$M'_A=0.92 \times 0=0$$

$$M'_B=0.92 \times 774.2=714.5 \text{ kNm}$$

$$M'_C=0.92 \times 774.2=714.5 \text{ kNm}$$

$$M'_D=0.92 \times 850.1=784.6 \text{ kNm}$$

Tasarım azaltma katsayıları ve dayanım azaltma katsayıları kullanılarak elde edilen değerler,

$$P'_{Ad}=0.92 \times 0.75 \times 32275.4=22341.2 \text{ kN}$$

$$P'_{Bd}=0.92 \times 0.75 \times 0=0$$

$$P'_{Cd}=0.92 \times 0.75 \times 9691.8=6708.7 \text{ kN}$$

$$P'_{Dd}=0.92 \times 0.75 \times 4335.8=3001.3 \text{ kN}$$

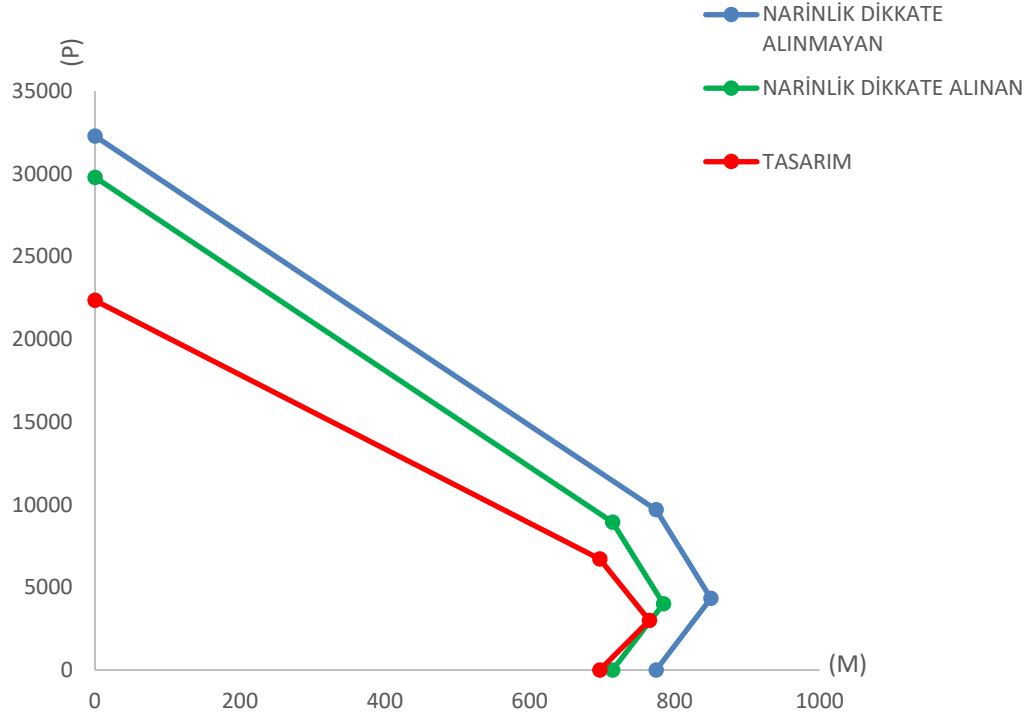
$$M'_{Ad}=0.9 \times 0=0$$

$$M'_{Bd}=0.9 \times 774.2=696.8 \text{ kNm}$$

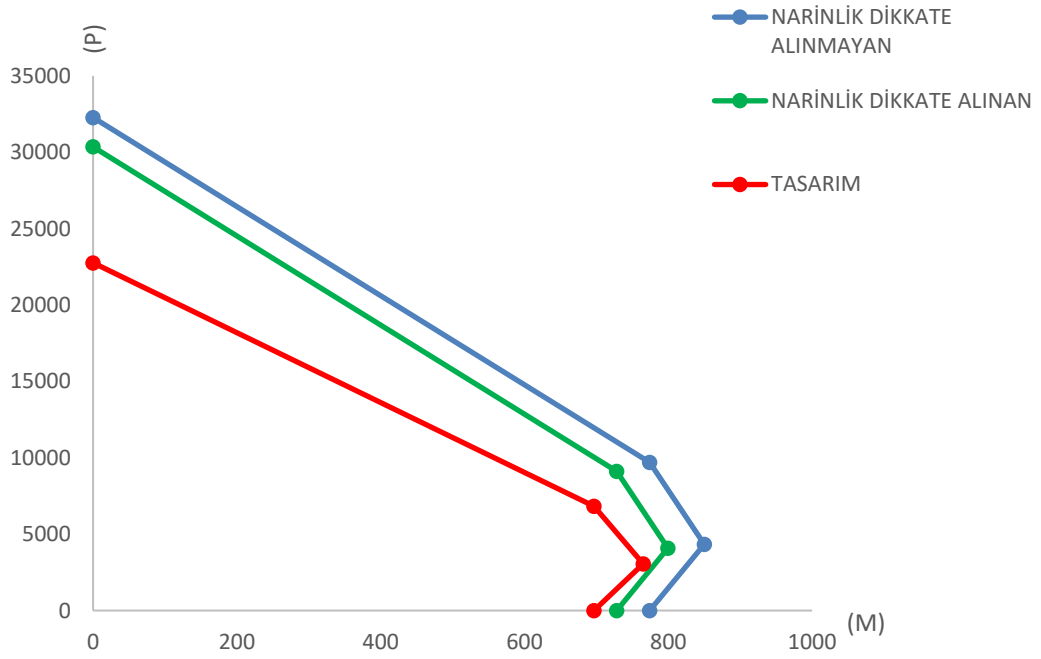
$$M'_{Cd}=0.9 \times 774.2=696.8 \text{ kNm}$$

$$M'_{Dd}=0.9 \times 850.1=765.1 \text{ kNm}$$

En elverişsiz iç kuvvetleri oluşturacak yük birleşimleri sonucu boru kesitli beton dolgulu kompozit kolonu için elde edilen etkileşim diyagramı ve en elverişsiz durumu oluşturan iç kuvvetler aynı diyagram üzerinde Şekil 3.25 ve 3.26 ile gösterilmiştir.



Şekil 3.25. Zemin kat kolonların (BD) karşılıklı etki diyagramı



Şekil 3.26. Diğer tüm katlardaki kolonların (BD) karşılıklı etki diyagramı

Boru Kesitli Çelik Gömme Kompozit Kolonların Boyutlandırılması

Boru kesitli çelik gömme kompozit kolonun boyutlandırılma adımları aşağıda verilmiştir.

Seçilen eleman PIPE640XIPE450-8φ20

Kesit Özellikleri,

$$I=136897.8 \text{ cm}^4 \quad W_e=5071.51 \text{ cm}^3 \quad W_p=6316.53 \text{ cm}^3 \quad i_y=14.96 \text{ cm} \quad D=640 \text{ cm} \quad A_s=123.92 \text{ cm}^2$$

Kompozit kolonda çelik malzeme olarak S355 kullanılmaktadır ve beton malzeme olarak C40/45 sınıfı malzeme kullanılmaktadır.

Kolonların Karakteristik Eksenel Basınç Kuvveti Dayanımının Belirlenmesi

Basınç dayanımı kontrolü her bir çerçevenin her katı için yapılmıştır.

TBDY-2018 9.11.4.1 uyarınca çelik kirişler ile çelik gömme kompozit kolonlardan oluşan süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çerçevelerin elemanlarında, başlık genişliği/kalınlığı, gövde yüksekliği/kalınlığı ve çap/et kalınlığı oranları Tablo 9.3' te verilen λ_{hd} sınır değerlerini aşmayacaktır.

Narinlik oranı:

$$\frac{D}{t} = \frac{640}{40} = 16 \leq \lambda_{hd} = 0.076 \times \frac{E}{F_y} = 0.076 \times \frac{200000}{355} = 42.8$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesit, genişlik/kalınlık oranı TBDY-2018 Tablo 9.3'te verilen λ_{hd} sınır değerini aşmadığından, süneklik düzeyi yüksek eleman olarak değerlendirilir.

Beton elastisite modülü;

$$E_c = 0.043 \times W_c^{1.5} \times \sqrt{f_{ck}} = 0.043 \times 2400^{1.5} \times \sqrt{40} = 31975.4 \text{ N/mm}^2$$

Beton alanı ve atalet momenti,

$$A_c = \frac{\pi x h_i^2}{4} - A_s = 309144 \text{ mm}^2$$

$$I_c = \frac{\pi x h_i^4}{64} = 823132.16 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

$$A_g = \frac{\pi x h_i^2}{4} = 321536 \text{ mm}^2$$

Eksenel basınç kuvveti etkisindeki, çift simetri eksenli çelik gömme kompozit elemanların basınç dayanımları Yönetmelik 12.3.1.1 uyarınca belirlenecektir.

Boru kesitli çelik gömme kompozit kolonlu modeller için;

$$P_{no} = P_p$$

$$P_p = 355 \times 12392 \times 10^{-3} + 0.85 \times 40 \times (309144 \times 10^{-3}) = 16146.6 \text{ kN}$$

Eğilmeli burkulma sınır durumunda karakteristik basınç kuvveti dayanımı, P_n

$$C_1 = 0.25 + 3 \times \left(\frac{12392}{321536} \right) = 0.37 \leq 0.7 \text{ (} C_1 = 0.37 \text{ alınır.)}$$

$$EI_{ef} = 200000 \times 136897.8 \times 10^4 + 0.37 \times 31975.4 \times 82313216 \times 10^4 = 1.21 \times 10^{14} \text{ Nmm}^2$$

Eleman burkulma boyu, L_c , belirlenmesi

Yönetmelik 6.3.3 uyarınca elemanların burkulma boyu katsayıları, K, daha küçük bir değer kullanılması geçerli bir yaklaşımla kanıtlanmadığı sürece; K = 1 olarak alınacaktır. Kolon Boyu zemin kat için; L = 4000 mm ve diğer katlar için L=3500 mm' dir.

$$L_c = KL = 1 \times 4000 = 4000 \text{ mm (zemin kat)}$$

$$L_c = KL = 1 \times 3500 = 3500 \text{ mm (diğer katlar) olarak bulunur.}$$

Yönetmelik 12.3.1.2 uyarınca, beton dolgulu kompozit elemanların basınç dayanımı, eğilmeli burkulma sınır durumu esas alınarak belirlenecektir.

Zemin Kat:

$$P_e = \frac{\pi^2 \times 1.21 \times 10^{14}}{4000^2 \times 10^{-3}} = 74572.5 \text{ kN}$$

$$\frac{P_{no}}{P_e} = \frac{16146.6}{74572.5} = 0.22 \leq 2.25$$

$$P_n = 16146.6 \times (0.658)^{0.22} = 14747.7 \text{ kN}$$

Diğer katlar:

$$P_e = \frac{\pi^2 \times 1.21 \times 10^{14}}{3500^2 \times 10^{-3}} = 97400.7 \text{ kN}$$

$$\frac{P_{no}}{P_e} = \frac{15277.6}{97400.7} = 0.17 \leq 2.25$$

$$P_n = 16146.6 \times (0.658)^{0.17} = 15064.3 \text{ kN}$$

Yönetmelik 12.3.1.2 uyarınca Tasarım basınç dayanımı, $\phi_c \times P_n$, (YDKT) ile bulunur.

Zemin kat:

$$P_d = \phi_c \times P_n = 0.75 \times 14747.7 = 11060.8 \text{ kN}$$

Diğer katlar:

$$P_d = \phi_c \times P_n = 0.75 \times 15064.3 = 11298.2 \text{ kN}$$

1.2G+1.6Q kombinasyonu ile kolonlarda okunan eksenel kuvvetler P_u olarak adlandırılmıştır. Bu verilere göre tüm çerçevelerin basınç dayanımı kontrolü verileri Tablo 3.89 ile verilmiştir.

Tablo 3.89. Tüm modellerin basınç dayanımı kontrolü

	MÇÇ		DÇÇ		MÇÇ		Durum
Katlar	P_u (kN)	P_u/P_d	P_u (kN)	P_u/P_d	P_u (kN)	P_u/P_d	
Çatı	872.40	0.08	869.3	0.08	873.3	0.08	✓
6	2016.40	0.18	2012.6	0.18	2017.5	0.18	
5	3183.60	0.28	3179.8	0.28	3184.8	0.28	
4	4350.50	0.39	4346.2	0.38	4351.5	0.39	
3	5517.70	0.49	5512.8	0.49	5518.6	0.49	
2	6684.10	0.59	6679.7	0.59	6685.4	0.59	
1	7849.90	0.71	7842.8	0.71	7850.5	0.71	

Kompozit enkesitin eksenel kuvvet ve eğilme momenti bileşik etkisinin değerlendirilmesi için karşılıklı etki diyagramları kullanılmıştır. ÇYTHYE-2018 Tablo 12.3 ve 12.5'te yer alan tablodaki hesaplamalar sayesinde diyagram çizilmiştir. Yönetmelikte karşılıklı etki diyagramı belirlenen tipik bazı noktaların hesaplamaları sayesinde

çizilmektedir. Karşılıklı etki diyagramı çizilirken narinlik etkisini de göz önüne alabilmek için dayanımlar λ dayanım azaltma katsayısı ile azaltılmıştır.

A NOKTASI;

$$A_c = 309144 \text{ mm}^2$$

$$P_A = A_s \times F_y + 0.95 \times f_{ck} \times A_c = 12392 \times 355 + 0.95 \times 40 \times 309144 = 16146.6 \text{ kN}$$

$$M_A = 0$$

D NOKTASI;

$$W_r = A_{sr} \left(\frac{h_2}{2} - c \right) = 703360$$

$$W_c = \frac{h_1 \times h_2^2}{4} - W_{px} - W_r = 64826323.5$$

$$M_D = W_{px} \times F_y + W_r \times F_{ysr} + \frac{W_c}{2} (0.95 \times f_{ck}) = 1483.6 \text{ kNm}$$

$$P_D = \frac{0.95 \times f_{ck} \times A_c}{2} = \frac{0.95 \times 40 \times 309144}{4} = 5873.7 \text{ kN}$$

B NOKTASI;

$$P_B = 0$$

$$h_n = \frac{0.95 \times f_{ck} \times (A_c - A_s) - 2F_y \times A_s}{2[0.95 \times f_{ck} \times h_i]} = 52.1$$

$$W_{sn} = W_{py} = 6316.5$$

$$W_{cn} = h_1 \times h_n^2 - W_{sn} = 1354512.2$$

$$M_B = M_D - W_{sn} \times F_y - \frac{1}{2} W_{cn} (0.95 \times f_{ck}) = 1448.6 \text{ kNm}$$

C NOKTASI;

$$P_C = 0.95 \times f_{ck} \times A_c = 9397.9 \text{ kN}$$

$$M_C = M_B = 1448.6 \text{ kNm}$$

Narinlik için dayanım azaltma katsayısı,

Narinlik etkisinin göz önüne alınabilmesi için verilen azaltma katsayısı, λ ,

$$\lambda = \frac{P_n}{P_{no}} = \frac{15064.3}{16146.6} = 0.93 \text{ (2,3,4,5,6 ve Çatı katları için)}$$

$$\lambda = \frac{P_n}{P_{no}} = \frac{14747.7}{16146.6} = 0.91 \text{ (zemin kat için)}$$

Dayanım azaltma katsayıları kullanılarak elde edilen eğri için eksenel kuvvetler,

$$P'_A = 0.91 \times 16146.6 = 14747.7 \text{ kN}$$

$$P'_B = 0.91 \times 0 = 0$$

$$P'_C = 0.91 \times 9397.9 = 8583.7 \text{ kN}$$

$$P'_D = 0.91 \times 5873.736 = 5564.8 \text{ kN}$$

$$M'_A = 0.91 \times 0 = 0$$

$$M'_B = 0.91 \times 1448.6 = 1359.9 \text{ kNm}$$

$$M'_C = 0.91 \times 1448.6 = 1359.9 \text{ kNm}$$

$$M'_D = 0.91 \times 1483.6 = 1392.8 \text{ kNm}$$

Tasarım azaltma katsayıları ve dayanım azaltma katsayıları kullanılarak elde edilen değerler,

$$P'_{Ad} = 0.91 \times 0.75 \times 16146.6 = 11060.8 \text{ kN}$$

$$P'_{Bd} = 0.91 \times 0.75 \times 0 = 0$$

$$P'_{Cd} = 0.91 \times 0.75 \times 9397.9 = 6437.8 \text{ kN}$$

$$P'_{Dd} = 0.91 \times 0.75 \times 5873.736 = 4023.6 \text{ kN}$$

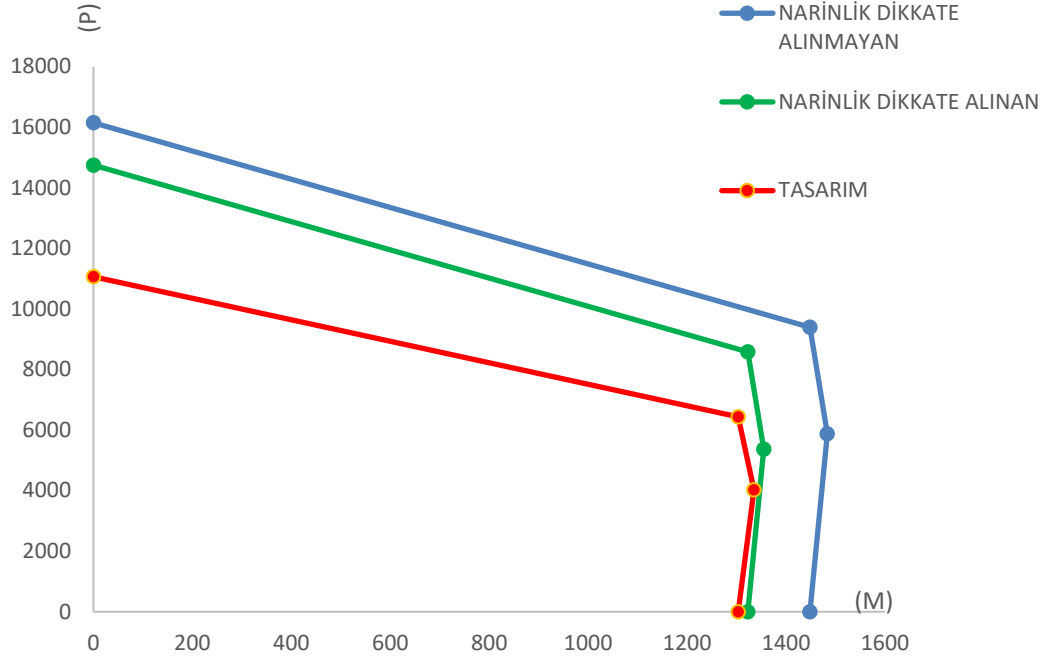
$$M'_{Ad} = 0.9 \times 0 = 0$$

$$M'_{Bd} = 0.9 \times 1448.6 = 1303.8 \text{ kNm}$$

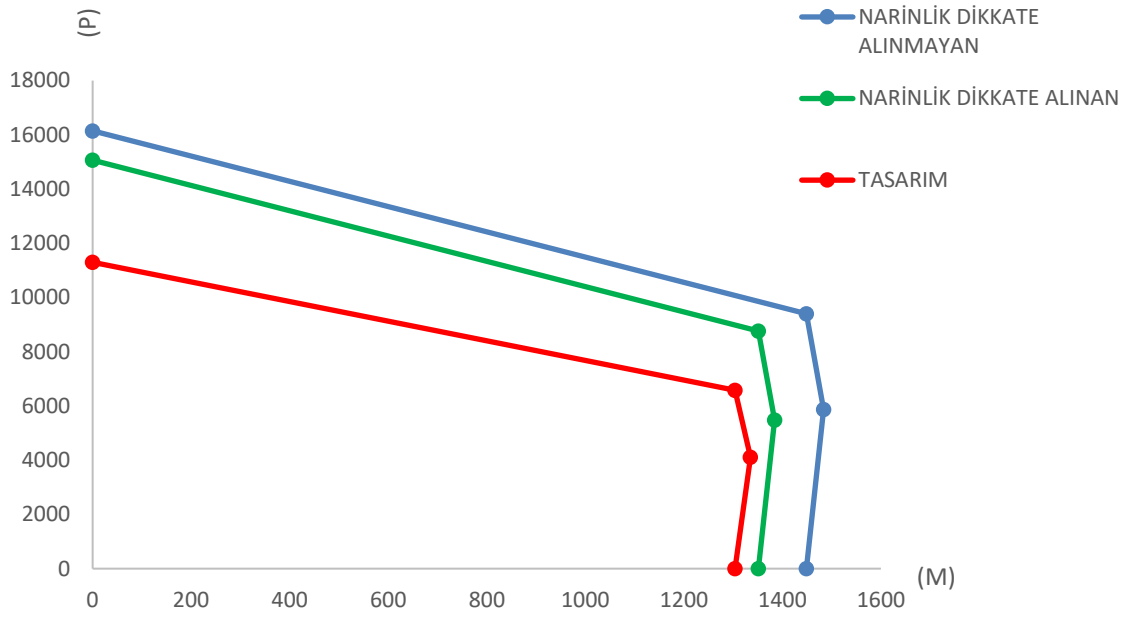
$$M'_{Cd} = 0.9 \times 1448.6 = 1303.8 \text{ kNm}$$

$$M'_{Dd} = 0.9 \times 1483.6 = 1335.3 \text{ kNm}$$

En elverişsiz iç kuvvetleri oluşturacak yük birleşimleri sonucu boru kesitli çelik gömme kompozit kolonu için elde edilen etkileşim diyagramı ve en elverişsiz durumu oluşturan iç kuvvetler aynı diyagram üzerinde Şekil 3.27 ve 3.28 ile gösterilmiştir.



Şekil 3.27. Zemin kat kolonların (BG) karşılıklı etki diyagramı



Şekil 3.28. Diğer tüm katlardaki kolonların (BG) karşılıklı etki diyagramı

3.4.5. Doğrusal Olmayan Analiz Modelinin Oluşturulması

Binanın analiz modelinin oluşturulmasında sistem analizleri için oluşturulan SAP2000 dosyasından faydalanılmıştır. Bu SAP2000 dosyasında aşağıdaki maddelerdeki sıra ile performans analizi uygulanmıştır.

Kompozit Kesitlerin Plastik Mafsal Özelliklerinin Oluşturulması

Taşıyıcı sistem elemanlarında meydana gelecek hasarların tespit edilebilmesi için bu elemanların plastik mafsal özelliklerinin belirlenmesi gereklidir (Razaziyan ve Amani 2016). Bu yüzden kompozit kolonlar SAP2000 V21 programında “Section Designer” ara yüzünde oluşturulmuştur.

Doğrusal Olmayan Malzemenin Modellenmesi

TBDY-2018’in 5.4.1.5 (b) maddesine göre yeni yapılacak olan yapılarda Şekil Değiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım yaklaşımında beton, donatı çeliği ve yapı çeliğinin beklenen ortalama dayanımları kullanılmaktadır. Beton, donatı çeliği ve yapı çeliğinin beklenen ortalama dayanımları Tablo 3.90’da verilmiştir.

Tablo 3.90. Beklenen (Ortalama) Malzeme Dayanımları

Beton	$f_{ce}=1.3f_{ck}$
Donatı Çeliği	$f_{ye}=1.2f_{yk}$
Yapı Çeliği(S235)	$f_{ye}=1.5f_{yk}$
Yapı Çeliği(S275)	$f_{ye}=1.3f_{yk}$
Yapı Çeliği(S355)	$f_{ye}=1.1f_{yk}$
Yapı Çeliği(S460)	$f_{ye}=1.1f_{yk}$

Burada;

f_{ce} ; Betonun ortalama basınç dayanımı,

f_{ck} ; Betonun karakteristik basınç dayanımı,

f_{yk} ; Donatı çeliği veya yapı çeliği karakteristik akma dayanımı,

f_{ye} ; Donatı çeliği veya yapı çeliğinin ortalama basınç dayanımını ifade etmektedir.

