İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KABLOLU, KONSOL MAKASLI UÇAK HANGARININ DEPREM HESABI VE EUROCODE 3 YÖNETMELİĞİNE GÖRE BOYUTLANDIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Tuncay AYDOĞUŞ

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

ARALIK 2005

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KABLOLU, KONSOL MAKASLI UÇAK HANGARININ DEPREM HESABI VE EUROCODE 3 YÖNETMELİĞİNE GÖRE TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Tuncay AYDOĞUŞ
(501021063)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 15 Kasım 2005
Tezin Savunulduğu Tarih : 2 Aralık 2005

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Alpay ÖZGEN
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Gülay ALTAY (B.Ü.)
Doç.Dr. Güliz BAYRAMOĞLU (İ.T.Ü.)

ARALIK 2005

ÖNSÖZ

Öncelikle gerek lisans gerekse yüksek lisans öğrenimim sırasında tüm bilgi, tecrübe ve hoşgörüsünü esirgemeyen, çelik yapıları sevmemde ve bu konuda çalışmamda en büyük etken olan hocam sayın Prof. Dr. Alpay ÖZGEN'e, Çelik Yapılar Çalışma Grubu'nun değerli öğretim üyelerinden sayın Doç. Dr. Güliz BAYRAMOĞLU'na ve her zaman yanımda olan sevgili eşime teşekkürleri bir borç bilirim.

Kasım, 2005 **Tuncay AYDOĞUŞ**

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR **vi**
TABLO LİSTESİ **vii**
ŞEKİL LİSTESİ **viii**
SEMBOL LİSTESİ **x**
ÖZET **xii**
SUMMARY **xiii**

1. GİRİŞ **1**
1.1. Yapının Genel Özellikleri 2
1.2. Statik Sistem 3
1.3. Yapı Analiz Ve Tasarımında Kullanılan Parametreler 3
1.3.1. Standartlar 3
1.3.2. Malzeme 4
1.3.2.1 Yapısal Çelik 4
1.3.2.2 Kablolar 4
1.3.2.3 Birleşim Elemanları 5
1.3.2.4 Beton 6
1.3.3. Coğrafi Konum 6
1.3.3.1 Zemin 6
1.3.3.2 Deprem 6
1.3.3.3 Kar 6

2. UÇAK HANGARLARI TAŞIYICI SİSTEMLERİ **7**
2.1. Genel Bilgiler 7
2.1. Taşıyıcı Sistemler 8

3. EUROCODE 3'E GÖRE ÇELİK YAPILARIN TASARIMI **12**
3.1. Boyutlandırmanın Temel İlkeleri 12
3.1.1. Göçme Olasılığı 13
3.1.2. Güvenlik Endeksi 14
3.1.3. Güvenlik Endeksi ile Güvenlik Katsayısı Arasındaki İlişki 17
3.1.4. Kısmi Güvenlik Katsayıları Yönteminin Uygulanması 20
3.1.5. Kısmi Güvenlik Katsayıları 21
3.2. Yapı Malzemesinin Hesap Değerleri 23
3.3. Kesit Tasarım Etkileri ve Enkesit Tasarım Dayanımının Hesap Yöntemleri 24

3.3.1. Kesit Tasarım Etkilerinin Hesap Yöntemleri 24
3.3.2. Kesit Dayanımı Hesabında Kullanılan Enkesit Değerleri 26
3.4. Enkesitlerin Sınıflandırılması 27
3.4.1. Geometrik Kesit Değerlerinin Eurocode3'e Göre Tanımı 27
3.4.2. Enkesitlerin Sınıflandırılması 27
3.4.2.1. 4. Sınıf Enkesitlerde Etkili Enkesit Değerleri 32
3.5. Çekme Çubuklarının Boyutlandırılması 36
3.6. Basınç Çubuklarının Boyutlandırılması 37
3.7. Kirişlerin Boyutlandırılması 40
3.7.1. Eğilme 40
3.7.2. Kesme Kuvveti 41
3.7.3. Eğilme Momenti ve Kesme Kuvveti 42
3.7.4. Kullanılabilirlik Sınır Durumlarında Kirişlerin Sehim Sınırları 42
3.8. Normal Kuvvet ve Eğilme Momenti Etkisindeki Elemanlar 43
3.8.1. Enkesit Kontrolü 43
3.8.1.1. Eğilme Momenti ve Normal Kuvvet Etkisi 43
3.8.1.2. Eğilme Momenti, Kesme Kuvveti ve Normal Kuvvet Etkisi 46
3.8.1.3. Eğilme Momenti ve Eksenel Çekme Etkisi 49
3.8.2. Stabilite Kontrolleri 49
3.8.2.1. Yanal Burulmalı Burkulma Dayanımı 49
3.8.2.2. Eğilme Momenti ve Eksenel Basınç Etkisi 51