Beton Malzemenin Oluşturulması

Binada C40 beton sınıfı kullanılmıştır. SAP2000’de tanımlanan beton malzemesinin özellikleri aşağıda verilmiştir.

f_{ck} :40 N/mm²

f_{ce} :1.3x40=>52 N/mm²

Beton Elastisite Modülü (E_c): $0.043 \times w_c^{1.5} \times \sqrt{f_{ck}} = 0.043 \times 25^{1.5} \times 10^3 \times \sqrt{40} = 1075000 \text{ N/mm}^2$

Beton birim hacim ağırlığı (γ): 25 kN/m^3

Poisson oranı (μ): 0.2

Yukarıda ifade edilen özelliklerin SAP2000 programında girilmesi Şekil 3.29’da bu verilere bağlı olarak elde edilen sargısız betonun Mander gerilme-Şekildeğiştirme diyagramı ise Şekil 3.30 ile verilmiştir.

Material Property Data

Material Name: C40/50

Material Type: Concrete

Symmetry Type: Isotropic

Modulus of Elasticity: E = 1075000

Poisson: U = 0.2

Coeff of Thermal Expansion: A = 1.000E-05

Shear Modulus: G = 447916.7

Weight and Mass: Weight per Unit Volume = 2.499E-05, Mass per Unit Volume = 2.549E-09

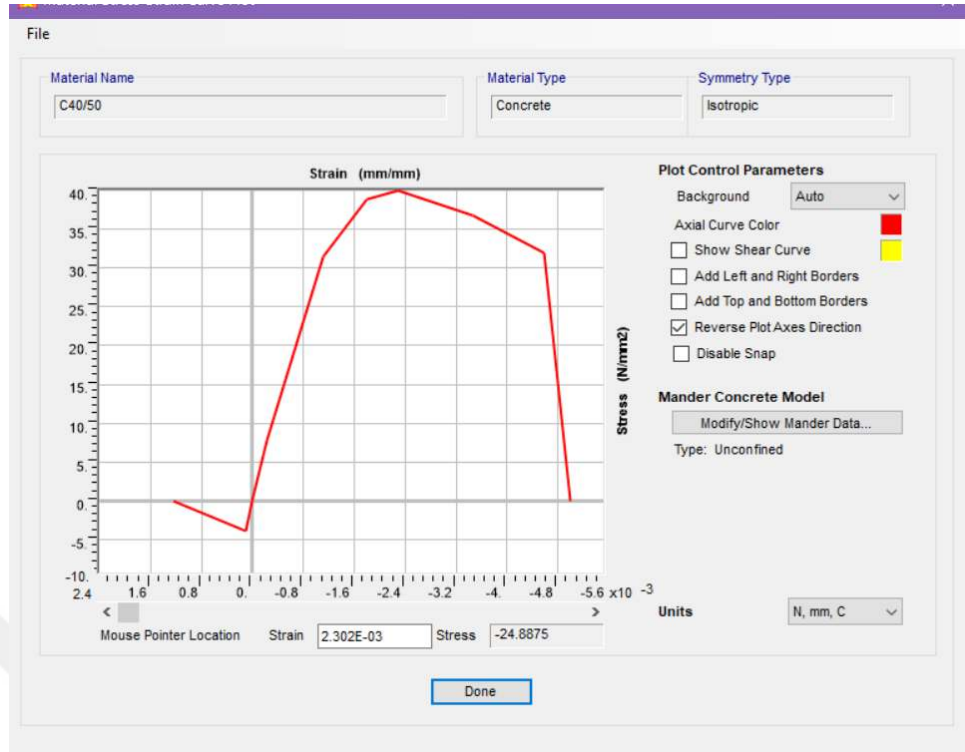
Units: N, mm, C

Other Properties For Concrete Materials: Specified Concrete Compressive Strength, f_c = 40, Expected Concrete Compressive Strength = 40, ☒ Lightweight Concrete, Shear Strength Reduction Factor = 1.

Advanced Material Property Data: Nonlinear Material Data..., Material Damping Properties..., Time Dependent Properties...

OK Cancel

Şekil 3.29. SAP2000’de malzeme özelliklerinin girilmesi



Şekil 3.30. Sargısız betonun Mander gerilme-Şekildeğiştirme diyagramı

Donatı Çeliği Malzemesinin Oluşturulması

Binada S420 donatı çeliği kullanılmıştır. SAP2000’de tanımlanan donatı çeliğinin özellikleri aşağıda verilmiştir. Donatı çeliğinin bu özelliklerinin belirlenmesinde TBDY-2018 Tablo 5A.1’den faydalanılmıştır.

$$f_{yk}=420 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ye}=1.2 \times 420 = 504 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Elastisite Modülü } (E_s): 200000 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Poisson oranı } (\mu): 0.3$$

$$\text{Donatı çeliğinin akma birim şekildeğiştirmesi } (\varepsilon_{sy}): 0.0021$$

$$\text{Donatı çeliğinin pekleşme başlangıcındaki birim şekildeğiştirmesi } (\varepsilon_{sh}): 0.008$$

$$\text{Donatı çeliğinin kopma birim şekildeğiştirmesi } (\varepsilon_{su}): 0.08$$

$$\text{Donatı çeliğinin akma dayanım}(f_{ye})_1: 504 \text{ N/mm}^2$$

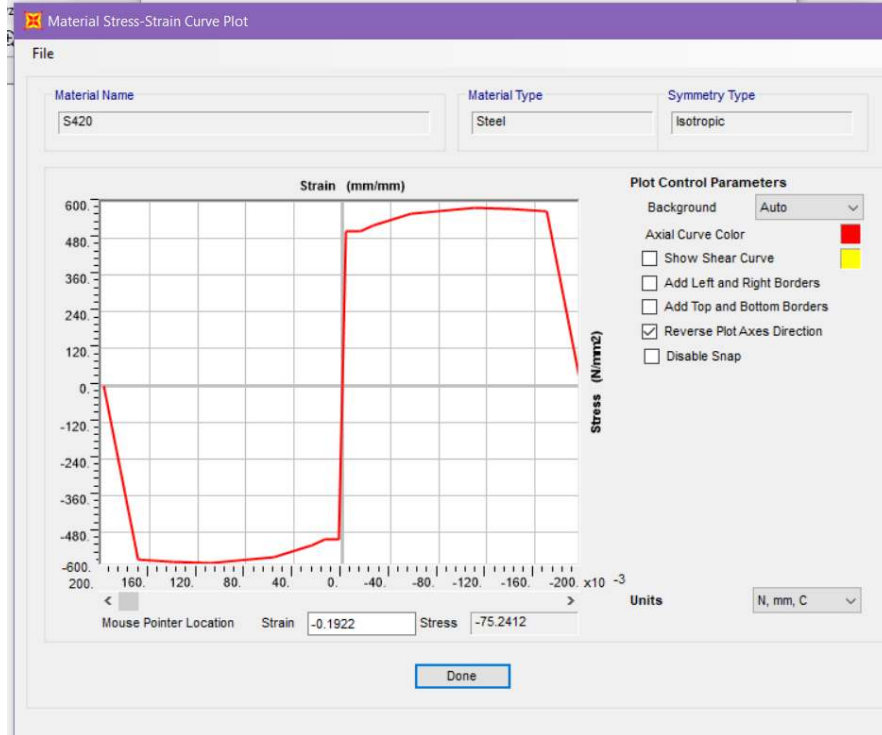
$$\text{Donatı çeliğinin kopma dayanım}(f_{ye})_1: 1.15 \times 504 = 580 \text{ N/mm}^2$$

Yukarıda ifade edilen özelliklerin SAP2000 programında girilmesi Şekil 3.31’de, bu verilere bağlı olarak elde edilen Gerilme-Şekildeğiştirme diyagramı ise Şekil 3.32 ile verilmiştir.

Material Property Data

Material Name S420	Material Type Steel	Symmetry Type Isotropic
Modulus of Elasticity E 200000.	Weight and Mass Weight per Unit Volume 0. Mass per Unit Volume 0.	
Poisson U 0.3	Units N, mm, C	
Coeff of Thermal Expansion A 1.200E-05	Other Properties For Steel Materials Minimum Yield Stress, Fy 504. Minimum Tensile Stress, Fu 580. Expected Yield Stress, Fye 504. Expected Tensile Stress, Fue 580.	
Shear Modulus G 76923.08	Advanced Material Property Data Nonlinear Material Data... Time Dependent Properties... Material Damping Properties...	
OK Cancel		

Şekil 3.31. Malzeme özelliklerinin SAP2000'e girilmesi



Şekil 3.32. Çelik donatı malzemesinin gerilme-şekildeğiştirme diyagramı

Yapı Çeliği Malzemesinin Oluşturulması

Binada ana kirişler ve bağ kirişleri için S355 ve çaprazlar için S275 yapı çeliği kullanılmıştır. SAP2000’de tanımlanan donatı çeliğinin özellikleri aşağıda verilmiştir. Yapı çeliğinin bu özelliklerinin belirlenmesinde TBDY-2018 Tablo 5A.1.’den faydalanılmıştır.

$$f_{yk}=420 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ye}=1.2 \times 420 = 504 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Elastisite Modülü } (E_s): 200000 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Poisson oranı } (\mu): 0.3$$

$$\text{Yapı çeliğinin akma birim şekildeğiştirmesi } (\varepsilon_{sy}): 0.0021$$

$$\text{Yapı çeliğinin pekleşme başlangıcındaki birim şekildeğiştirmesi } (\varepsilon_{sh}): 0.008$$

$$\text{Yapı çeliğinin kopma birim şekildeğiştirmesi } (\varepsilon_{su}): 0.08$$

$$\text{Yapı çeliğinin akma dayanım}(f_{ye})_1: 504 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Yapı çeliğinin kopma dayanım}(f_{ye})_1: 1.15 \times 504 = 580 \text{ N/mm}^2$$

Plastik Mafsal Tanımı ve mafsal kesitlerinin oluşturulması

Merkezi ve dışmerkez çaprazlı çerçeve çapraz ve bağ kiriş elemanları için TBDY-2018 bölüm 5’te yer alan şekil değiştirme sınırları dikkate alınarak tanımlanmıştır.

TBDY-2018 bölüm 5.8.2’ye göre EK 5C-5C 5’deki bağ kirişteki plastik dönme sınırlarına göre belirlenecektir ve bunlar Tablo 3.91 ile verilmiştir. Bağ kiriş plastik kesme dayanımı Denklem 3.31’e göre belirlenmektedir.

$$V=V_p = 0.6x F_y x (d - 2t_f) x t_w \quad (3.31)$$

Tablo 3.91. Plastik mafsal kesme dayanımı değerleri

	YDÇÇ modeller ($e = 0.8 \text{ m}$)	DÇÇ modeller ($e = 1 \text{ m}$)
SH ($0.005xe$)	0.004	0.005
KH ($0.12xe$)	0.096	0.12
GÖ ($0.15xe$)	0.12	0.15

Dış merkezi çaprazlı modellerde bulunan bağ kirişlerin plastik mafsal kesme dayanımı değerleri tüm elemanlar için Tablo 3.92 ve 3.93 ile verilmiştir.

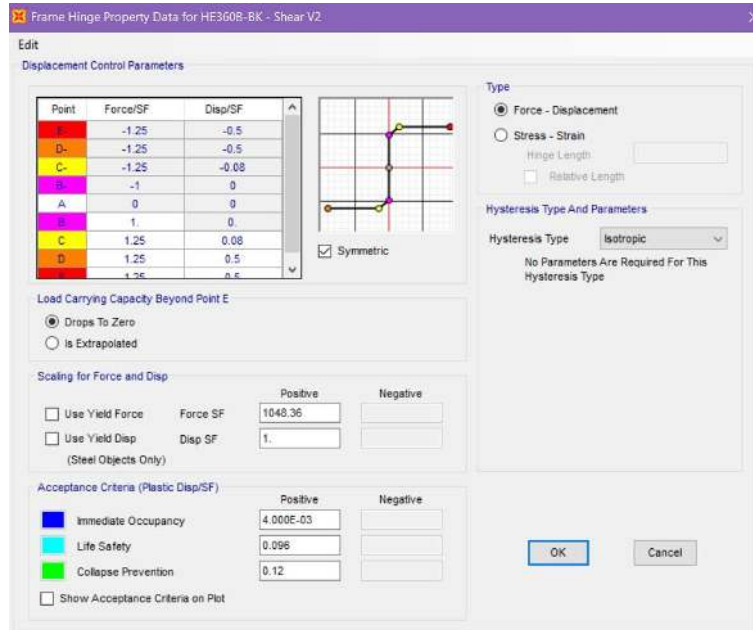
Tablo 3.92. DÇÇ’lerin bağ kirişlerin plastik mafsal kesme dayanımı değerleri

Kat	Kesit	Malzeme	(d)(mm)	(t_f)(Mm)	(t_w)(mm)	V_p (kN)
Çatı	HE400B	S355	400	24	13.5	1265.22
6	HE360B	S355	360	22.5	12.5	1048.36
5	HE360B	S355	360	22.5	12.5	1048.36
4	HE340B	S355	340	21.5	12	948.92
3	HE340B	S355	340	21.5	12	948.92
2	HE320B	S355	320	20.5	11.5	854.26
1	HE320B	S355	320	20.5	11.5	854.26

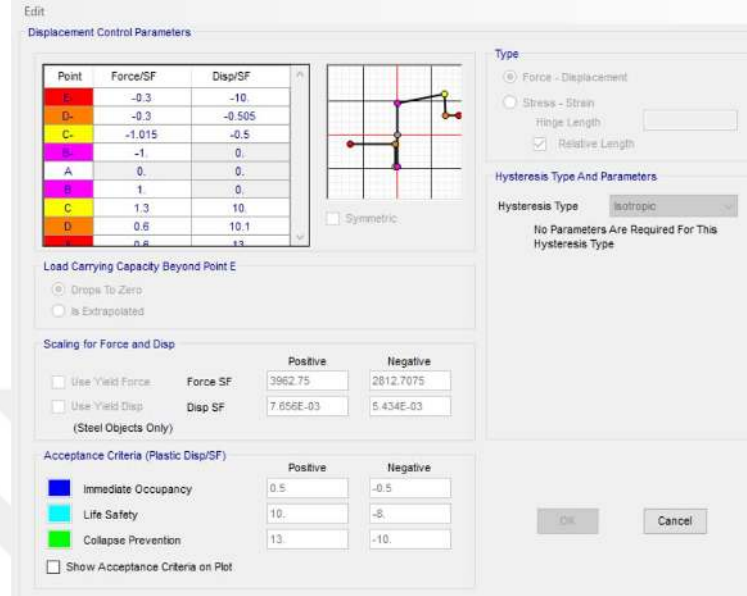
Tablo 3.93. YDÇÇ’lerin bağ kirişlerin plastik mafsal kesme dayanımı değerleri

Kat	Kesit	Malzeme	(d)(mm)	(t_f)(mm)	(t_w)(mm)	V_p (kN)
Çatı	HE360B	360	22.5	12.5	1048.359	1048.36
6	HE360B	360	22.5	12.5	1048.359	1048.36
5	HE340B	340	21.5	12	948.915	1048.36
4	HE340B	340	21.5	12	948.915	948.92
3	HE320B	320	20.5	11.5	854.2631	948.92
2	HE320B	320	20.5	11.5	854.2631	854.26
1	HE320B	320	20.5	11.5	854.2631	854.26

Dış merkezi çaprazlı çerçeve taşıyıcı sistemlerde bağ kirişlere atanacak olan kesme mafsalları SAP2000 programında deformasyon kontrollü “Shear V2” olarak tanımlanmıştır (Şekil 3.33).

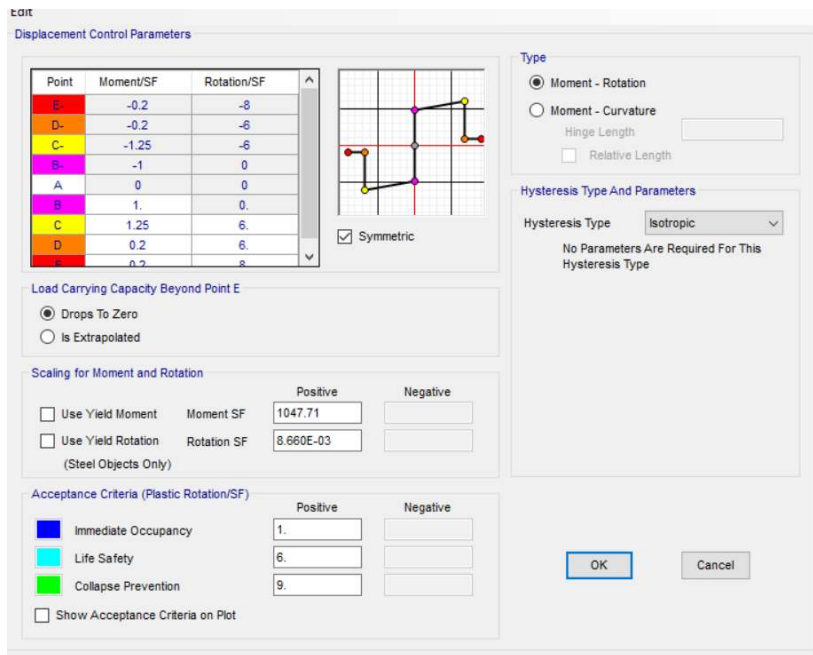
**Şekil 3.33.** HE360B kesitine ait plastik kesme kuvveti mafsalı tanımı

Dış merkezi çaprazlı çerçeveli taşıyıcı sistemlerde çaprazlara atanacak olan eksenel kuvvet mafsalları SAP2000 programında deformasyon kontrollü “Axial P” olarak tanımlanmıştır (Şekil 3.34).



Şekil 3.34. HE280B kesitine ait plastik eksenel kuvvet mafsalı tanımı

Kirişlerinde doğrusal olmayan davranışın tanımlanması için, elemanların uçlarında yığılı plastik davranış modeline göre plastik mafsalları tanımlanmıştır. SAP2000 programında mafsalları tanımlama menüsünde “Moment M3” tipi seçilmiştir (Şekil 3.35).



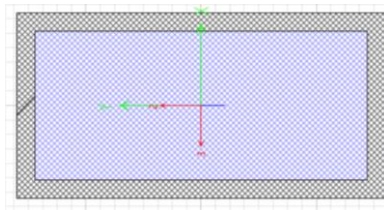
Şekil 3.35. HE360B kesitine ait plastik moment mafsalı tanımı

Kolonlarda doğrusal olmayan davranışın tanımlanması için, öncelikle “Section Designer” komutundan kolon kesitleri modellenmiştir. Kolon kesitlerin özellikleri Tablo 3.94 ile verilmiştir.

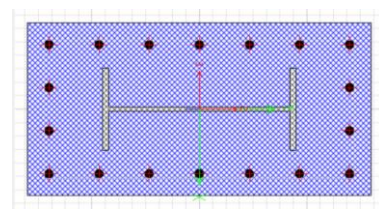
Tablo 3.94. Kompozit kolonların kesit özellikleri

Kesit Adı		bxh	Donatı Bilgileri		
			Alt-Üst Donatı	Sağ-Sol Donatı	Enine Donatı
Kutu Dolgu (KD)	CC80X40	80X40	-	-	-
Kutu Gömme (KG)	CC80X40-IPE450	80X40	4 ϕ 20-4 ϕ 20	7 ϕ 20-7 ϕ 20	8 ϕ /9
Boru Dolgu (BD)	CC64X3.2	64X64	-	-	-
Boru Gömme (BG)	CC64X3.2-IPE450	64X64	8 ϕ 20		8 ϕ /9

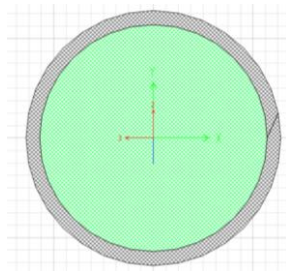
Örnek olması açısından Section Designer’da modellenen kutu kesitli beton dolgulu, kutu kesitli çelik gömme, boru kesitli beton dolgulu ve boru kesitli çelik gömme kompozit kolonlar Şekil 3.36 ile gösterilmiştir.



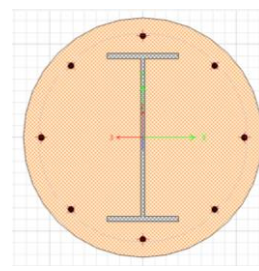
a. Kutu kesitli beton dolgulu kolon kesiti
(KD)



b. Kutu kesitli çelik gömme kolon kesiti
(KG)



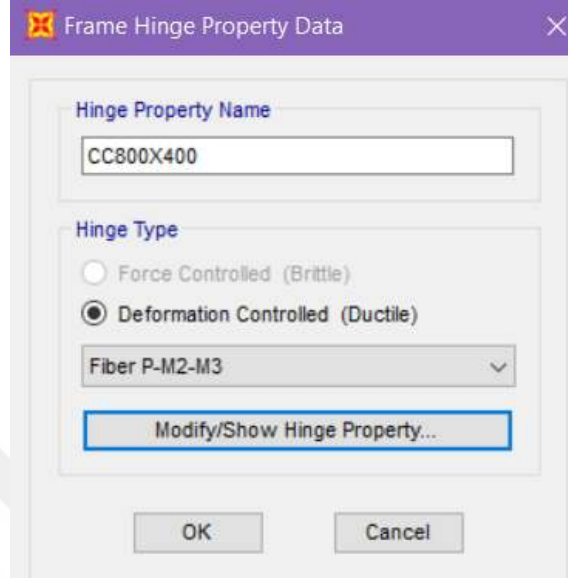
c. Boru kesitli beton dolgulu kolon kesiti
(BD)



d. Boru kesitli çelik gömme kolon kesiti
(BG)

Şekil 3.36. Kompozit kolonların SAP2000’de Section Designer arayüzdeki görüntüleri

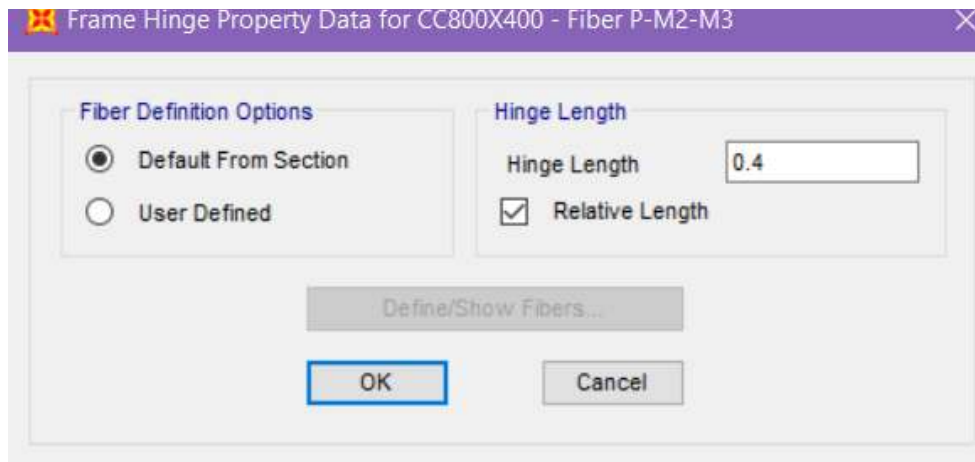
Elemanların uçlarında yayılı plastik davranış modeline göre kesit hücresi (lif) tanımı yapılmıştır. SAP2000 programında plastik davranış modeli oluşturmak için mafsalsal tanımlama menüsünde “Fiber P-M2-M3” mafsalsal tipi seçilmiştir (Şekil 3.37).



Şekil 3.37. Kutu kesitli beton dolgulu kompozit kolonun mafsalsal tanımı

Lif tanımı yapılırken plastik mafsalsal boyu programa veri olarak girilmiştir. TBDY-2018 Bölüm 5.3.1.2'ye göre plastik mafsalsal boyu L_p kesit yüksekliğinin yarısı olarak alınmıştır (Şekil 3.38.)

$$L_p = 0.5xh \quad (3.32)$$



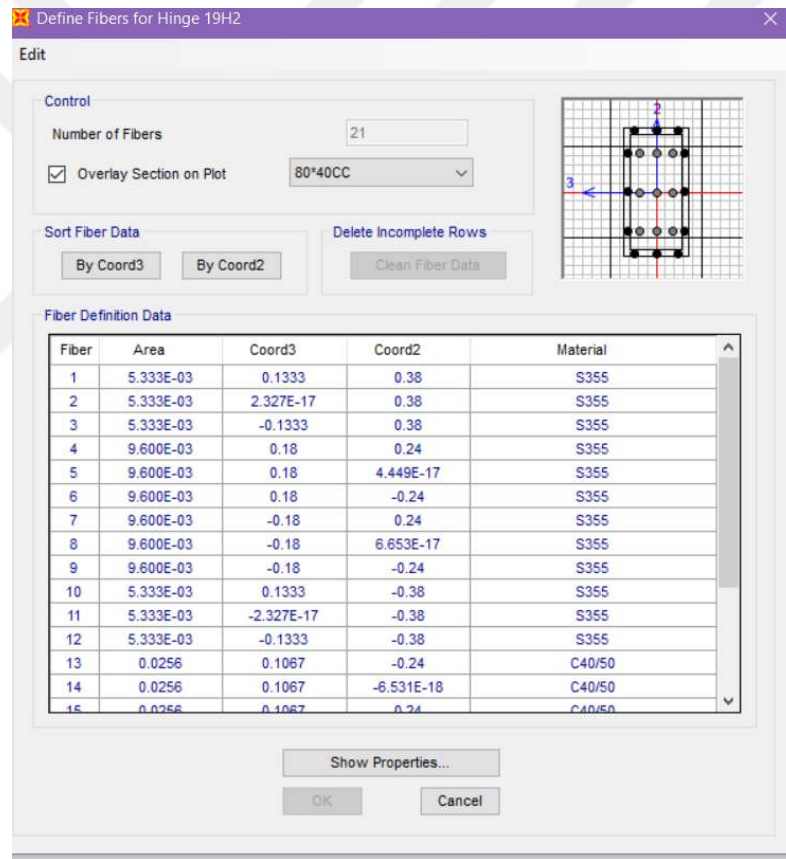
Şekil 3.38. Kutu kesitli beton dolgulu kompozit kolonun mafsalsal boyu tanımı

Tüm kolon kesitleri için L_p değerleri Tablo 3.95 ile verilmiştir.

Tablo 3.95. Kompozit kolonların mafsalsal boyu

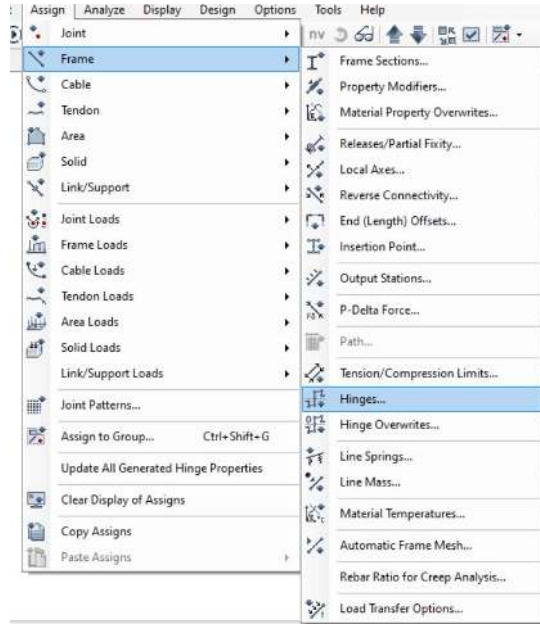
Kolon kesitleri	Kolon tipi	h(m)	L_p (m)
CC800x400	Kutu kesitli beton dolgulu kolon	0.8	0.4
CC800x400IPE450	Kutu kesitli çelik gömme kolon	0.8	0.4
CC640x32	Boru kesitli beton dolgulu kolon	0.64	0.32
CC640x32-IPE450	Boru kesitli çelik gömme kolon	0.64	0.32

Program “Section Designer” menüsünde tanımlanmış kesit ve malzeme özelliklerini doğrudan lif özellikleri olarak kullanabilmektedir (Şekil 3.39).

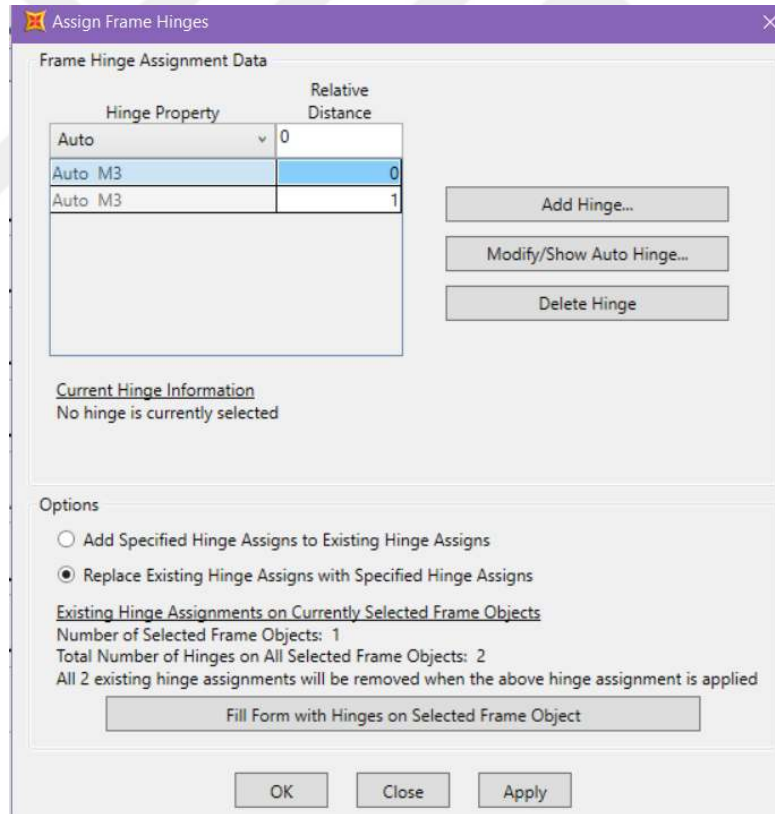


Şekil 3.39. Kutu kesitli beton dolgulu kompozit kolonun lif özellikleri

Oluşturulan plastik mafsalsal kesitleri SAP2000 V21’de ilgili elemanlar seçildikten sonra “Assign -> Frame-> Hinges” komutuyla atanır. Kirişler ve kolonların her iki ucuna, bağ kiriş ve çaprazların orta noktalarına atanmıştır. Şekil 3.40 ve 3.41 ile atama komutu görünmektedir.

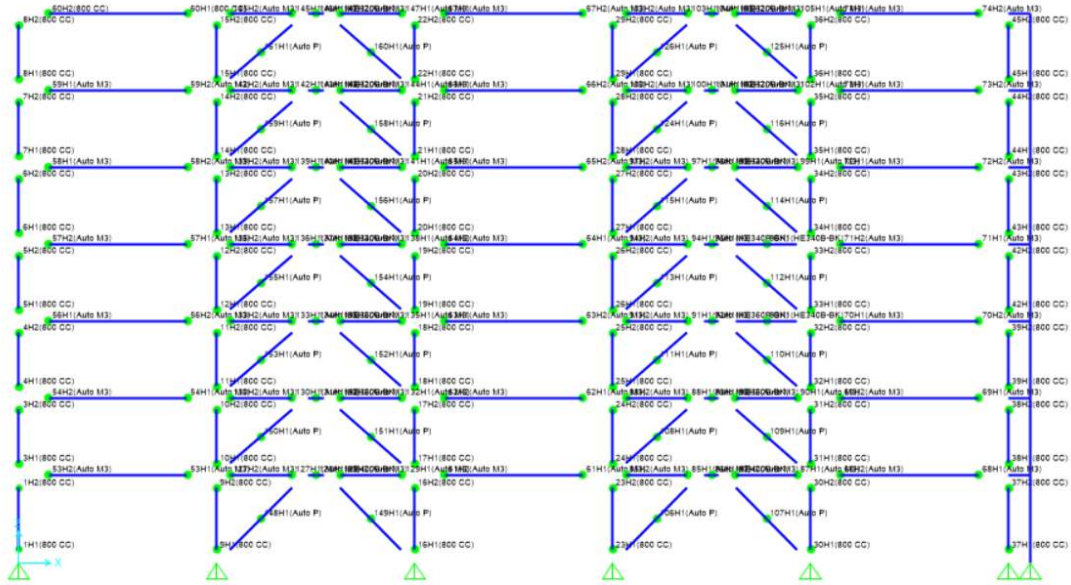


Şekil 3.40. Plastik mafsals atama komutu



Şekil 3.41. Plastik mafsals atama arayüzü

Taşıyıcı elemanlara atanan plastik mafsallar düşey bağ kirişli dış merkezi çaprazlı, yatay bağ kirişli dış merkezi çaprazlı ve merkezi çaprazlı çerçeve sistemlerde Şekil 3.42, 3.43 ve 3.44'te gösterilmiştir.



Şekil 3.42. Yatay bağ kirişli dış merkezi çaprazlı çerçeve sistemin plastik mafsalları görünümü



Şekil 3.43. Merkezi çaprazlı çerçeve sistemin plastik mafsalları görünümü

Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: DL [Set Def Name] [Modify/Show...]

Initial Conditions:
☒ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
☐ Continue from State at End of Nonlinear Case [DL] [v]
 Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Modal Load Case:
 All Modal Loads Applied Use Modes from Case: MODAL [v]

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	G	1.0
Load Pattern	Q	0.3

[Add] [Modify] [Delete]

Other Parameters:
 Load Application: Full Load [Modify/Show...]
 Results Saved: Final State Only [Modify/Show...]
 Nonlinear Parameters: Default [Modify/Show...]

Load Case Type: Static [v] [Design...]
 Analysis Type: ☐ Linear ☒ Nonlinear
 Geometric Nonlinearity Parameters: ☐ None ☒ P-Delta ☐ P-Delta plus Large Displacements
 Mass Source: MSSSRC1 [v]

[OK] [Cancel]

Şekil 3.45. İtme analizi başlangıç yüklemesi

Sabit tek modlu itme analizi, deprem doğrultusunda hâkim titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde yük artımı prensibine dayanmaktadır. Yapıya etkileyen eşdeğer deprem yükü X doğrultusunda belirlenmişti. Yapı (X-X) doğrultusunda deplasman kontrollü olacak şekilde tek modlu statik itme analizleri için gerekli yüklemeler Şekil 3.46’da tanımlanmıştır. Tanımlanan deprem yükü etkisinde maksimum deplasman ile itilmektedir.

Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: PUSH X [Set Def Name] [Modify/Show...]

Initial Conditions:
☐ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
☒ Continue from State at End of Nonlinear Case [DL] [v]
 Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Modal Load Case:
 All Modal Loads Applied Use Modes from Case: MODAL [v]

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	EX-2	1.0

[Add] [Modify] [Delete]

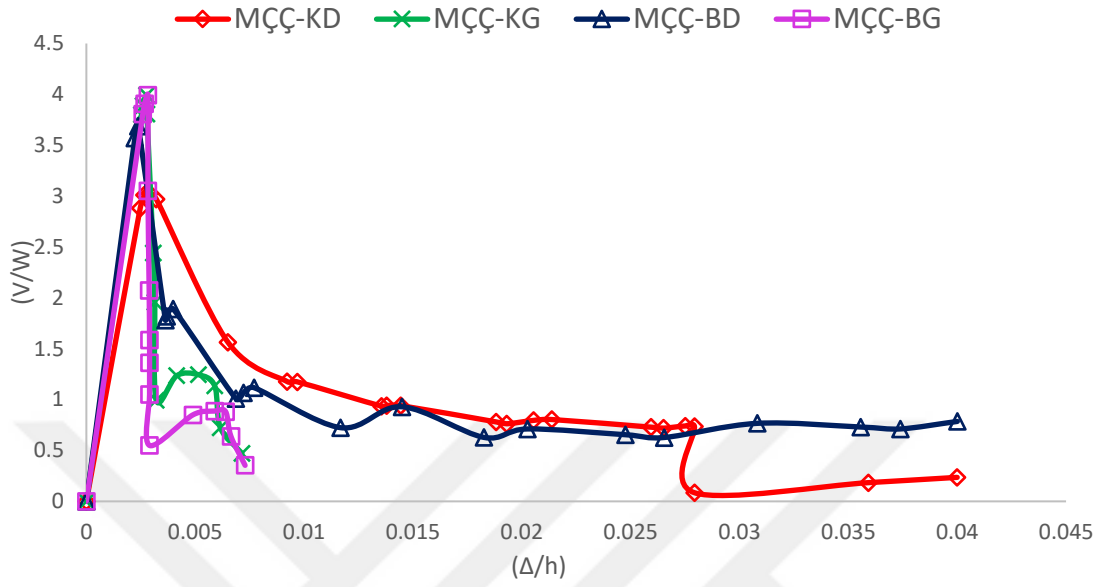
Other Parameters:
 Load Application: Displ Control [Modify/Show...]
 Results Saved: Multiple States [Modify/Show...]
 Nonlinear Parameters: Default [Modify/Show...]

Load Case Type: Static [v] [Design...]
 Analysis Type: ☐ Linear ☒ Nonlinear
 Geometric Nonlinearity Parameters: ☐ None ☒ P-Delta ☐ P-Delta plus Large Displacements
 Mass Source: MSSSRC1 [v]

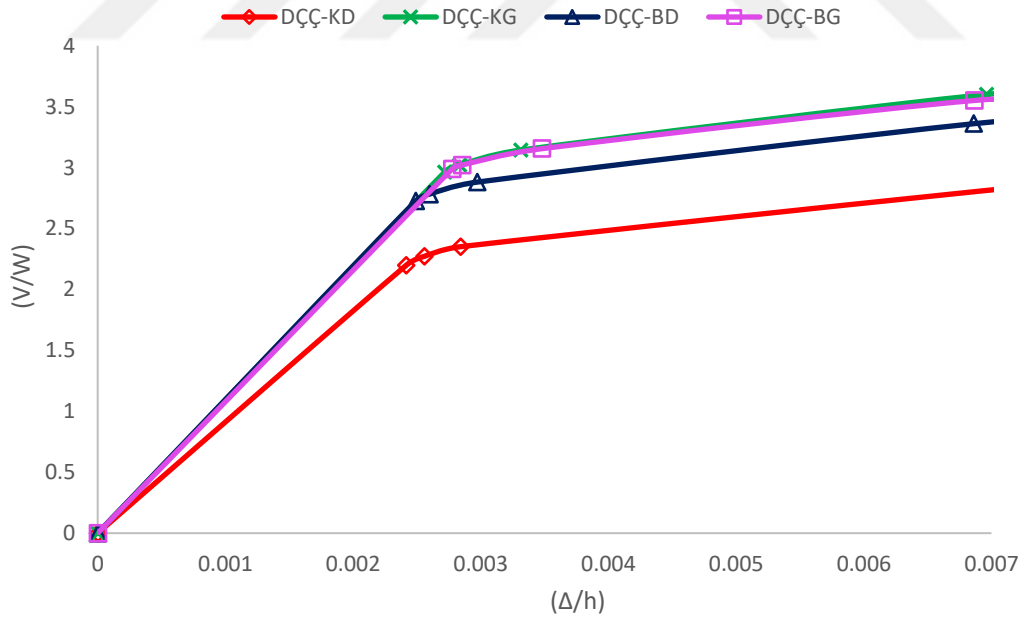
[OK] [Cancel]

Şekil 3.46. Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi

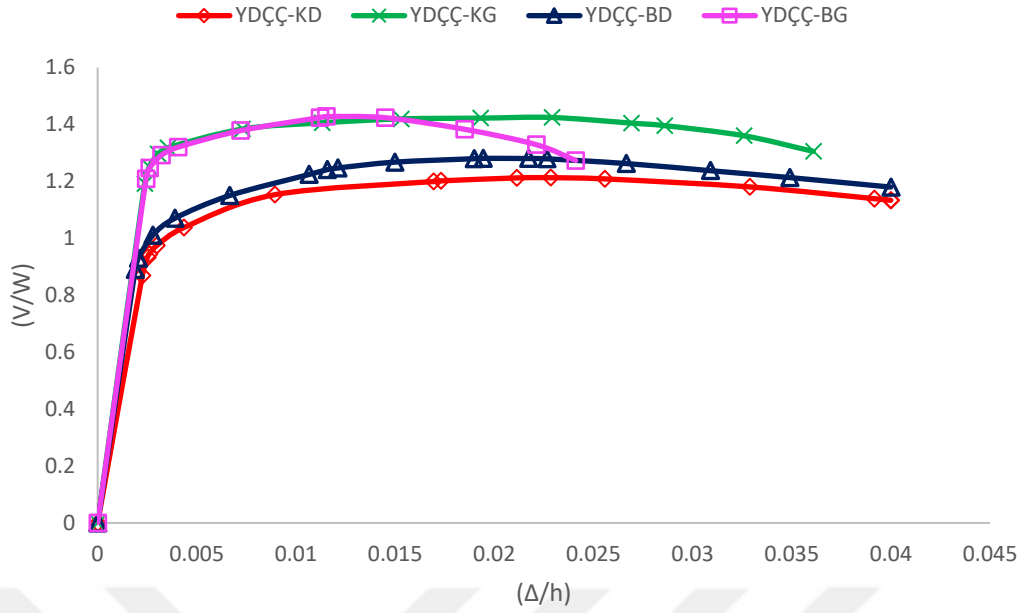
Statik itme analizleri sonucu elde edilen kapasite eğrileri her bir model için Şekil 3.47, 3.48 ve 3.49’da verilmiştir.



Şekil 3.47. MÇÇ'lerin 1 metrelik itme sonucu kapasite eğrileri



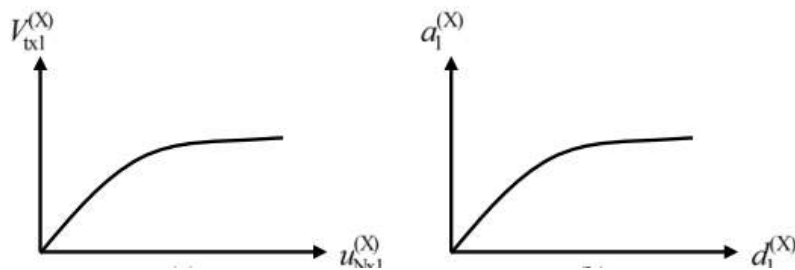
Şekil 3.48. DÇÇ'lerin 1 metrelik itme sonucu kapasite eğrileri



Şekil 3.49. YDÇÇ'lerin 1 metrelik itme sonucu kapasite eğrileri

Hedef Deplasman Seviyesinin Belirlenmesi

Binanın taşıyıcı elemanlarında meydana gelecek hasarların belirlenmesi için binanın ilgili doğrultuda hedef deplasman seviyesine kadar statik itme analizine tabi tutulması gerekir. Hedef deplasman seviyesinin belirlenmesi için kapasite eğrisi ile talep spektrumu aynı grafikte kesiştirilerek belirlenir. Kapasite eğrisiyle talep spektrumunun eksenleri aynı olmadığından, öncelikle kapasite eğrisinin eksen takımının koordinatlarının dönüştürülmelidir. Kapasite eğrisinin eksenlerinin koordinatlarının değiştirilmesi ile modal kapasite eğrisi elde edilir. Şekil 3.50'de eksen takımı spektral ivme (S_a) ve spektral yer değiştirme (S_d) eksenleri elde edilmektedir. Eksen dönüştürme hakkında TBDY-2018 5B.1 maddesinde bulunmaktadır.



Şekil 3.50. Spektral ivme ve spektral yer değiştirme eksenleri (TBDY, 2018)

Eksen takımının dönüştürülmesi için gerekli parametreler Tablo 3.96-3.107 ile verilmiştir.

Tablo 3.96. Kutu kesitli beton dolgulu kompozit kolonlu merkezi çaprazlı çerçevelerin eksen takımı dönüşüm parametreleri

Yön	Kat	Kat Kütlesi (kNs ² /m)	Mod Şekli Genliği (m)	M_1 (kNs ² /m)	L_{x1} (kNs ²)	$T_1^{(x)}$ (1/m)	M_{1x} (kNs ² /m)
X	Çatı	5052.375	0.0184	0.636	45.747	71.939	3282.414
	6	5568.75	0.0170				
	5	5568.75	0.0150				
	4	5568.75	0.0125				
	3	5568.75	0.0096				
	2	5568.75	0.0065				
	1	5568.75	0.0034				

Tablo 3.97. Kutu kesitli çelik gömme kompozit kolonlu merkezi çaprazlı çerçevelerin eksen takımı dönüşüm parametreleri

Yön	Kat	Kat Kütlesi (kNs ² /m)	Mod Şekli Genliği (m)	M_1 (kNs ² /m)	L_{x1} (kNs ²)	$T_1^{(x)}$ (1/m)	M_{1x} (kNs ² /m)
X	Çatı	5052.375	0.0195	0.658	45.701	69.489	3160.511
	6	5568.75	0.0176				
	5	5568.75	0.0152				
	4	5568.75	0.0122				
	3	5568.75	0.0091				
	2	5568.75	0.0059				
	1	5568.75	0.0029				

Tablo 3.98. Boru kesitli beton dolgulu kompozit kolonlu merkezi çaprazlı çerçevelerin eksen takımı dönüşüm parametreleri

Yön	Kat	Kat Kütlesi (kNs ² /m)	Mod Şekli Genliği (m)	M_1 (kNs ² /m)	L_{x1} (kNs ²)	$T_1^{(x)}$ (1/m)	M_{1x} (kNs ² /m)
X	Çatı	5052.375	0.0188	0.653	46.072	70.559	3242.224
	6	5568.75	0.0173				
	5	5568.75	0.0152				
	4	5568.75	0.0125				
	3	5568.75	0.0095				
	2	5568.75	0.0063				
	1	5568.75	0.0033				

Tablo 3.99. Boru kesitli çelik gömme kompozit kolonlu merkezi çaprazlı çerçevelerin eksen takımı dönüşüm parametreleri

Yön	Kat	Kat Kütlesi (kNs ² /m)	Mod Şekli Genliği (m)	M_1 (kNs ² /m)	L_{x1} (kNs ²)	$T_1^{(x)}$ (1/m)	M_{1x} (kNs ² /m)
X	Çatı	5052.375	0.0196	0.657	45.52	69.273	3145.85
	6	5568.75	0.0177				
	5	5568.75	0.0152				
	4	5568.75	0.0122				
	3	5568.75	0.0090				
	2	5568.75	0.0056				
	1	5568.75	0.0029				

Tablo 3.100. Kutu kesitli beton dolgulu kompozit kolonlu yatay bağ kirişli dış merkezi çaprazlı çerçevelerin eksen takımı dönüşüm parametreleri

Yön	Kat	Kat Kütlesi (kNs ² /m)	Mod Şekli Genliği (m)	M_1 (kNs ² /m)	L_{x1} (kNs ²)	$T_1^{(x)}$ (1/m)	M_{1x} (kNs ² /m)
X	Çatı	5052.375	0.0189	0.668	46.77	70.063	3271.396
	6	5568.75	0.0174				
	5	5568.75	0.0153				
	4	5568.75	0.0127				
	3	5568.75	0.0097				
	2	5568.75	0.0066				
	1	5568.75	0.0034				

Tablo 3.101. Kutu kesitli çelik gömme kompozit kolonlu yatay bağ kirişli dış merkezi çaprazlı çerçevelerin eksen takımı dönüşüm parametreleri

Yön	Kat	Kat Kütlesi (kNs ² /m)	Mod Şekli Genliği (m)	M_1 (kNs ² /m)	L_{x1} (kNs ²)	$T_1^{(x)}$ (1/m)	M_{1x} (kNs ² /m)
X	Çatı	5052.375	0.0194	0.671	46.39	69.163	3199.446
	6	5568.75	0.0177				
	5	5568.75	0.0154				
	4	5568.75	0.0124				
	3	5568.75	0.0094				
	2	5568.75	0.0062				
	1	5568.75	0.0030				

Tablo 3.102. Boru kesitli beton dolgulu kompozit kolonlu yatay bağ kirişli dış merkezi çaprazlı çerçevelerin eksen takımı dönüşüm parametreleri

Yön	Kat	Kat Kütlesi (kNs ² /m)	Mod Şekli Genliği (m)	M_1 (kNs ² /m)	L_{x1} (kNs ²)	$T_1^{(x)}$ (1/m)	M_{1x} (kNs ² /m)
X	Çatı	5052.375	0.0190	0.668	46.68	69.876	3255.281
	6	5568.75	0.0175				
	5	5568.75	0.0154				
	4	5568.75	0.0127				
	3	5568.75	0.0097				
	2	5568.75	0.0065				
	1	5568.75	0.0033				

Tablo 3.103. Boru kesitli çelik gömme kompozit kolonlu yatay bağ kirişli dış merkezi çaprazlı çerçevelerin eksen takımı dönüşüm parametreleri

Yön	Kat	Kat Kütlesi (kNs ² /m)	Mod Şekli Genliği (m)	M_1 (kNs ² /m)	L_{x1} (kNs ²)	$T_1^{(x)}$ (1/m)	M_{1x} (kNs ² /m)
X	Çatı	5052.375	0.0191	0.671	46.33	69.038	3188.115
	6	5568.75	0.0178				
	5	5568.75	0.0154				
	4	5568.75	0.0124				
	3	5568.75	0.0093				
	2	5568.75	0.0061				
	1	5568.75	0.0029				

Tablo 3.104. Kutu kesitli beton dolgulu kompozit kolonlu düşey bağ kirişli dış merkezi çaprazlı çerçevelerin eksen takımı dönüşüm parametreleri

Yön	Kat	Kat Kütlesi (kNs ² /m)	Mod Şekli Genliği (m)	M_1 (kNs ² /m)	L_{x1} (kNs ²)	$T_1^{(x)}$ (1/m)	M_{1x} (kNs ² /m)
X	Çatı	5052.375	0.0194	0.688	47.46	68.935	3269.279
	6	5568.75	0.0177				
	5	5568.75	0.0155				
	4	5568.75	0.0128				
	3	5568.75	0.0099				
	2	5568.75	0.0067				
	1	5568.75	0.0035				

Tablo 3.105. Kutu kesitli çelik gömme kompozit kolonlu düşey bağ kirişli dış merkezi çaprazlı çerçevelerin eksen takımı dönüşüm parametreleri

Yön	Kat	Kat Kütlesi (kNs ² /m)	Mod Şekli Genliği (m)	M_1 (kNs ² /m)	L_{x1} (kNs ²)	$T_1^{(x)}$ (1/m)	M_{1x} (kNs ² /m)
X	Çatı	5052.375	0.0194	0.689	47.33	68.721	3248.302
	6	5568.75	0.0178				
	5	5568.75	0.0156				
	4	5568.75	0.0128				
	3	5568.75	0.0098				
	2	5568.75	0.0065				
	1	5568.75	0.0033				

Tablo 3.106. Boru kesitli beton dolgulu kompozit kolonlu düşey bağ kirişli dış merkezi çaprazlı çerçevelerin eksen takımı dönüşüm parametreleri

Yön	Kat	Kat Kütlesi (kNs ² /m)	Mod Şekli Genliği (m)	M_1 (kNs ² /m)	L_{x1} (kNs ²)	$T_1^{(x)}$ (1/m)	M_{1x} (kNs ² /m)
X	Çatı	5052.375	0.0193	0.688	47.40	68.886	3260.771
	6	5568.75	0.0177				
	5	5568.75	0.0156				
	4	5568.75	0.0129				
	3	5568.75	0.0099				
	2	5568.75	0.0066				
	1	5568.75	0.0034				

Tablo 3.107. Boru kesitli çelik gömme kompozit kolonlu düşey bağ kirişli dış merkezi çaprazlı çerçevelerin eksen takımı dönüşüm parametreleri

Yön	Kat	Kat Kütlesi (kNs ² /m)	Mod Şekli Genliği (m)	M_1 (kNs ² /m)	L_{x1} (kNs ²)	$T_1^{(x)}$ (1/m)	M_{1x} (kNs ² /m)
X	Çatı	5052.375	0.0193	0.689	47.26	68.622	3238.107
	6	5568.75	0.0179				
	5	5568.75	0.0157				
	4	5568.75	0.0128				
	3	5568.75	0.0098				
	2	5568.75	0.0065				
	1	5568.75	0.0032				

Modal kapasite eğrisinden çizilen başlangıç teğetinin talep spektrumunu kestiği nokta elastik tasarım spektral yerdeğiştirme $S_{de}(T_1)$ olarak ifade edilmektedir. X doğrultusu için elastik tasarım spektral yer değiştirmeler elde edilmiştir. Talep ve kapasite

spektrumlarının ikisi de elastik tabanlı olduğundan modal kapasite eğrisinden çizilen başlangıç teğetinin talep spektrumunu kestiği noktayı her zaman doğrusal olmayan spektral yer değiştirme $S_{di}(T_1)$ olarak ifade etmek doğru olmayacaktır. Denklem 3.33 ile de anlaşılacak olan elastik tasarım spektral yerdeğiştirmeden doğrusal olmayan spektral yer değiştirmeye geçiş için C_R dönüştürme katsayısı kullanılmaktadır.

$$S_{di}(T_1) = C_{R1} \times S_{de1} \quad (3.33)$$

C_{R1} dönüştürme katsayısı TBDY-2018 5B.3. maddesinde bulunmaktadır. hakim titreşim periyod $\frac{S_{DS}}{S_{D1}}$ değerinden büyük olduğundan yönetmelikte belirtilen ibareden dolayı $C_{R1}=1$ olarak alınmıştır.

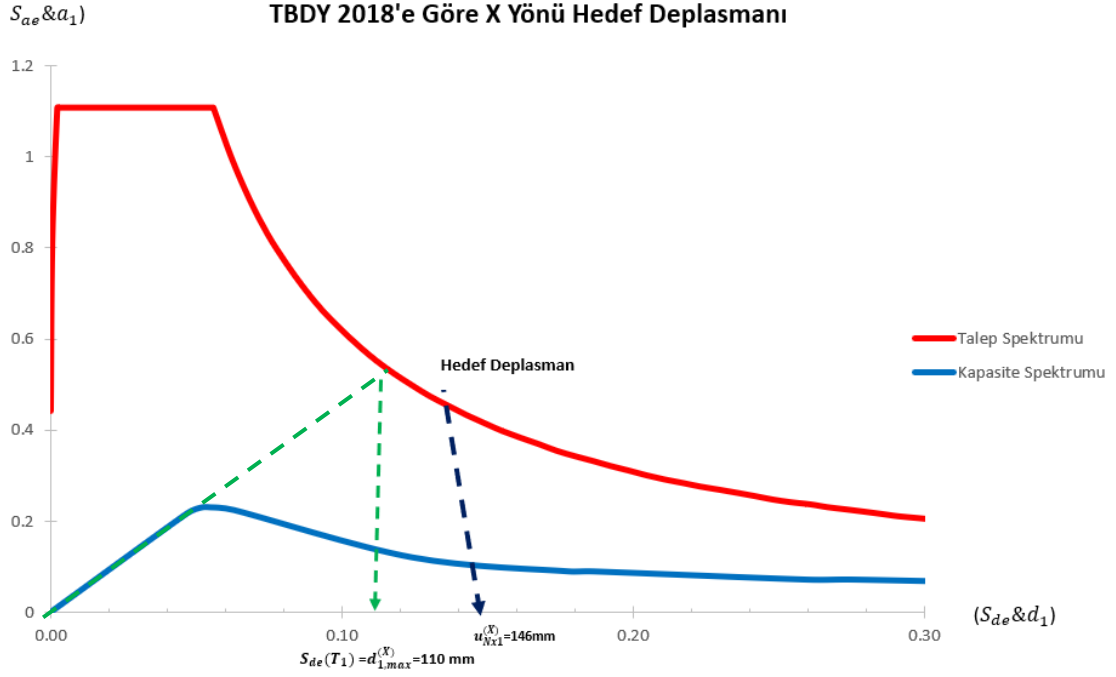
Bundan dolayı ilgili doğrultu da elastik tasarım spektral yer değiştirme doğrusal elastik olmayan spektral yerdeğiştirmeye eşit çıkmıştır. (Denklem 3.34).

$$d_{1,max}^{(X)} = S_{di}(T_1) = S_{de}(T_1) \quad (3.34)$$

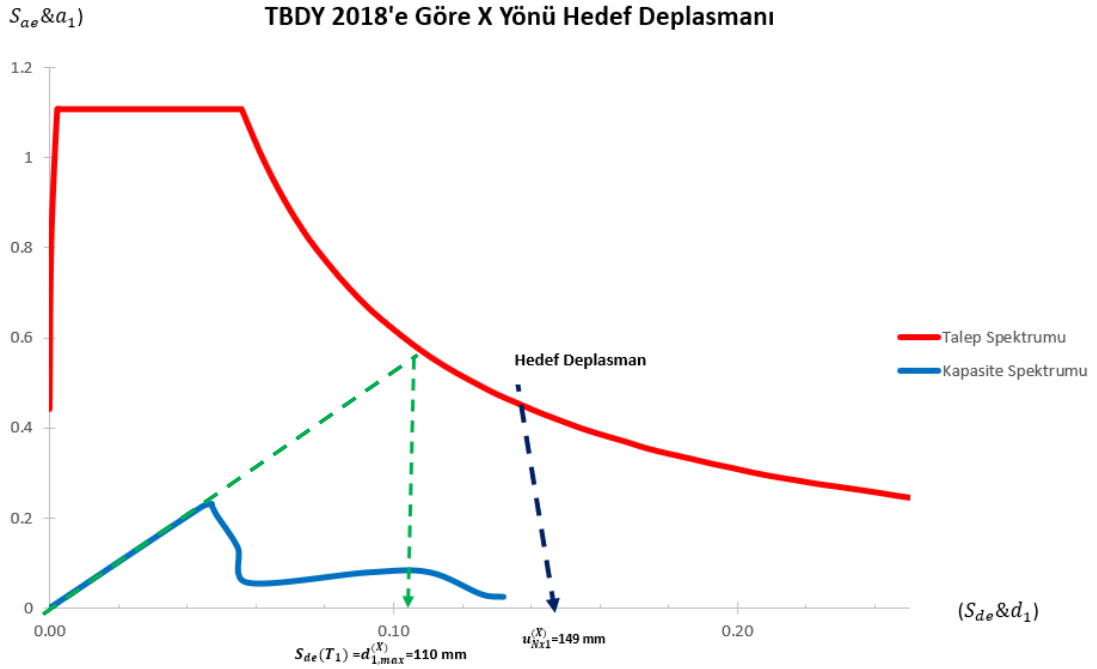
Elde edilen $d_{1,max}^{(X)}$ değeri Denklem 3.35'te koyularak hedef yerdeğiştirme $u_{Nx1}^{(X)}$ elde edilmiştir.

$$u_{Nx1}^{(X)} = \phi_{Nx1} T_1^{(X)} d_{1,max}^{(X)} \quad (3.35)$$

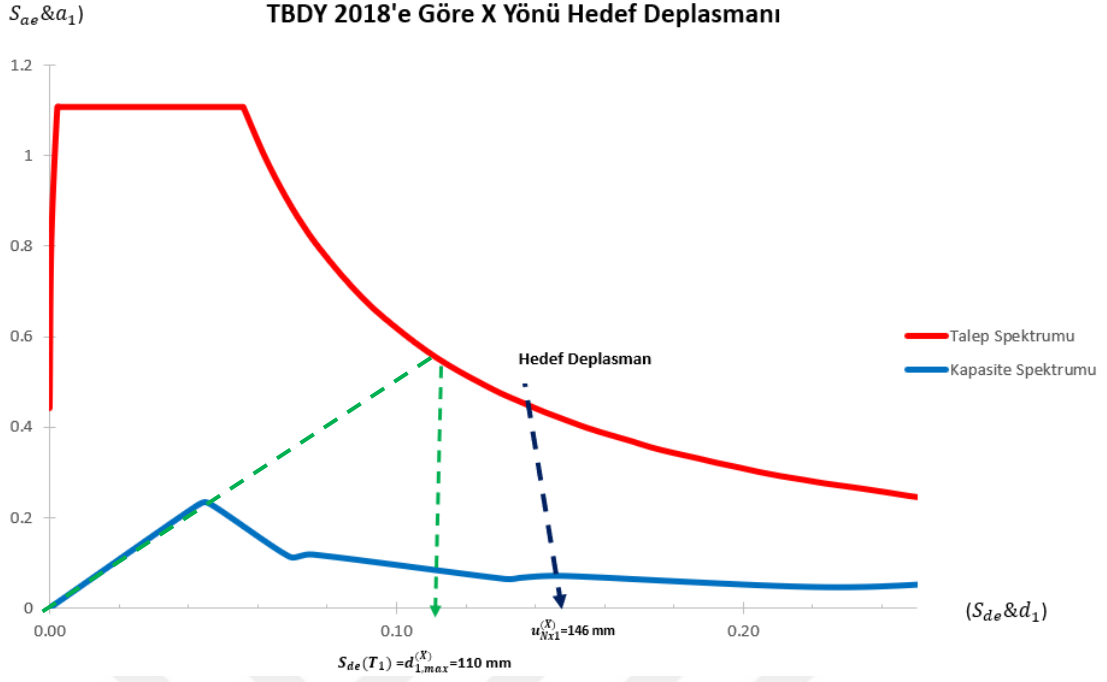
X doğrultusunun hedef deplasmanlarının elde edilmesinde kullanılan grafikler Şekil 3.51-4.62 ile verilmiştir.



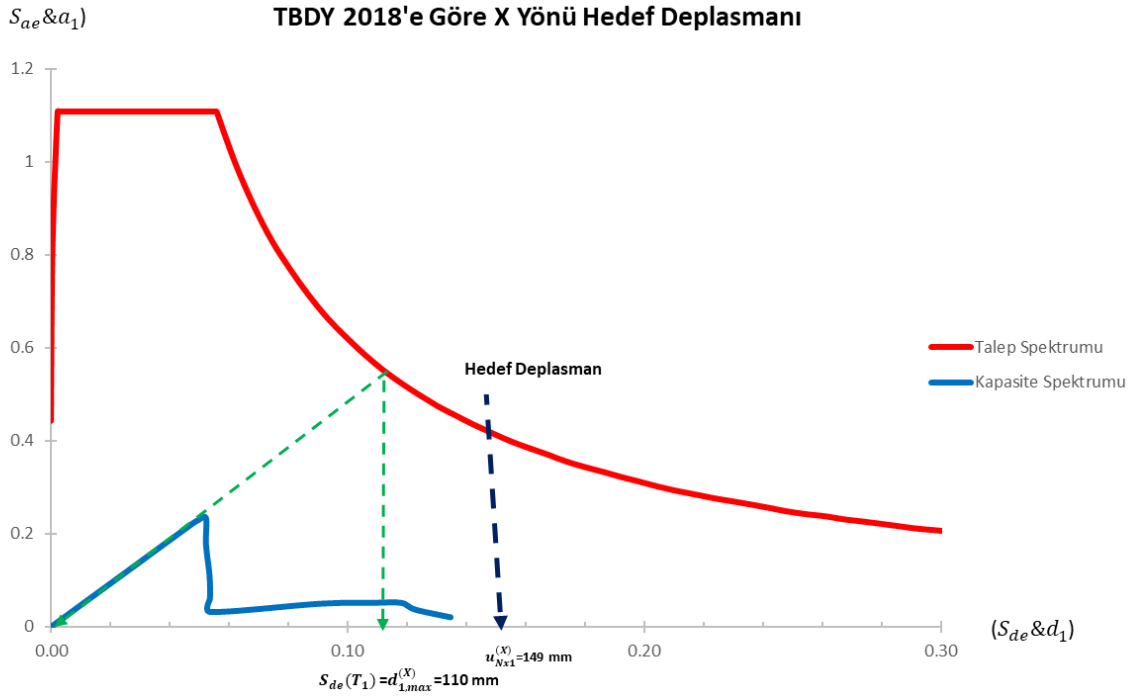
Şekil 3.51. Kutu kesitli beton dolgulu kompozit kolonlu merkezi çaprazlı çerçevenin hedef deplasman elde edilme grafiği



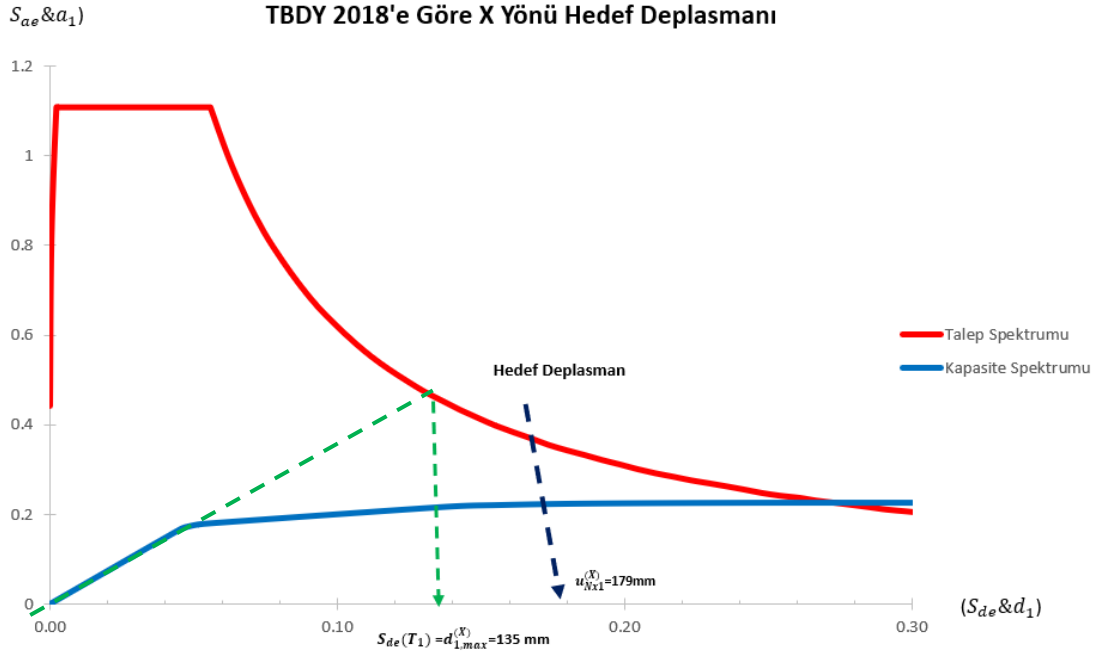
Şekil 3.52. Kutu kesitli çelik gömme kompozit kolonlu merkezi çaprazlı çerçevenin hedef deplasman elde edilme grafiği



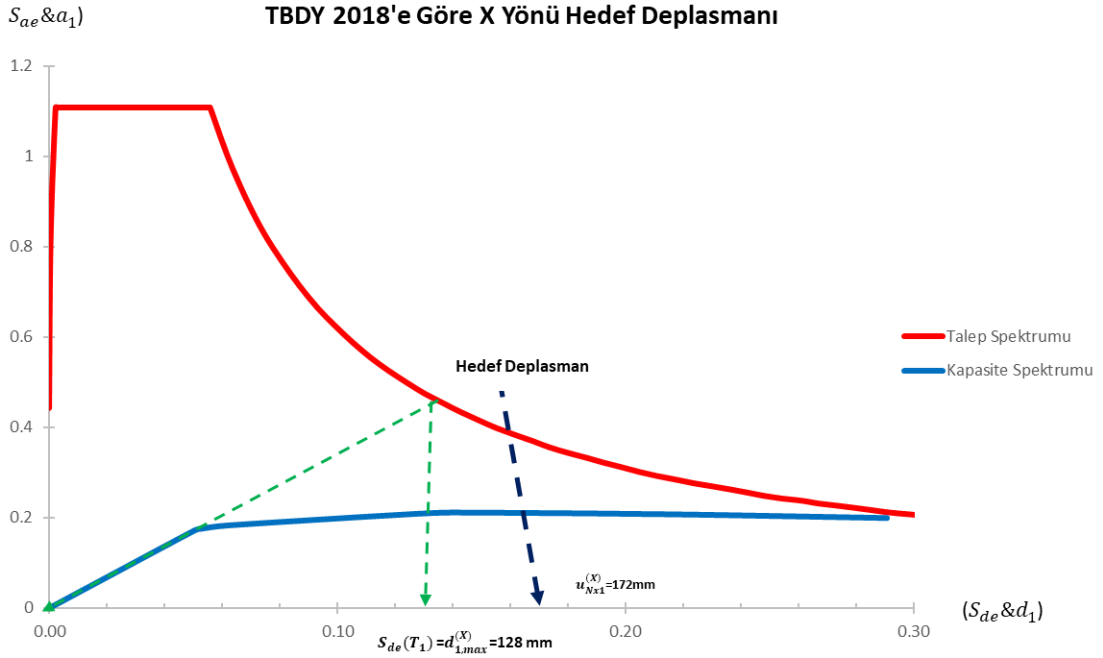
Şekil 3.53. Boru kesitli beton dolgulu kompozit kolonlu merkezi çaprazlı çerçevenin hedef deplasman elde edilme grafiği



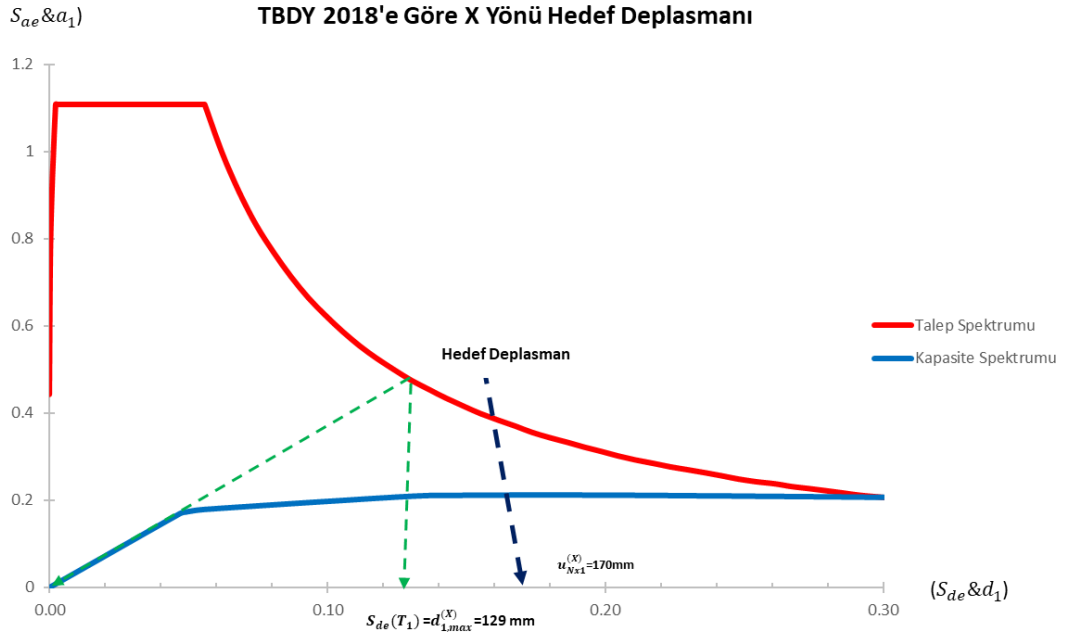
Şekil 3.54. Boru kesitli beton dolgulu kompozit kolonlu merkezi çaprazlı çerçevenin hedef deplasman elde edilme grafiği



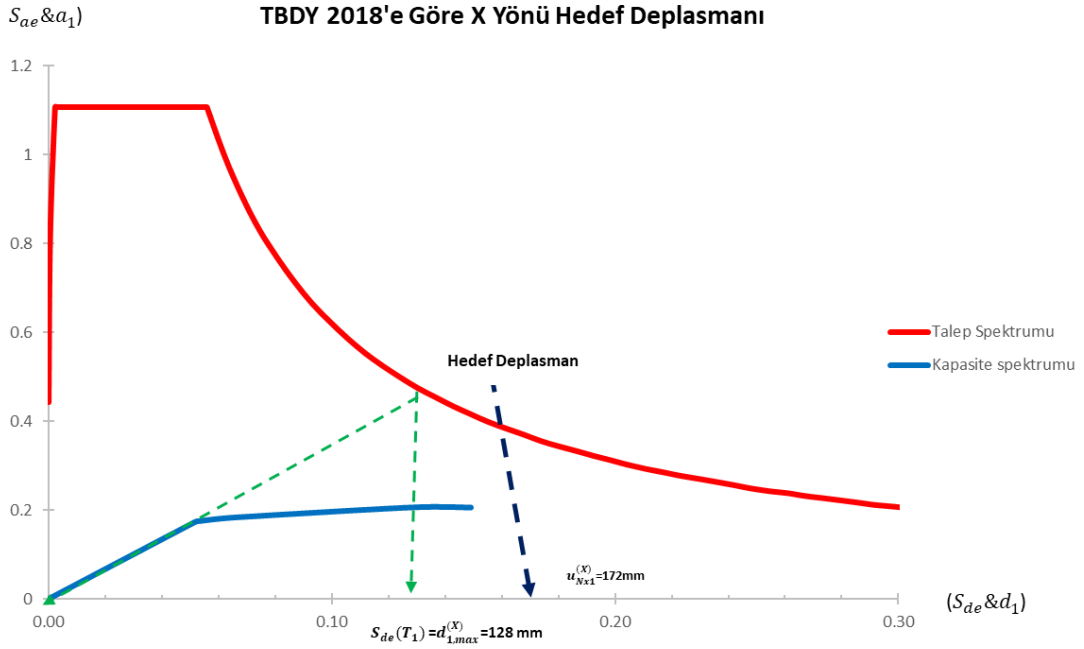
Şekil 3.55. Kutu kesitli beton dolgulu kompozit kolonlu yatay bağ kirişli dış merkezi çaprazlı çerçevenin hedef deplasman elde edilme grafiği



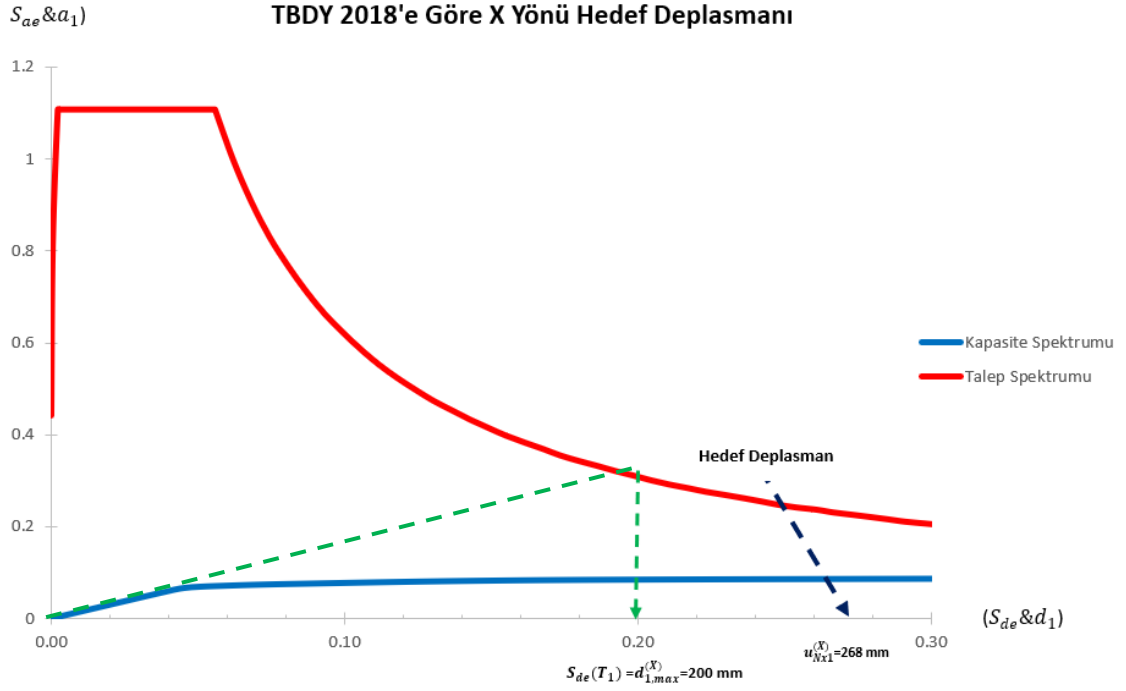
Şekil 3.56. Kutu kesitli çelik gömme kompozit kolonlu yatay bağ kirişli dış merkezi çaprazlı çerçevenin hedef deplasman elde edilme grafiği



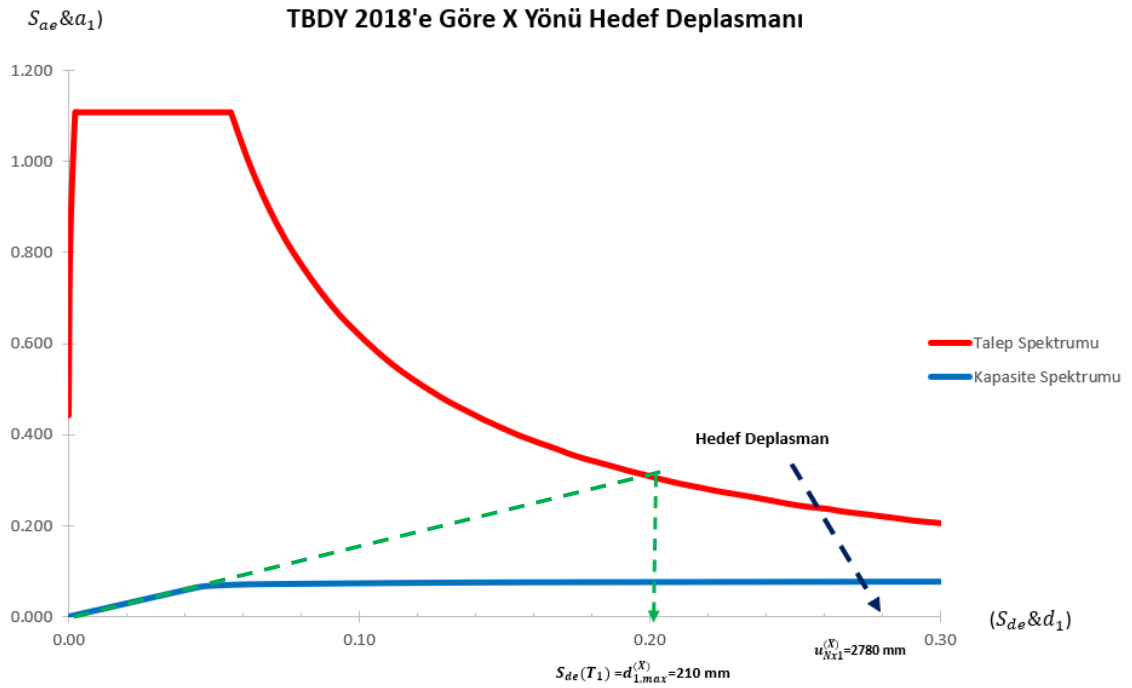
Şekil 3.57. Boru kesitli beton dolgulu kompozit kolonlu yatay bağ kirişli dış merkezi çaprazlı çerçevenin hedef deplasman elde edilme grafiği



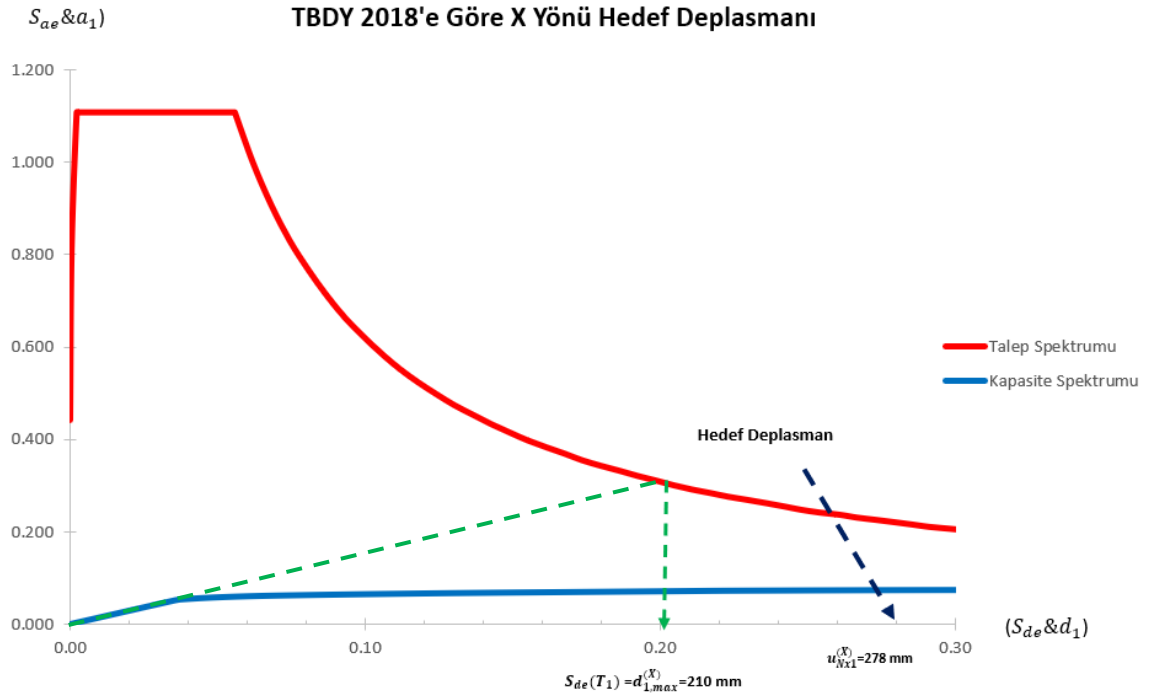
Şekil 3.58. Boru kesitli çelik gömme kompozit kolonlu yatay bağ kirişli dış merkezi çaprazlı çerçevenin hedef deplasman elde edilme grafiği



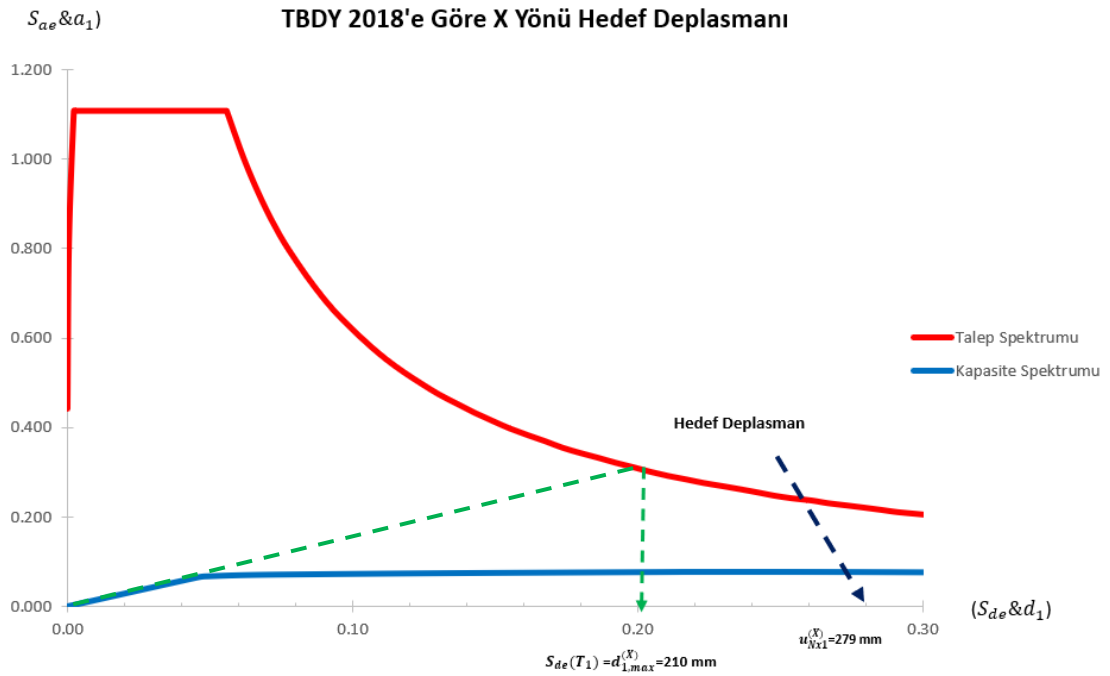
Şekil 3.59. Kutu kesitli beton dolgu kompozit kolonlu düşey bağ kirişli dış merkezi çaprazlı çerçevenin hedef deplasman elde edilme grafiği



Şekil 3.60. Kutu kesitli çelik gömme kompozit kolonlu düşey bağ kirişli dış merkezi çaprazlı çerçevenin hedef deplasman elde edilme grafiği



Şekil 3.61. Boru kesitli beton dolgulu kompozit kolonlu düşey bağ kirişli dış merkezi çaprazlı çerçevenin hedef deplasman elde edilme grafiği



Şekil 3.62. Boru kesitli çelik gömme kompozit kolonlu düşey bağ kirişli dış merkezi çaprazlı çerçevenin hedef deplasman elde edilme grafiği

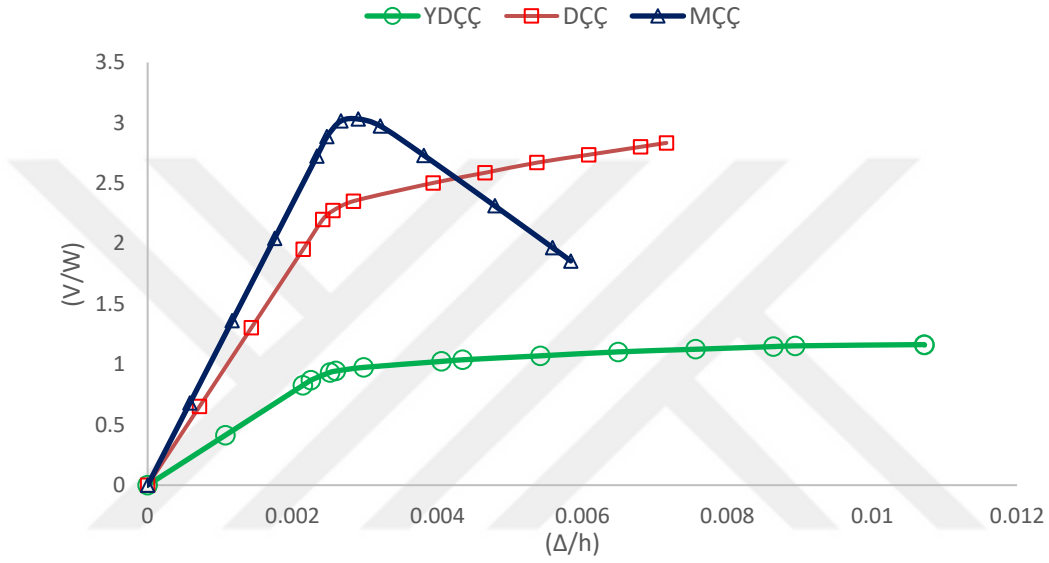
Hedef deplasmanların elde edilmesi için gerekli yardımcı veriler ve hedef deplasmanlar her bir çerçeve için Tablo 3.108 ile verilmiştir.

Tablo 3.108. Tüm çerçevelerin hedef deplasmanları

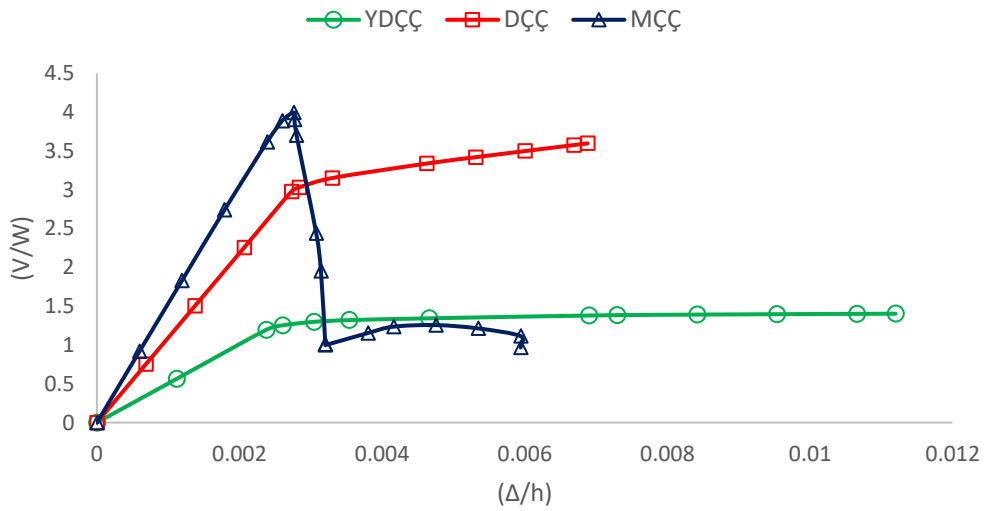
Çerçeveler	$S_{de}(T_1)(\text{mm})$	$d_{1,max}^{(X)}(\text{mm})$	ϕ_{Nx1}	$T_1^{(X)}$	$u_{Nx1}^{(X)}(\text{mm})$
MÇÇ-KD	110	110	0.0184	71.94	146
MÇÇ-KG	110	110	0.0195	69.49	149
MÇÇ-BD	110	110	0.0188	70.59	146
MÇÇ-BG	110	110	0.0196	69.27	149
DÇÇ-KD	135	135	0.0189	70.06	179
DÇÇ-KG	128	128	0.0194	69.16	172
DÇÇ-BD	130	130	0.0189	69.88	170
DÇÇ-BG	128	128	0.0194	69.04	172
YDÇÇ-KD	200	200	0.0194	68.94	268
YDÇÇ-KG	210	210	0.0194	68.72	280
YDÇÇ-BD	210	210	0.01911	68.87	278
YDÇÇ-BG	210	210	0.01933	68.62	279

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

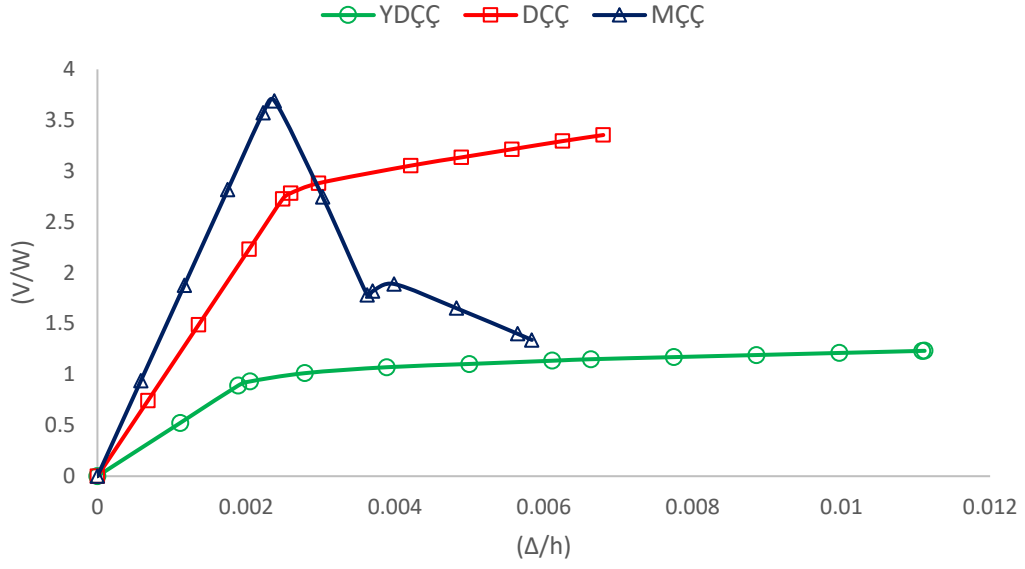
ÇYTHYE-2018 ve TBDY-2018 dikkate alınarak tasarlanan kompozit kolonlu merkezi, yatay bağ kirişli dışmerkez ve düşey bağ kirişli dışmerkez çerçeveler hesaplanan hedef deplasman değerlerine kadar itilerek doğrusal olmayan statik analizleri yapılmıştır. Analizler sonucu elde edilen kapasite eğrileri kolon kesitlerine ve çerçeve tiplerine göre Şekil 4.1-4.7 ile verilmiştir.



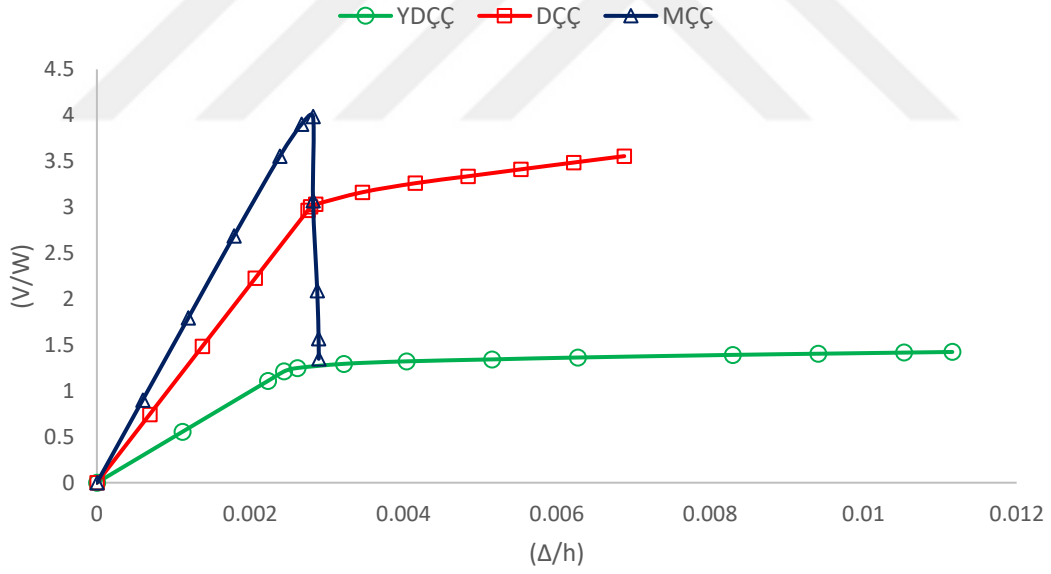
Şekil 4.1. Kutu dolgu kompozit kolonlu MÇÇ, DÇÇ ve YDÇÇ kapasite eğrileri



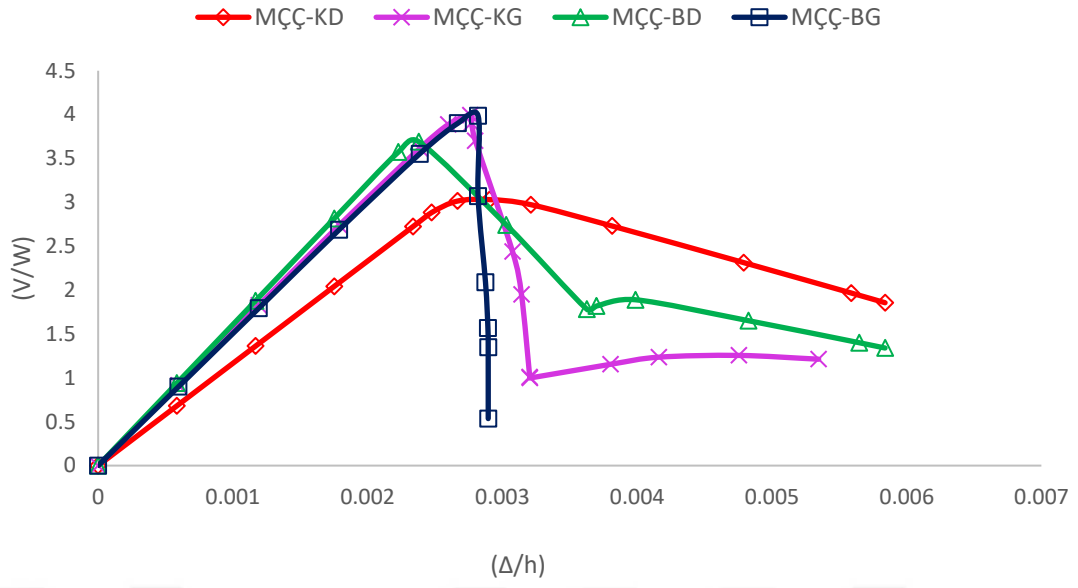
Şekil 4.2. Kutu gömme kompozit kolonlu MÇÇ, DÇÇ ve YDÇÇ kapasite eğrileri



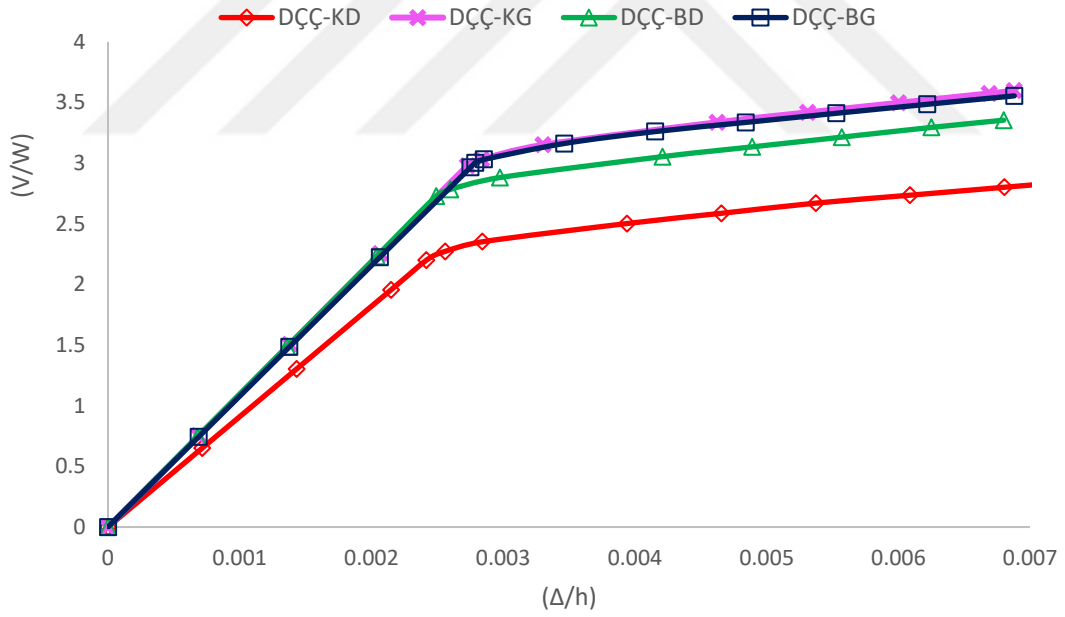
Şekil 4.3. Boru dolgu kompozit kolonlu MÇÇ, DÇÇ ve YDÇÇ kapasite eğrileri



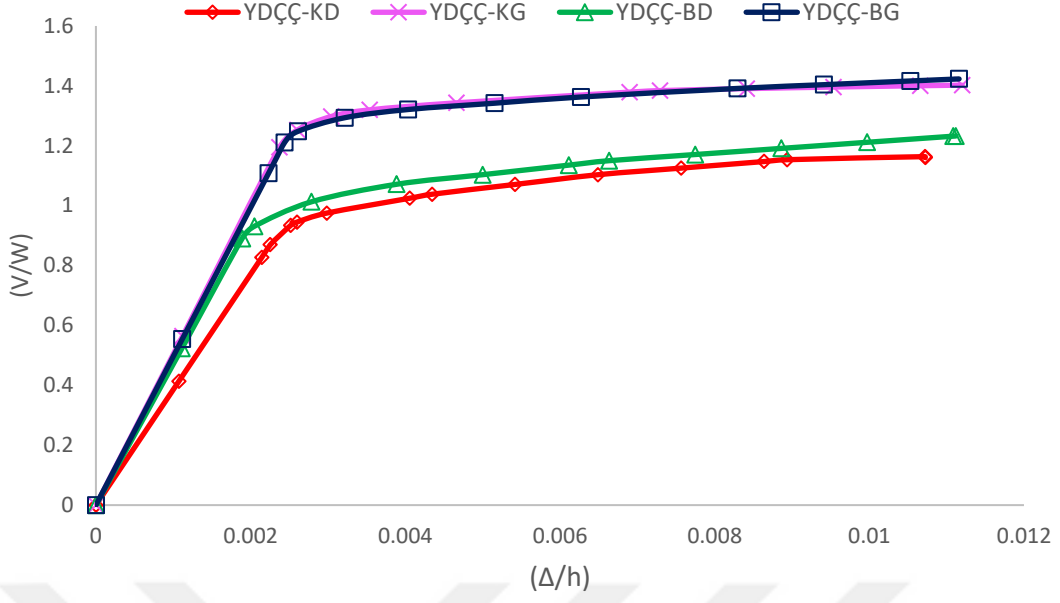
Şekil 4.4. Boru gömme kompozit kolonlu MÇÇ, DÇÇ ve YDÇÇ kapasite eğrileri



Şekil 4.5. MÇÇ'lerin kapasite eğrileri

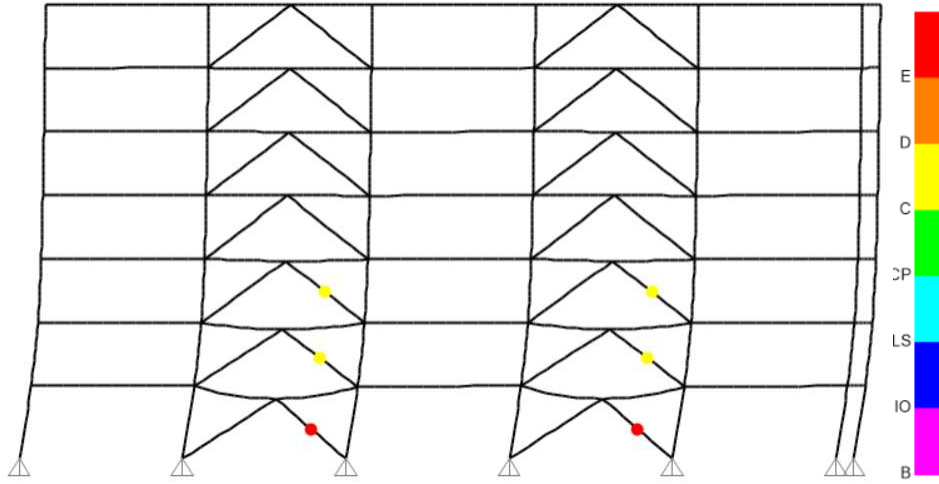


Şekil 4.6. DÇÇ'lerin kapasite eğrileri

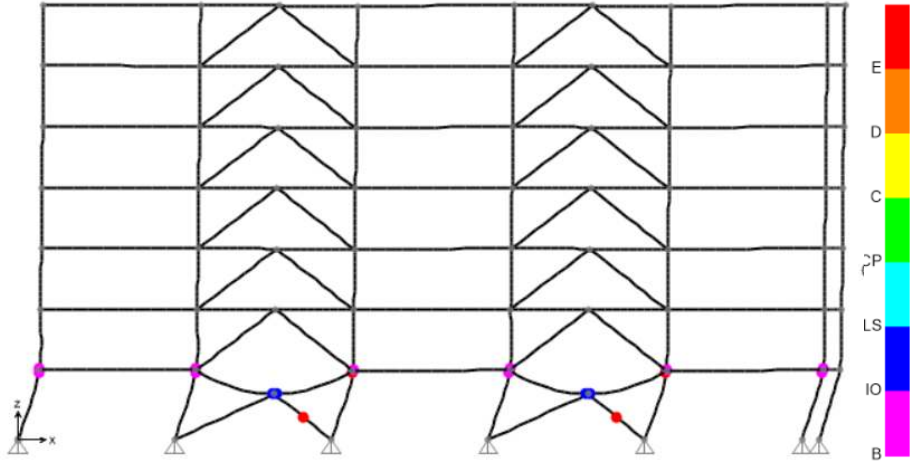


Şekil 4.7. YDÇÇ'lerin kapasite eğrileri

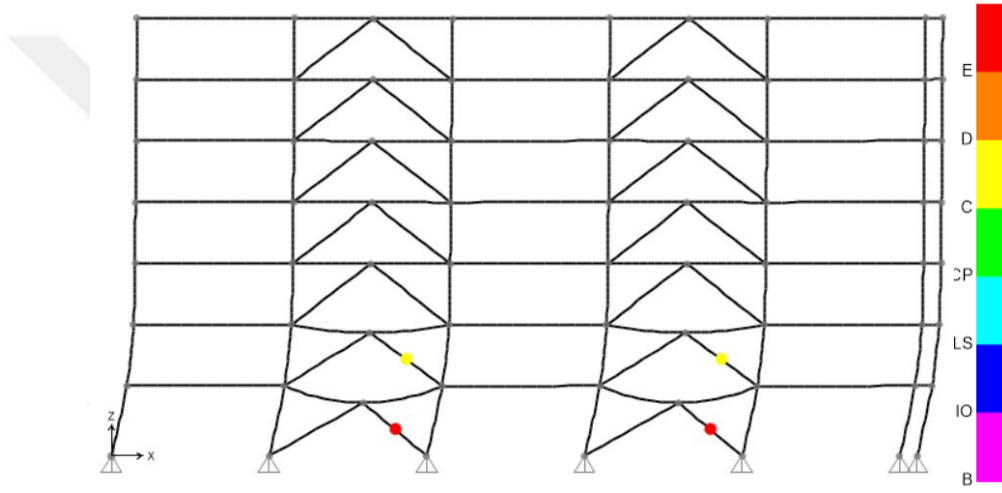
Tüm modellerin mafsallaşma mekanizması Şekil 4.8-4.19 ile verilmiştir.



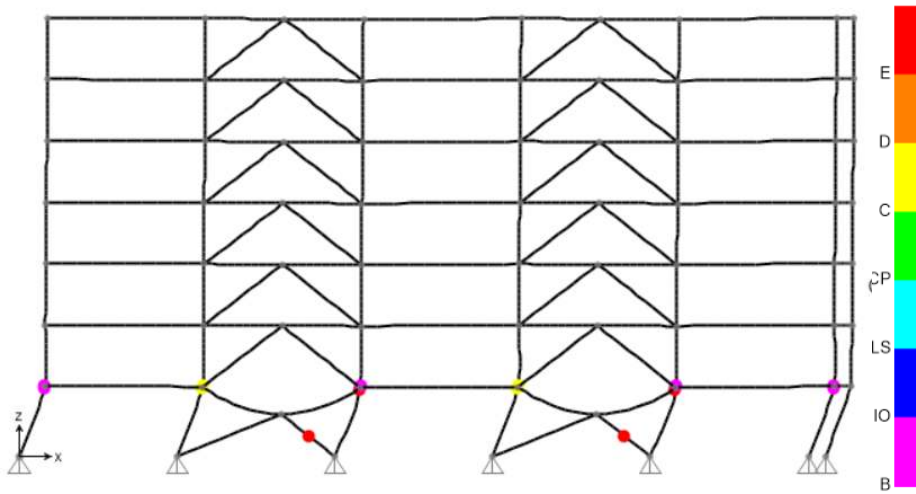
Şekil 4.8. Kutu kesitli beton dolgulu kompozit kolonlu MÇÇ'nin mafsallaşma mekanizması



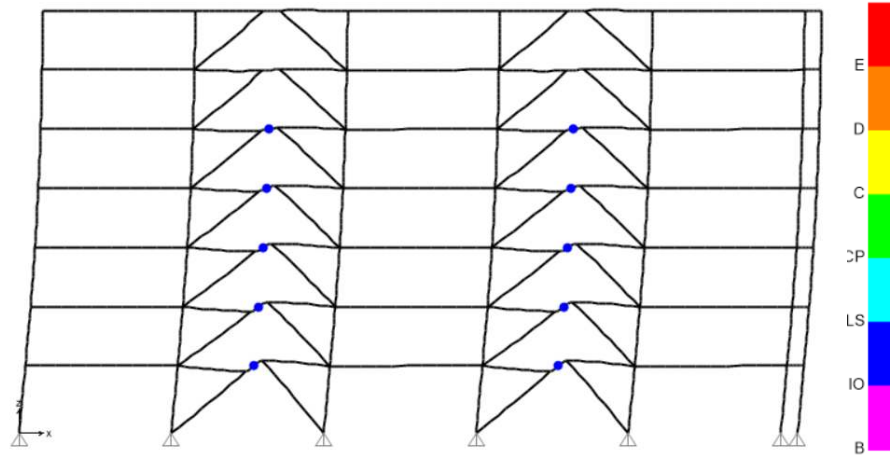
Şekil 4.9. Kutu kesitli çelik gömme kompozit kolonlu MÇÇ'nin mafsallaşma mekanizması



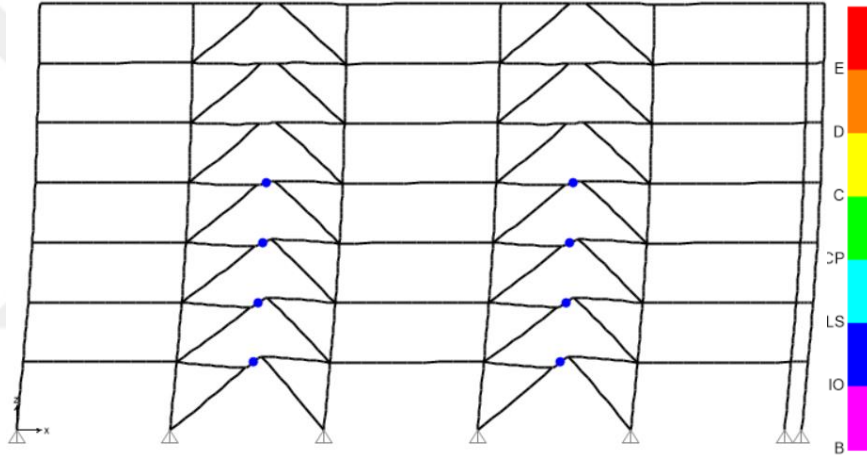
Şekil 4.10. Boru kesitli beton dolgulu kompozit kolonlu MÇÇ'nin mafsallaşma mekanizması



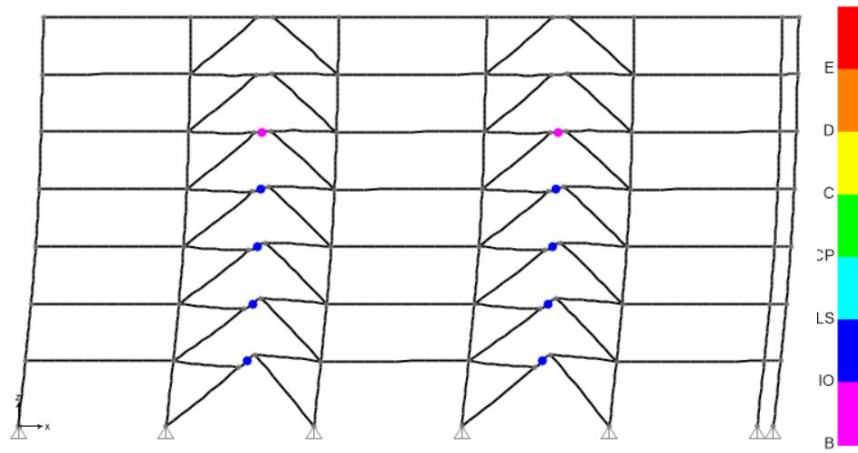
Şekil 4.11. Boru kesitli çelik gömme kompozit kolonlu MÇÇ'nin mafsallaşma mekanizması



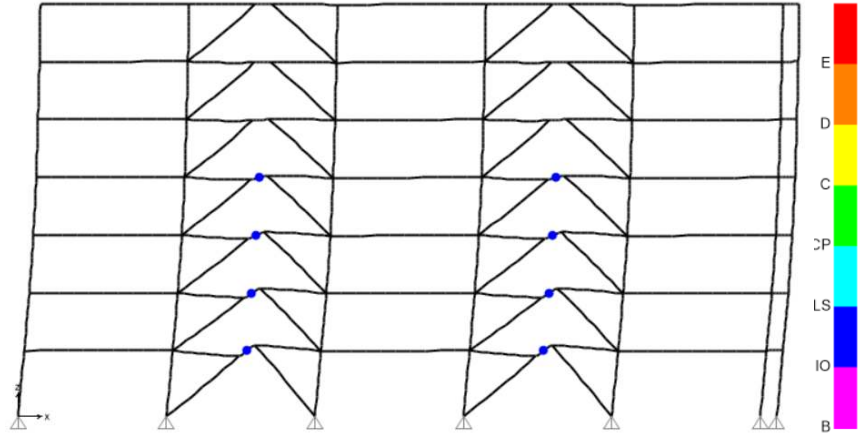
Şekil 4.12. Kutu kesitli beton dolgulu kompozit kolonlu DÇÇ'nin mafsallaşma mekanizması



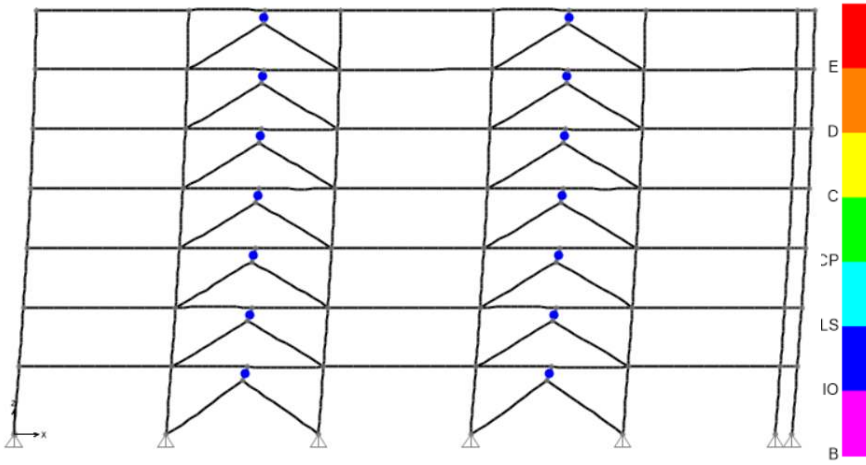
Şekil 4.13. Kutu kesitli çelik gömme kompozit kolonlu DÇÇ'nin mafsallaşma mekanizması



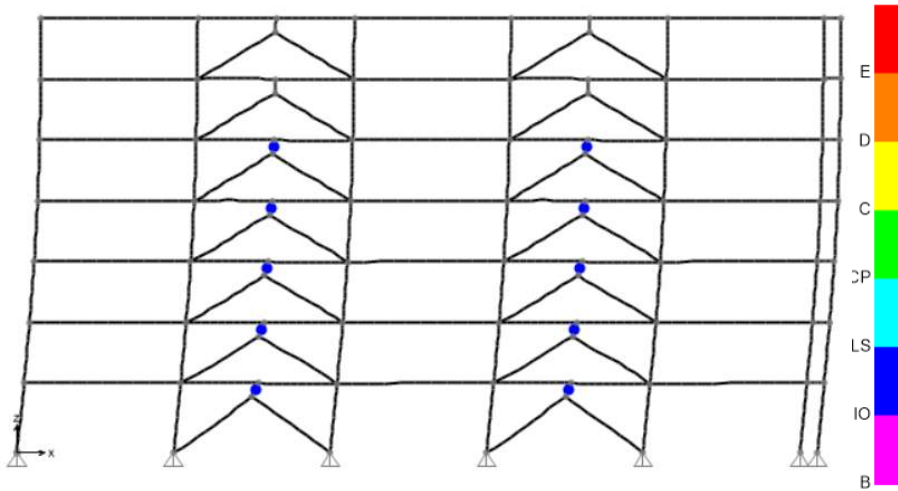
Şekil 4.14. Boru kesitli beton dolgulu kompozit kolonlu DÇÇ'nin mafsallaşma mekanizması



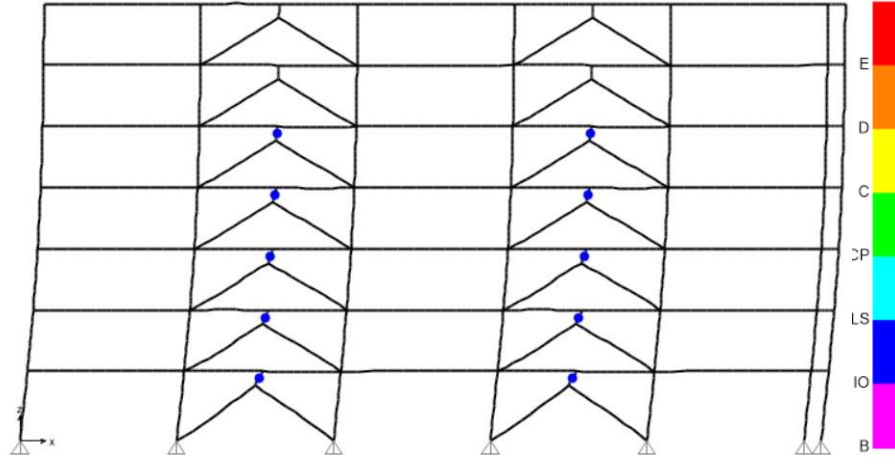
Şekil 4.15. Boru kesitli çelik gömme kompozit kolonlu DÇÇ'nin mafsallaşma mekanizması



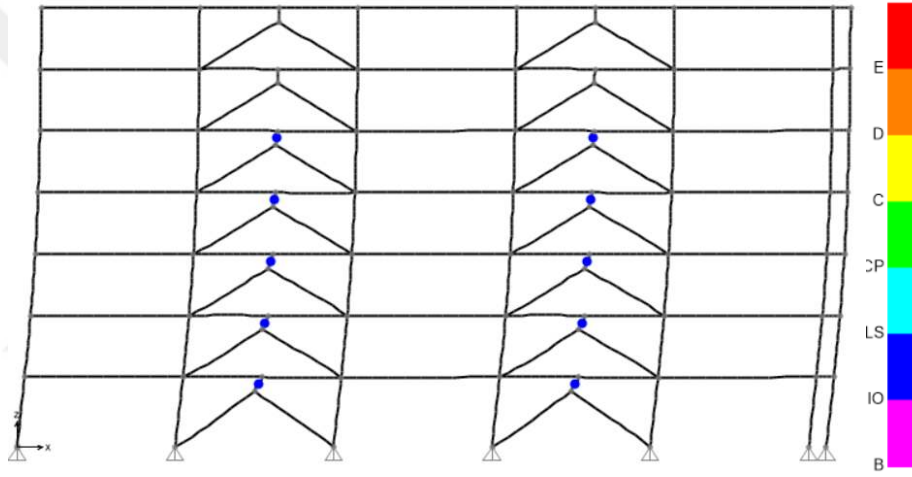
Şekil 4.16. Kutu kesitli beton dolgulu kompozit kolonlu YDÇÇ'nin mafsallaşma mekanizması



Şekil 4.17. Kutu kesitli çelik gömme kompozit kolonlu YDÇÇ'nin mafsallaşma mekanizması



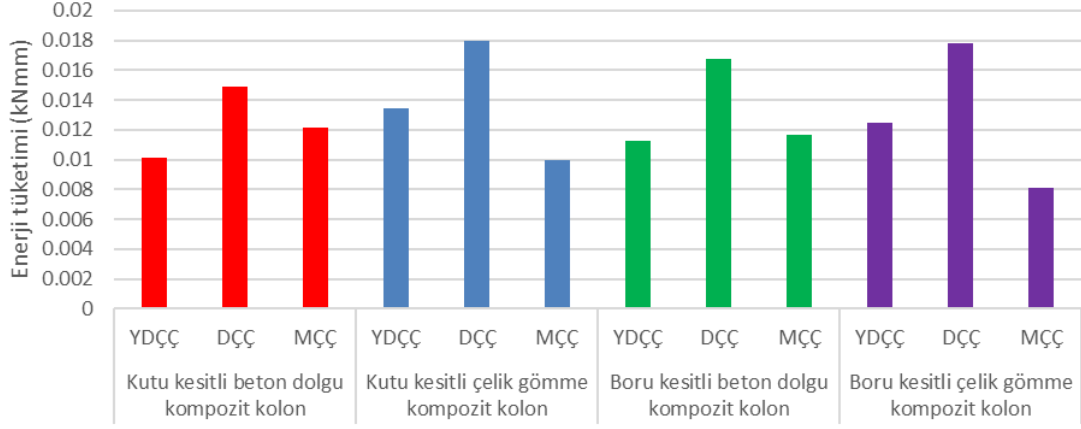
Şekil 4.18. Boru kesitli beton dolgulu kompozit kolonlu YDÇÇ'nin mafsallaşma mekanizması



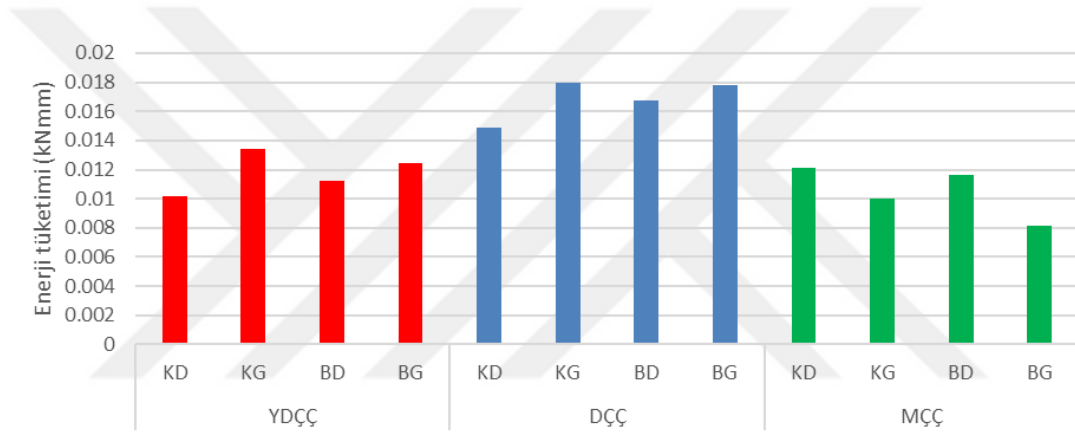
Şekil 4.19. Boru kesitli çelik gömme kompozit kolonlu YDÇÇ'nin mafsallaşma mekanizması

Doğrusal olmayan itme analizi sonucu elde edilen kapasite eğrileri altında kalan alanlar hesaplanarak çerçeve modellerin enerji tüketim kapasiteleri elde edilmiştir.

Kolon kesitlerine ve çerçeve tiplerine göre enerji tüketimi değerleri grafikler halinde Şekil 4.20 ve 4.21 ile verilmiştir.



Şekil 4.20. Kolon kesitlerine göre enerji tüketimi grafiği



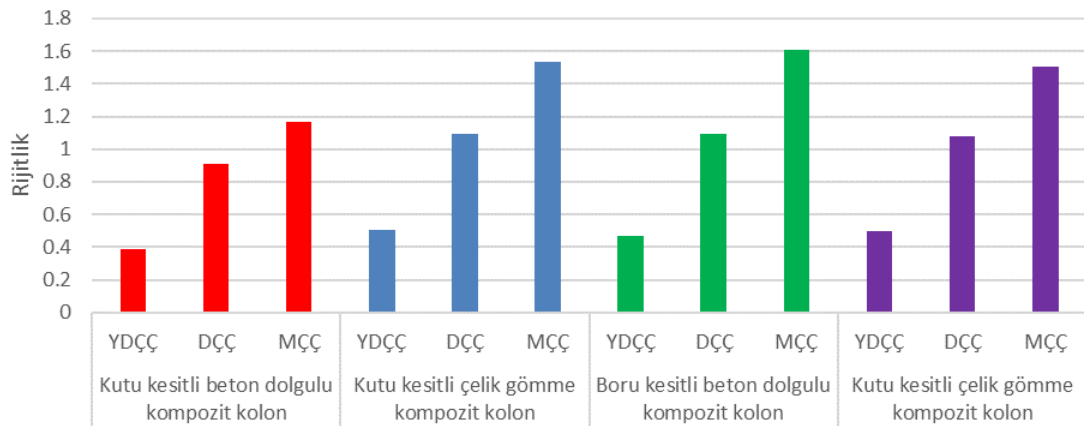
Şekil 4.21. Çerçeve tiplerine göre enerji tüketimi grafiği

Çaprazlı çerçeve modellerinin enerji tüketimi kapasiteleri kolon tipleri bakımından değerlendirildiğinde;

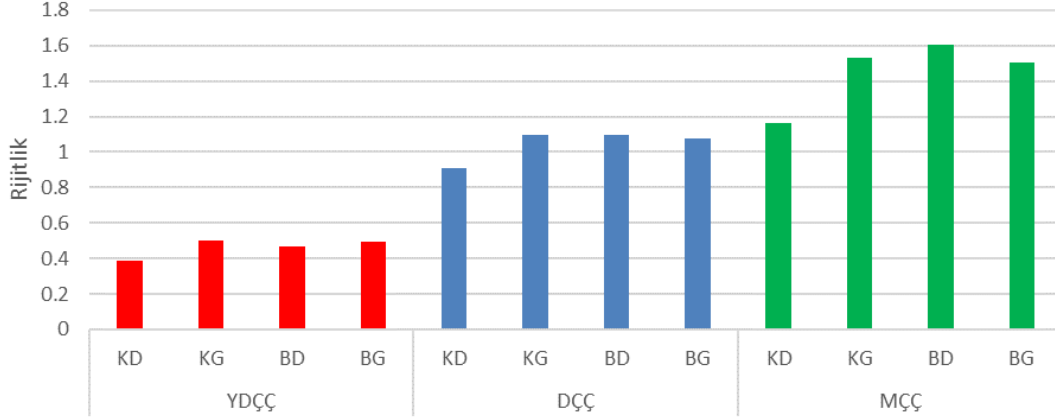
- Düşey bağ kirişli dış merkezi çaprazlı çerçevelerde; kutu dolgulu kompozit kolonlu çerçeveye (YDÇÇ-KD) göre; kutu gömme kolonlu çerçevede (YDÇÇ- KG) %32, boru dolgu kolonlu (BD-YDÇÇ) %11 ve boru gömme kolonlu çerçevede (YDÇÇ-BG) %23 artmıştır.
- Yatay bağ kirişli dış merkezi çaprazlı çerçevelerde; kutu dolgulu kompozit kolonlu çerçeveye (DÇÇ-KD) göre; kutu gömme kolonlu çerçevede (DÇÇ-KG) %20, boru dolgu kolonlu (DÇÇ-BD) %12 ve boru gömme kolonlu çerçevede (DÇÇ-BG) %19 artmıştır.

- Merkezi çaprazlı çerçevelerde; kutu dolgulu kompozit kolonlu çerçeveye (MÇÇ-KD) göre; kutu gömme kolonlu çerçevede (MÇÇ-KG) %18, boru dolgu kolonlu (MÇÇ-BD) %4 ve boru gömme kolonlu çerçevede (MÇÇ-BG) %33 azalmıştır. Çerçeve tipleri bakımından değerlendirildiğinde;
- Kutu dolgulu kompozit kolonlu düşey bağ kirişli dışmerkez çaprazlı çerçeveye göre (YDÇÇ-KD)'ya göre, dışmerkez çaprazlı çerçevede (DÇÇ-KD) %47 ve merkezi çaprazlı çerçevede (MÇÇ-KD) %20 artmıştır.
- Kutu gömme kolonlu düşey bağ kirişli çerçeveye göre (YDÇÇ-KG), yatay bağ kirişli çerçevede (DÇÇ-KG) %34 artarken, merkezi çaprazlı çerçevede (MÇÇ-KG) %26 azalmıştır.
- Boru dolgulu kolonlu düşey bağ kirişli çerçeveye göre (YDÇÇ-BD), yatay bağ kirişli çaprazlı çerçevede (DÇÇ-BD) %49, merkezi çaprazlı çerçevede (MÇÇ-BD) %4 artmıştır.
- Boru gömme kolonlu düşey bağ kirişli çerçeveye (YDÇÇ-BG) göre, yatay bağ kirişli çerçevede (DÇÇ-BG) %43 artarken, merkezi çaprazlı çerçevede (MÇÇ-BG) %35 azalmıştır.

Kolon kesitlerine ve çerçeve tiplerine göre rijitlik değerleri grafikler halinde Şekil 4.22-4.23 ile verilmiştir.



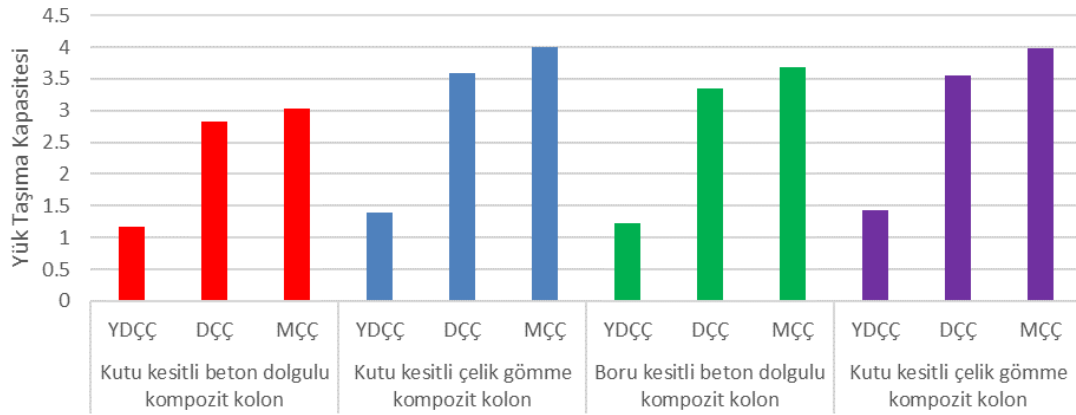
Şekil 4.22. Kolon kesitlerine göre rijitlik grafiği



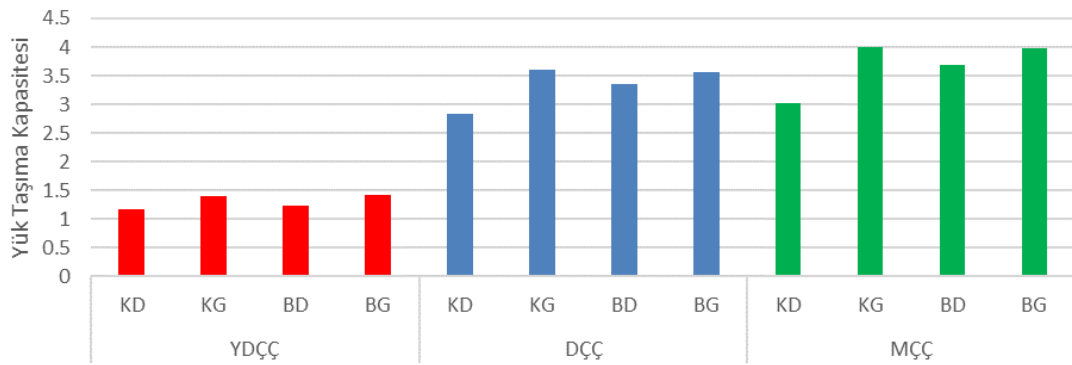
Şekil 4.23. Çerçeve tiplerine göre rijitlik grafiği

- Çaprazlı çerçeve modellerinin rijitliği kolon tipleri bakımından değerlendirildiğinde;
- Düşey bağ kirişli dış merkezi çaprazlı çerçevelerde; kutu dolgulu kompozit kolonlu çerçeveye (YDÇÇ-KD) göre; kutu gömme kolonlu çerçevede (YDÇÇ- KG) %31, boru dolgu kolonlu (BD-YDÇÇ) %22 ve boru gömme kolonlu çerçevede (YDÇÇ-BG) %29 artmıştır.
 - Yatay bağ kirişli dış merkezi çaprazlı çerçevelerde; kutu dolgulu kompozit kolonlu çerçeveye (DÇÇ-KD) göre; kutu gömme kolonlu çerçevede (DÇÇ-KG) %20, boru dolgu kolonlu (DÇÇ-BD) %20 ve boru gömme kolonlu çerçevede (DÇÇ-BG) %19 artmıştır.
 - Merkezi çaprazlı çerçevelerde; kutu dolgulu kompozit kolonlu çerçeveye (MÇÇ-KD) göre; kutu gömme kolonlu çerçevede (MÇÇ-KG) %32, boru dolgu kolonlu (MÇÇ-BD) %38 ve boru gömme kolonlu çerçevede (MÇÇ-BG) %29 artmıştır.
- Çerçeve tipleri bakımından değerlendirildiğinde;
- Kutu dolgulu kompozit kolonlu düşey bağ kirişli dışmerkez çaprazlı çerçeveye göre (YDÇÇ-KD)'ya göre, dışmerkez çaprazlı çerçevede (DÇÇ-KD) %136 ve merkezi çaprazlı çerçevede (MÇÇ-KD) %202 artmıştır.
 - Kutu gömme kolonlu düşey bağ kirişli çerçeveye göre (YDÇÇ-KG), yatay bağ kirişli çerçevede (DÇÇ-KG) %117, merkezi çaprazlı çerçevede (MÇÇ-KG) %204 artmıştır.
 - Boru dolgulu kolonlu düşey bağ kirişli çerçeveye göre (YDÇÇ-BD), yatay bağ kirişli çaprazlı çerçevede (DÇÇ-BD) %133, merkezi çaprazlı çerçevede (MÇÇ-BD) %242 artmıştır.
 - Boru gömme kolonlu düşey bağ kirişli çerçeveye (YDÇÇ-BG) göre, yatay bağ kirişli çerçevede (DÇÇ-BG) %117, merkezi çaprazlı çerçevede (MÇÇ-BG) %203 artmıştır.

Kolon kesitlerine ve çerçeve tiplerine göre yük taşıma kapasitesi grafikler halinde Şekil 4.24-4.25 ile verilmiştir.



Şekil 4.24. Kolon kesitlerine çerçeve tiplerine göre yük taşıma kapasite grafiği

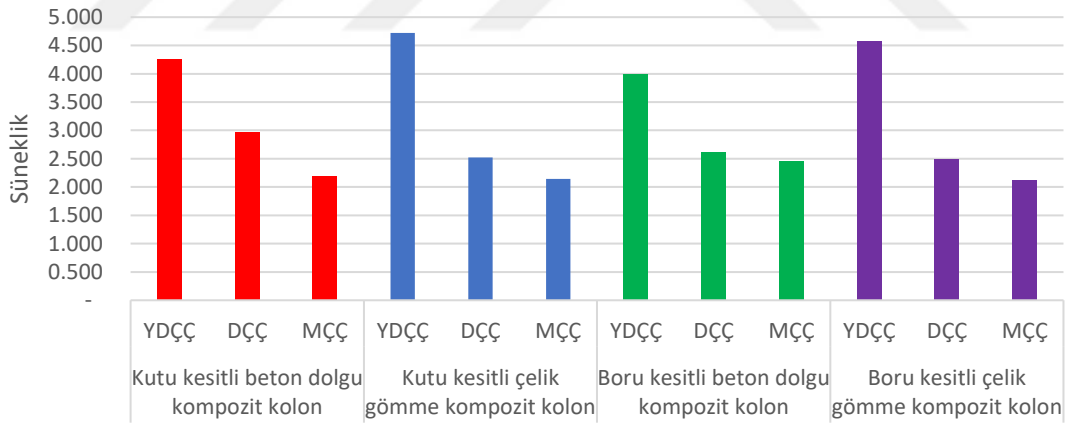


Şekil 4.25. Çerçeve tiplerine göre yük taşıma kapasite grafiği

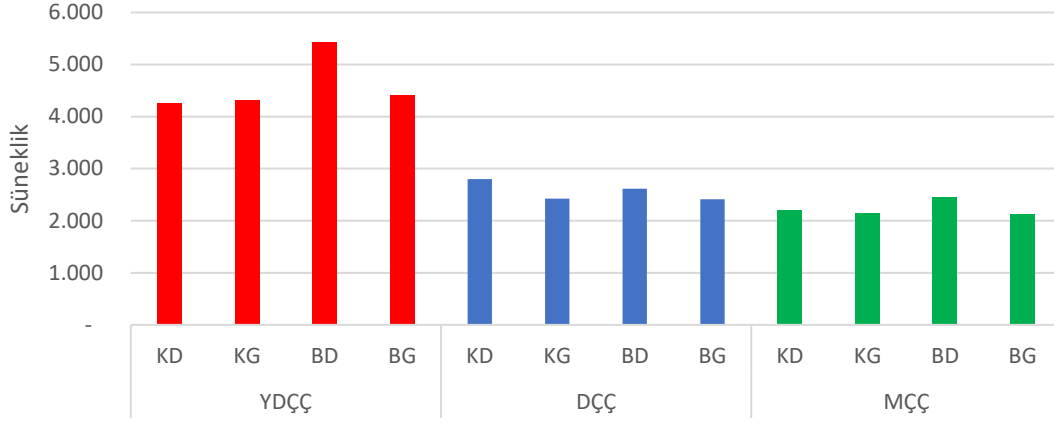
Çaprazlı çerçeve modellerinin yük taşıma kapasiteleri kolon tipleri bakımından değerlendirildiğinde;

- Düşey bağ kirişli dış merkezi çaprazlı çerçevelerde; kutu dolgulu kompozit kolonlu çerçeveye (YDÇÇ-KD) göre; kutu gömme kolonlu çerçevede (YDÇÇ- KG) %21, boru dolgu kolonlu (BD-YDÇÇ) %6 ve boru gömme kolonlu çerçevede (YDÇÇ-BG) %22 artmıştır.
- Yatay bağ kirişli dış merkezi çaprazlı çerçevelerde; kutu dolgulu kompozit kolonlu çerçeveye (DÇÇ-KD) göre; kutu gömme kolonlu çerçevede (DÇÇ-KG) %27, boru dolgu kolonlu (DÇÇ-BD) %18 ve boru gömme kolonlu çerçevede (DÇÇ-BG) %26 artmıştır.

- Merkezi çaprazlı çerçevelerde; kutu dolgulu kompozit kolonlu çerçeveye (MÇÇ-KD) göre; kutu gömme kolonlu çerçevede (MÇÇ-KG) %32, boru dolgu kolonlu (MÇÇ-BD) %22 ve boru gömme kolonlu çerçevede (MÇÇ-BG) %32 artmıştır. Çerçeve tipleri bakımından değerlendirildiğinde;
 - Kutu dolgulu kompozit kolonlu düşey bağ kirişli dışmerkez çaprazlı çerçeveye göre (YDÇÇ-KD)'ya göre, dışmerkez çaprazlı çerçevede (DÇÇ-KD) %144 ve merkezi çaprazlı çerçevede (MÇÇ-KD) %161 artmıştır.
 - Kutu gömme kolonlu düşey bağ kirişli çerçeveye göre (YDÇÇ-KG), yatay bağ kirişli çerçevede (DÇÇ-KG) %156, merkezi çaprazlı çerçevede (MÇÇ-KG) %185 artmıştır.
 - Boru dolgulu kolonlu düşey bağ kirişli çerçeveye göre (YDÇÇ-BD), yatay bağ kirişli çaprazlı çerçevede (DÇÇ-BD) %172, merkezi çaprazlı çerçevede (MÇÇ-BD) %199 artmıştır.
 - Boru gömme kolonlu düşey bağ kirişli çerçeveye (YDÇÇ-BG) göre, yatay bağ kirişli çerçevede (DÇÇ-BG) %150, merkezi çaprazlı çerçevede (MÇÇ-BG) %180 artmıştır.
- Kolon kesitlerine ve çerçeve tiplerine göre süneklik kapasitesi grafikler halinde Şekil 4.26-4.27 ile verilmiştir.



Şekil 4.26. Kolon kesitlerine çerçeve tiplerine göre süneklik kapasite grafiği



Şekil 4.27. Çerçeve tiplerine göre süneklik kapasite grafiği

Çaprazlı çerçeve modellerinin süneklik kapasiteleri kolon tipleri bakımından değerlendirildiğinde;

- Düşey bağ kirişli dış merkezi çaprazlı çerçevelerde; kutu dolgulu kompozit kolonlu çerçeveye (YDÇÇ-KD) göre; kutu gömme kolonlu çerçevede (YDÇÇ- KG) %1, boru dolgu kolonlu (BD-YDÇÇ) %27 ve boru gömme kolonlu çerçevede (YDÇÇ- BG) %4 artmıştır.
 - Yatay bağ kirişli dış merkezi çaprazlı çerçevelerde; kutu dolgulu kompozit kolonlu çerçeveye (DÇÇ-KD) göre; kutu gömme kolonlu çerçevede (DÇÇ-KG) %13, boru dolgu kolonlu (DÇÇ-BD) %7 ve boru gömme kolonlu çerçevede (DÇÇ-BG) %14 azalmıştır.
 - Merkezi çaprazlı çerçevelerde; kutu dolgulu kompozit kolonlu çerçeveye (MÇÇ-KD) göre; kutu gömme kolonlu çerçevede (MÇÇ-KG) %2 ve boru gömme kolonlu (MÇÇ-BG) %4 azalırken, boru dolgulu kolonlu çerçevede (MÇÇ-BD) %12 artmıştır.
- Çerçeve tipleri bakımından değerlendirildiğinde;
- Kutu dolgulu kompozit kolonlu düşey bağ kirişli dışmerkez çaprazlı çerçeveye göre (YDÇÇ-KD)'ya göre, dışmerkez çaprazlı çerçevede (DÇÇ-KD) %34 ve merkezi çaprazlı çerçevede (MÇÇ-KD) %49 azalmıştır.
 - Kutu gömme kolonlu düşey bağ kirişli çerçeveye göre (YDÇÇ-KG), yatay bağ kirişli çerçevede (DÇÇ-KG) %44, merkezi çaprazlı çerçevede (MÇÇ-KG) %50 azalmıştır.
 - Boru dolgulu kolonlu düşey bağ kirişli çerçeveye göre (YDÇÇ-BD), yatay bağ kirişli çaprazlı çerçevede (DÇÇ-BD) %52, merkezi çaprazlı çerçevede (MÇÇ-BD) %55 azalmıştır.

- Boru gömme kolonlu düşey bağ kirişli çerçeveye (YDÇÇ-BG) göre, yatay bağ kirişli çerçevede (DÇÇ-BG) %45, merkezi çaprazlı çerçevede (MÇÇ-BG) %52 azalmıştır.

Çaprazlı çerçeve modellerinin enerji tüketimi kapasiteleri, rijitlik, yük taşıma kapasitesi ve süneklik kapasitesi çerçeve tiplerine göre değerlendirildiğinde Tablo 4.1 ile idealleştirilmiş veriler ve yüzdelik değişimler referans model kutu kesitli beton dolgulu kompozit kolonlu modeller seçilerek veriler elde edilmiştir.

Tablo 4.1. Enerji tüketimi kapasiteleri, rijitlik, yük taşıma kapasitesi ve süneklik kapasitesi çerçeve tiplerine göre veriler ve yüzdelik değişimler

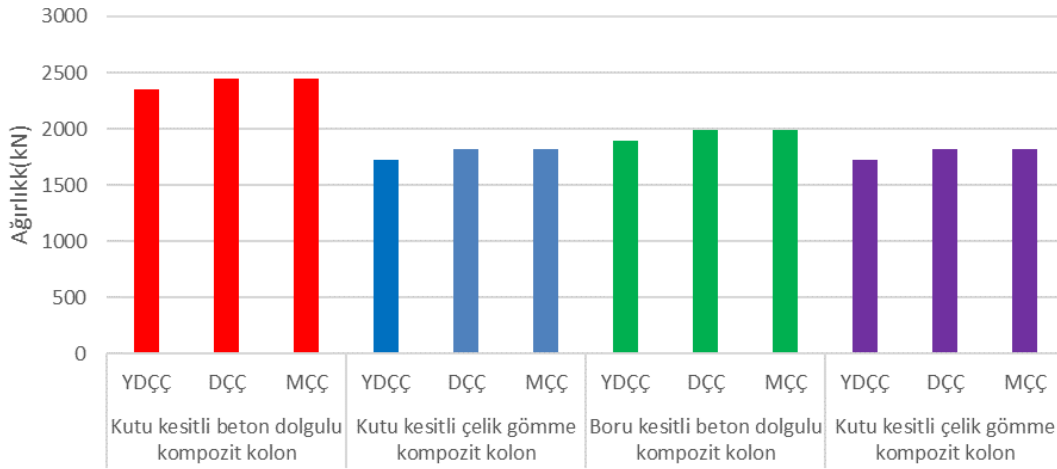
Çerçeve	Kolon	Enerji Tüketimi	Değişim (%)	Rijitlik	Değişim (%)	Yük Taşıma Kapasitesi	Değişim (%)	Süneklik	Değişim (%)
YDÇÇ	KD	0.01016	-	0.386	-	1.164	-	4.261	-
	KG	0.01344	32.28	0.504	30.61	1.402	20.51	4.302	0.96
	BD	0.01125	10.67	0.471	22.08	1.233	5.93	5.425	27.32
	BG	0.01245	22.55	0.497	28.76	1.423	22.30	4.416	3.64
DÇÇ	KD	0.01492	-	0.910	-	2.833	-	2.797	-
	KG	0.01794	20.25	1.094	20.26	3.596	26.91	2.426	-13.26
	BD	0.01673	12.12	1.094	20.29	3.354	18.38	2.617	-6.44
	BG	0.01779	19.23	1.080	18.65	3.555	25.45	2.411	-13.80
MÇÇ	KD	0.01215	-	1.166	-	3.031	-	2.190	-
	KG	0.00998	-17.81	1.533	31.52	3.994	31.77	2.145	-2.05
	BD	0.01165	-4.10	1.607	37.90	3.691	21.76	2.454	12.05
	BG	0.00812	-33.14	1.504	29.04	3.985	31.47	2.114	-3.47

Çaprazlı çerçeve modellerinin enerji tüketimi kapasiteleri, rijitlik, yük taşıma kapasitesi ve süneklik kapasitesi kolon tiplerine göre değerlendirildiğinde Tablo 4.2 ile idealleştirilmiş veriler ve yüzdelik değişimler referans model düşey bağ kirişli dış merkezi çaprazlı çerçeve (YDÇÇ) modeller seçilerek veriler elde edilmiştir.

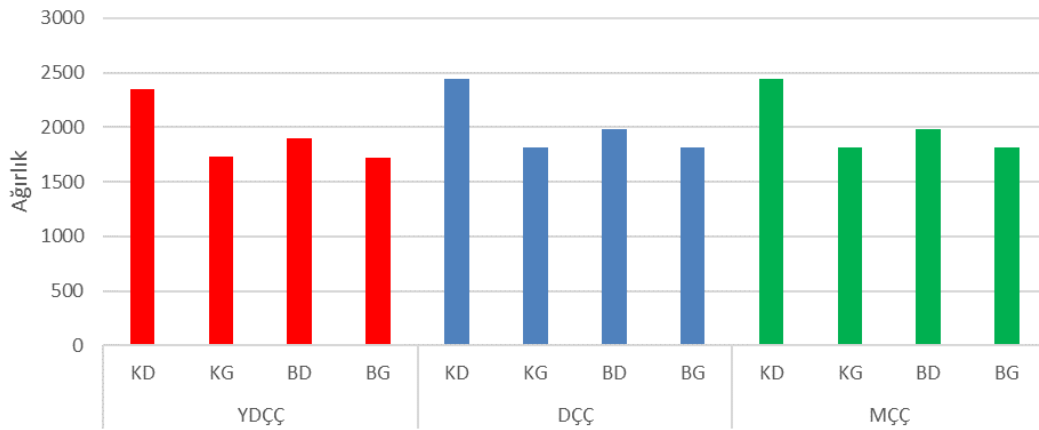
Tablo 4.2. Enerji tüketimi kapasiteleri, rijitlik, yük taşıma kapasitesi ve süneklik kapasitesi kolon tiplerine göre veriler ve yüzdelik değişimler

Kolon	Çerçeve	Enerji Tüketimi	Değişim (%)	Rijitlik	Değişim (%)	Yük Taşıma Kapasitesi	Değişim (%)	Süneklik	Değişim (%)
KD	YDÇÇ	0.01016	-	0.386	-	1.164	-	4.261	-
	DÇÇ	0.01492	46.81	0.910	135.95	2.833	143.49	2.797	-34.36
	MÇÇ	0.01215	19.52	1.166	202.29	3.031	160.48	2.190	-48.6
KG	YDÇÇ	0.01344	-	0.504	-	1.402	-	4.302	-
	DÇÇ	0.01794	33.46	1.094	117.24	3.596	156.43	2.426	- 43.61
	MÇÇ	0.00998	-25.74	1.533	204.38	3.994	184.82	2.145	-50.14
BD	YDÇÇ	0.01125	-	0.471	-	1.233	-	5.425	-
	DÇÇ	0.01673	48.74	1.094	132.48	3.354	172.10	2.617	-51.76
	MÇÇ	0.01165	3.57	1.607	241.46	3.691	199.40	2.454	-54.76
BG	YDÇÇ	0.01245	-	0.497	-	1.423	-	4.416	-
	DÇÇ	0.01779	42.83	1.080	117.42	3.555	149.77	2.411	-45.4
	MÇÇ	0.00812	-34.79	1.504	202.94	3.985	180.01	2.114	-52.13

Çalışmaya esas alınan çerçeve modelleri kolon, kiriş, bağ kiriş ve çapraz eleman ağırlıkları grafik olarak Şekil 4.28 ve 4.29’da verilmiştir.



Şekil 4.28. Modellerin kolon tiplerine göre toplam ağırlık grafiği



Şekil 4.29. Modellerin çerçeve tiplerine göre toplam ağırlık grafiği

Çaprazlı çerçeve modellerinin ağırlıkları kolon tipleri bakımından değerlendirildiğinde;

- Düşey bağ kirişli dış merkezi çaprazlı çerçevelerde; kutu dolgulu kompozit kolonlu çerçeveye (YDÇÇ-KD) göre; kutu gömme kolonlu çerçevede (YDÇÇ- KG) %27, boru dolgu kolonlu (BD-YDÇÇ) %19 ve boru gömme kolonlu çerçevede (YDÇÇ- BG) %27 azalmıştır.
- Yatay bağ kirişli dış merkezi çaprazlı çerçevelerde; kutu dolgulu kompozit kolonlu çerçeveye (DÇÇ-KD) göre; kutu gömme kolonlu çerçevede (DÇÇ-KG) %26, boru

dolgu kolonlu (DÇÇ-BD) %19 ve boru gömme kolonlu çerçevede (DÇÇ-BG) %26 azalmıştır.

- Merkezi çaprazlı çerçevelerde; kutu dolgulu kompozit kolonlu çerçeveye (MÇÇ-KD) göre; kutu gömme kolonlu çerçevede (MÇÇ-KG) %26, boru dolgu kolonlu (MÇÇ-BD) %19 ve boru gömme kolonlu çerçevede (MÇÇ-BG) %26 azalmıştır. Çerçeve tipleri bakımından değerlendirildiğinde;
- Kutu dolgulu kompozit kolonlu düşey bağ kirişli dışmerkez çaprazlı çerçeveye göre (YDÇÇ-KD)'ya göre, dışmerkez çaprazlı çerçevede (DÇÇ-KD) %4 ve merkezi çaprazlı çerçevede (MÇÇ-KD) %4 artmıştır.
- Kutu gömme kolonlu düşey bağ kirişli çerçeveye göre (YDÇÇ-KG), yatay bağ kirişli çerçevede (DÇÇ-KG) %5, merkezi çaprazlı çerçevede (MÇÇ-KG) %5 artmıştır.
- Boru dolgulu kolonlu düşey bağ kirişli çerçeveye göre (YDÇÇ-BD), yatay bağ kirişli çaprazlı çerçevede (DÇÇ-BD) %5, merkezi çaprazlı çerçevede (MÇÇ-BD) %5 artmıştır.
- Boru gömme kolonlu düşey bağ kirişli çerçeveye (YDÇÇ-BG) göre, yatay bağ kirişli çerçevede (DÇÇ-BG) %5, merkezi çaprazlı çerçevede (MÇÇ-BG) %5 artmıştır.

Çalışmaya esas alınan çerçeve modelleri kolon, kiriş, bağ kiriş ve çapraz eleman ağırlıkları hesaplanmış çerçeve tiplerine ve kolon tiplerine göre veriler ve yüzdelik değişimler Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.3. Tüm modellerin ağırlıkları

Çerçeve	Kolon	Ağırlık (kN)	Değişim (%)	Çerçeve	Kolon	Ağırlık (kN)	Değişim (%)
KD	YDÇÇ	2.351.8	-	YDÇÇ	KD	2.351.8	-
	DÇÇ	2.443.8	3.91		KG	1.727.3	-26.56
	MÇÇ	2.441.5	3.81		BD	1.894.8	-19.43
KG	YDÇÇ	1.727.3	-		BG	1.725.9	-26.61
	DÇÇ	1.819.3	5.33	DÇÇ	KD	2.443.8	-
	MÇÇ	1.816.9	5.19		KG	1.819.3	-25.56
BD	YDÇÇ	1.894.8	-		BD	1.986.8	-18.70
	DÇÇ	1.986.8	4.86		BG	1.817.9	-25.61
	MÇÇ	1.984.5	4.73	MÇÇ	KD	2.441.5	-
BG	YDÇÇ	1.725.9	-		KG	1.816.9	-25.58
	DÇÇ	1.817.9	5.33		BD	1.984.5	-18.72
	MÇÇ	1.815.6	5.20		BG	1.815.6	-25.64

5. SONUÇ

Bu çalışmada, snklk düzeyi yüksek ters V aprazlı sistemler, merkezi yatay baē kirişli dışmerkez ve düşey baē kirişli dışmerkez aprazlı olmak üzere ayrı ayrı üç farklı çapraz sistem olarak tasarlanmıştır. Çalışmaya esas alınan ereve sistemlerde dört farklı kompozit kolon kesiti kullanılmıştır.

elik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar 2018 (ÇYTHYE, 2018) ile Türkiye Bina Deprem Ynetmeliēi 2018 (TBDY, 2018) dikkate alınarak tasarlanmıştır. Farklı kolon tiplerine (kutu kesitli beton dolgulu, kutu kesitli elik gömme, boru kesitli beton dolgulu ve boru kesitli elik gömme) sahip toplam on iki adet merkezi aprazlı ve dışmerkez aprazlı ereve (SAP2000) programı kullanılarak modellenmiş ve statik itme analizleri yapılmıştır. Analiz edilen aprazlı çerçevelerin deprem etkisi altındaki doērusal olmayan davranışları incelenmiş ve deēerlendirilmiřtir.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar ereve sistemler için ařaēıdaki gibi özetlenebilir.

Merkezi aprazlı ereve sistemler beklenen performans hedefini (KH) saēlanmamıřtır. Dışmerkez aprazlı ereve sistemlerin tamamı beklenen performans hedefini (KH) saēlamıřtır.

Çaprazlı ereve sistemler bakımından enerji tüketim kapasitesi deēerlendirildiēinde, en yüksek enerji tüketimi yatay baē kirişli dışmerkez aprazlı çerçevelerde, en düşük enerji tüketimi ise merkezi aprazlı ereve sistemlerde ortaya çıkmıştır. Enerji tüketim kapasitesi kolon kesitleri bakımından deēerlendirildiēinde ise, dışmerkez aprazlı çerçeveler için enerji tüketimi elik gömme kompozit kolonlu çerçevelerde daha yüksek, merkezi aprazlı çerçeveler için ise beton dolgulu kompozit kolonlu çerçevelerde daha yüksektir.

Çaprazlı ereve sistemler bakımından ereve rijitliēi deēerlendirildiēinde, en yüksek rijitlik merkezi aprazlı ereve sistemlerde, en düşük ereve rijitliēi ise düşey baē kirişli dışmerkez aprazlı çerçevelerde ortaya çıkmıştır. ereve rijitliēi kolon kesitleri bakımından deēerlendirildiēinde hem dışmerkez aprazlı çerçeveler hem de merkezi aprazlı çerçeveler için kutu kesitli beton dolgulu kompozit kolonlu çerçeveler en düşük rijitliēe sahiptir.

Çaprazlı ereve sistemler bakımından yanal yük taşıma kapasitesi deēerlendirildiēinde, en yüksek yanal yük taşıma kapasitesinin merkezi aprazlı ereve sistemlerde, en düşük kapasitenin ise düşey baē kirişli dışmerkez aprazlı çerçevelerde olduēu görülmektedir. Hem dışmerkez aprazlı çerçeveler için hem de merkezi aprazlı

çerçeveler için çelik gömme kompozit kolonlu çerçeveler, beton dolgu kompozit kolonlu çerçevelere göre daha yüksek yanal yük taşıma kapasitesi sergilemişlerdir.

Çaprazlı çerçeve sistemler bakımından süneklik kapasitesi değerlendirildiğinde, en yüksek süneklik kapasitesinin düşey bağ kirişli çaprazlı çerçeve sistemlerde, en düşük süneklik kapasitenin ise merkezi çaprazlı çerçevelerde olduğu görülmektedir. Hem dışmerkez çaprazlı çerçeveler için, hem de merkezi çaprazlı çerçeveler için genel olarak çelik gömme kompozit kolonlu çerçeveler, beton dolgulu kompozit kolonlu çerçevelere göre daha yüksek süneklik kapasitesi sergilemişlerdir.

Çaprazlı çerçeve sistemler bakımından çerçeve ağırlığı değerlendirildiğinde, en düşük ağırlığa düşey bağ kirişli dışmerkez çaprazlı çerçeveler sahiptir. Çerçeve ağırlığı kolon kesitleri bakımından değerlendirildiğinde hem dışmerkez çaprazlı çerçeveler hem de merkezi çaprazlı çerçeveler için beton dolgulu kompozit kolonlu çerçeveler daha yüksek ağırlığa, çelik gömme kompozit kolonlu çerçeveler ise daha düşük ağırlığa sahiptir. Tüm çerçeve sistemler için beton dolgu kutu kompozit kolonlu çerçeve en yüksek ağırlığa sahiptir.

Kolon bakımından;

Özetle yanal yük taşıyıcı MÇÇ, DÇÇ ve YDÇÇ sistemler değerlendirildiğinde;

- Rijitlik ve yanal yük taşıma kapasitesi bakımından merkezi çaprazlı çerçeve sistemler (MÇÇ) en yüksek değeri almıştır.
- Enerji tüketim kapasitesi bakımından yatay bağ kirişli dışmerkez çaprazlı çerçeveler (DÇÇ) en yüksek performansı göstermiştir.
- Süneklik kapasitesi ve çerçeve ağırlığı bakımından ise en yüksek performansı düşey bağ kirişli dışmerkez çaprazlı çerçeveler (YDÇÇ) göstermiştir.

Özetle kompozit kolon kesit tipleri değerlendirildiğinde;

Enerji tüketimi bakımından, dışmerkez çaprazlı çerçevelerde çelik gömme kompozit kolonlu çerçeveler, merkezi çaprazlı çerçevelerde ise beton dolgulu kompozit kolonlu çerçeveler daha yüksek enerji tüketim kapasitesine sahip olmuştur.

Hem dışmerkez çaprazlı çerçeveler hem de merkezi çaprazlı çerçeveler için çerçeve rijitliği, yanal yük taşıma kapasitesi, süneklik kapasitesi çelik gömme kompozit kolonlu çerçevelerde daha yüksek değer alırken, çerçeve ağırlığının daha düşük değer alması bakımından çelik gömme kompozit kolon kesitlerinin daha avantajlı olduğu söylenebilir.

KAYNAKLAR

- Açıkkelli, G. S., 2019. Çelik Gömme Kompozit Kolon, Kiriş ve Bağ Kirişli Bir Binanın Yapısal Tasarımı ve Doğrusal Olmayan Analizi, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- AISC, 2017. *Companion To The Aisc Steel Construction Manual*. USA: American Institute of Steel Construction, USA.
- Altan, Y., 2020. Merkezi ve Dışmerkez Çaprazlı Çelik Bina Yapılarında Deprem Performansının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Gelişim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Avcı, Ç., 2001. Çok Katlı Bir Yapının Çelik ve Kompozit Çözümünün Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Aydın, M., 2019. Çelik Tüp İçine Lif Katkılı Beton Doldurulmuş Kısa Kompozit Kolonların Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Bulut, Ş., 2020. AASHTO LRFD'ye Göre Betonarme Bir Köprünün Tasarımı ve Doğrusal Olmayan Statik İtme Yöntemi İle Performansının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Caprili, S., Mussini, N., Salvatore, W., 2018, Experimental And Numerical Assessment of EBF Structures With Shear Links. *Elsevier*, 28(2), 126.
- Celep, Z., 2007. *Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme*, Beta Dağıtım, İstanbul, 198.
- Chilton, J., 2000. *Space Grid Structures*, Architectural Press, Boston, 98.
- ÇYTHYE, 2018. *Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar*. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- Dakhil, A., 2020. Experimental Analysis of The Behavior of Composite Column-Reinforced Concrete Beam Joints, Yüksek Lisans Tezi. Atılım Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Demir, F., Tekeli, H., Korkmaz, K., 2007. The Effects of Elastic Modulus on The Relative Story Displacement Limitations. *Journal of Engineering and Natural Sciences* , 25(2), 195.
- Dicleli, M., Mehta, A., 2007. Simulation Of Inelastic Cyclic Buckling Behavior Of Steel Box Sections. *Elsevier*, 85(7-8), 445.
- Ellobody, E., Young, B., 2011. Numerical Simulation of Concrete Encased Steel Composite Columns. *Elsevier*, 67, 214.

- Ertaş, B., 2018. Taşıyıcı Sistemi Süneklik Düzeyi Yüksek Kompozit Kolonlu Moment Aktaran Çelik Çerçevelerden Oluşan Binalar İçin Tasarım Esaslarının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- EUROCODE 4, 2004. *Analysis And Design of Composite Curved Channel Frames*, European Committee For Standardization, France.
- Feng, P., Cheng, S., Bai, Y., Ye, L., 2015. Mechanical Behavior of Concrete-Filled Square Steel Tube With FRP-Confined Concrete Core Subjected To Axial Compression. *Elsevier*, 123, 316.
- Fidanboy, H., 2019, Combined Axial Load And Bending Moment Interaction Diagrams For Steel-Concrete Composite Columns in Tall Buildigs, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Güler, K., 2019. Farklı Yükseklik ve Zemin Sınıfına Sahip Betonarme Bina Kolonlarına Etki Eden Yüklerle Çelik ve Kompozit Kolon Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Hadim, O., 2018. Taşıyıcı Sistemi Beton Dolgulu Kompozit Kolonlar İçeren Dışmerkez Çaprazlı Çerçevelerden Oluşan Bir Binanın Tasarımı ve Doğrusal Olmayan Analizi, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- İnce, G., İnce, H., Kaya, F., 2015. Kompozit Yapı Sistemlerinin İncelenmesi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6(1), 44.
- Işık, S. M., 2019. Çelik-Beton Kompozit Kolonlu Yüksek Yapıların Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi. Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
- Ji, J., Xu, Z., Jiang, L., Zhang, Y., Zhou, L., Zhang, S., 2018. Nonlinear Buckling Analysis of H-Type Honeycombed Composite Column with Rectangular Concrete-Filled Steel Tube Flanges. *International Journal of Steel Structures*, 18(4), 1156.
- Kırlangıç, O., 2020. Fonksiyonel Derecelendirilmiş ile Tabakalı Kompozit Kirişlerin Dinamik, Stabilité ve Statik Analizleri, Yüksek Lisans Tezi. Bursa Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Köroğlu, M. A., 2007. Kompozit Döşemelerde Kayma Bağlayıcısı Olarak Eksismik Çeliğinin Kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Lacki, P., 2018. Comparison of Steel-Concrete Composite Column And Steel Column. *Elsevier*, 202, 83.
- Mason, B., Haftka, R., Johnson, E., 1994. Analysis And Design Of Composite Curved Channel Frames, *Aerospace and Ocean Engineering Department*, Blacksburg.

- Olabi, N., Kısa, M., Haşim, Y., Çağlar, N., 2018. Kompozit Perde Duvarların Yatay Yük Etkisi Altındaki Davranışlarının İrdelenmesi. *International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science*, Antalya.
- Ömerbeyoğlu, F., 2019. Taşıyıcı Sistemi Çelik Gömme Kompozit Kolonlar ve Çelik Kirişlerden Oluşan Bir Binanın Tasarımı ve Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analizi, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Razaziyan, B., Amani, N., 2016. Investigating the Performance Levels in Concrete Buildings Reinforced with the Braced Frame (Inverted V-CBF) and the Shear Wall through Non-linear Static Analysis (Push Over) with Plastic Hinges Formation Approach. *International Journal of Engineering Research and Management*, 11(3), 10.
- SAP2000, *Structural and Earthquake Engineering Software*. CSI, California, ABD.
- Sevim, B., Altunışık, A., 2016. Kompozit Kolon Elemanların Modal Davranışlarının Belirlenmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 8(1), 16.
- Shanmugam, N. E., 2001. State Of The Art Report On Steel-Concrete Composite Columns. *Elsevier*, 57, 346.
- Suswanto, B., Wahyuni, E., Amalia, A., Rafael, Y. W., 2017. Numerical Behavior Study of Short Link, Intermediate Link And Long Link in Eccentrically Braced Frame Steel Structure. *International journal of applied engineering research*, 12(21), 11465.
- Şimşek, Y. E., 2018. Taşıyıcı Sistemi Beton Dolgulu Kompozit Kolon ve Çelik Kirişlerden Oluşan Bir Binanın Tasarımı ve Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analizi, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Taly, N., 2007. *Reinforced Concrete Design With FRP Composites*. Taylor-Francis Group, Londra, 274.
- Taranath, B., 2012. *Structural Analysis and Design of Tall Buildings*. CRC Press, ABD, 407.
- Taşkın, K., 2019. Kompozit Yapıların Tasarımı. *Eskişehir Üniversitesi İnşaat Fakültesi*. <https://insaat.eskisehir.edu.tr/kivanct/%C4%B0N%C5%9E%20569/icerik/2.KOMPOZiT%20KESiT%20VE%20KESME%20BiRLE%C5%9E%C4%B0M%C4%B0.p>
- TBDY, 2018. *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- Uslu, F., Taşkın, K., Saraçoğlu, M. H., 2021. Eksenel Yük ve Moment Etkisi Altındaki Çelik Gömme Kompozit Kolonların Dayanımları ve Süneklikleri. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(1), 336.
- Uzun, S., 2018. Beton Dolgulu Kompozit Kolonlu Bir Ofis Binasının Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018 Esas Alınarak Tasarımı ve Doğrusal Olmayan Analizi, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Wang, Y. C., 1999. Tests on Slender Composite Columns. *Elsevier*, 49, 26.

- Xu, W., Han, L.-H., Li, W., 2016. Seismic Performance of Concrete-Encased Column Base For Hexagonal Concrete-Filled Steel Tube: Experimental Study. *Elsevier*, 121, 355.
- Yorgun, C., 2005. *Çelik Sac-Beton Kompozit Döşeme Sistemlerinin Uygulamalarına Yönelik Değerlendirmeler*, Türkiye Mühendislik Haberleri, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara, 60-64.
- Yönev, Ö., 2019. Merkezi Çaprazlı Çelik Bir Yapıda Yarı-Rijit Kompozit Kolon-Kiriş Birleşim Kullanımının Yapının Deprem Performansına Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Yu, T., Lin, G., & Zhang, S. S., 2016. Compressive Behavior of FRP-Confined Concrete-Encased Steel Columns. *Elsevier*, 154, 494.
- Zhou, T., Xu, M., Wang, X., Chen, Z., Qin, Y., 2015. Experimental Study and Parameter Analysis of L-shaped Composite Column under Axial Loading, *International Journal of Steel Structures*, 15(4), 799.
- Zhou, X., Yan, B., Liu, J., 2015. Behavior of Square Tubed Steel Reinforced-Concrete (SRC) Columns Under Eccentric Compression. *Elsevier*, 91, 132.
- Ziane, L., Kerdal, D., Seghir, A., 2019. Effect of Combined Vertical And Horizontal Shear Links On Nonlinear Behavior of Eccentrically Braced Frames. *Asian Journal of Civil Engineering* , 20(2), 424.