4. YAPININ BOYUTLANDIRILMASI 56
4.1. Yük Analizi 56
4.2. Aşık Hesabı 63
4.2.1. Aşık Kesitinin Tasarımı 63
4.2.2. Aşık Ekinin Tasarımı 68
4.3. Tali Kiriş Hesabı 70
4.3.1. Kiriş Kesitinin Belirlenmesi 70
4.3.2. Bindirme Levhalı Kiriş Eki Tasarımı 74
4.3.3. Sürekli Kiriş Birleşimi Tasarımı 78
4.4. Kalkan Duvarın Boyutlandırılması 81
4.4.1. Kuşakların Tasarımı 81
4.4.2. Dikmelerin Tasarımı 84
4.5. Yan Duvarın Boyutlandırılması 90
4.6. Kapı Makasının Boyutlandırılması 93
4.7. Ana Makasın Boyutlandırılması 100
4.7.1. Yük Analizi 100
4.7.2. Kombinasyonlar 102

4.7.3. Kesit Tesirleri 104
4.7.4.Kirişin Boyutlandırılması 106
4.7.4.1. Kesitin Belirlenmesi 106
4.7.4.2. Kiriş Eklerinin Tasarımı 113
4.7.5. Kolonların Boyutlandırılması 122
4.7.5.1. Kesitin Belirlenmesi 122
4.7.5.2. Kolon Ekinin Tasarımı 128
4.7.6. Kabloların Boyutlandırılması 133
4.8. Stabilite Bağlantılarının Boyutlandırılması 136
4.8.1. Düşey Stabilite Bağlantıları 136
4.8.2. Çatı Stabilite Bağlantıları 139
4.9. Kolon, Kablo Temel Bağlantıları ve Temel Tasarımı 141
4.9.1. Kolon Ayağı Tasarımı 141
4.9.2. Kablo Temel Bağlantısı 144
4.9.3. Kolon Temeli Tasarımı 146

5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ 150
5.1. Modal Periyotlar ve Katılım Oranları 150
5.2. Taban Kesme Kuvvetleri 151
5.3. Yerdeğiştirmeler 154
5.4. Sonuç 157

KAYNAKLAR 160

EKLER 161

ÖZGEÇMİŞ 163

KISALTMALAR

ABYYHY	: Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
TS498	: Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri
TS500	: Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları
EC3	: Eurocode 3: Design of Steel Structures

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1.1. Çeliğin f_y akma gerilmesinin ve f_u çekme dayanımının nominal değerleri …..... 4
Tablo 1.2. Bulonların akma gerilmesinin ve çekme dayanımının nominal değerleri 5
Tablo 1.3. Kaynakların çekme dayanımı ve β düzeltme katsayısı değerleri…. 5
Tablo 3.1. Güvenlik endeksi ……..... 16
Tablo 3.2. Güvenlik endeksi ile göçme olasılığı arasındaki ilişki 17
Tablo 3.3. Kısmi güvenlik katsayıları değerleri 22
Tablo 3.4. Çeliğin akma gerilmesinin ve çekme dayanımı değerleri..... 23
Tablo 3.5. Bulonların akma gerilmesinin ve çekme dayanımının nominal değerleri 23
Tablo 3.6. Kesit dayanımı hesabında kullanılan enkesit değerleri..... 26
Tablo 3.7. Çekme kuvvetinin boyutlandırma değeri 36
Tablo 3.8. Tavsiye edilen düşey deplasman değerleri 42
Tablo 3.9. İki eksenli eğilme halinde karşılıklı etkileşim bağıntıları 47
Tablo 4.1. Z2'ye göre spektrum değerleri 59
Tablo 4.2. Periyotlar ve frekanslar 150
Tablo 4.3. Kütle katılım oranları 151
Tablo 4.4. Taban kesme kuvvetleri 151
Tablo A.1. Open spiral strand tipi kablolar……..... 161
Tablo A.2. Soket boyutları……..... 162

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. : Dispozisyon planı 2
Şekil 1.2. : Open spiral strand (OSS) tipi kablo kesit şekilleri..... 5
Şekil 2.1. : Uçak boyutları 8
Şekil 2.2. : Uçak hangarları taşıyıcı sistemleri 10
Şekil 2.3. : Münih havaalanı uçak bakım hangarı 11
Şekil 3.1. : Merkezi güvenlik katsayısı 13
Şekil 3.2. : Anma güvenlik katsayısı……..... 14
Şekil 3.3. : S etkisinin, R mukavemetinin ve Z güvenlik bölgesinin dağılım yoğunlukları……..... 15
Şekil 3.4. : Güvenlik katsayıları ve fraktil değerleri 17
Şekil 3.5. : Mekanizma durumu …..... 25
Şekil 3.6. : Geometrik kesit değerlerinin Eurocode3 yönetmeliğine göre gösterimi..... 27
Şekil 3.7. : Basınç ve eğilme elemanları için genişlik-kalınlık oranları sınırları..... 29
Şekil 3.8. : Basınca maruz enkesit kısımlarında maksimum b/t oranları……..... 30
Şekil 3.9. : Basınca maruz enkesit kısımlarında maksimum b/t oranları……..... 31
Şekil 3.10. : Basınca maruz enkesit kısımlarında maksimum b/t oranları 32
Şekil 3.11. : İki taraftan mesnetli kısımlar 34
Şekil 3.12. : Tek taraftan mesnetli kısımlar..... 35
Şekil 3.13. : Basınca maruz 4. sınıf enkesit..... 35
Şekil 3.14. : Eğilmeye maruz 4. sınıf enkesit..... 36
Şekil 3.15. : Kesitler için farklı eksenlerde burkulma çarpanları..... 39
Şekil 3.16. : Enkesit dayanımının tasarım değeri..... 40
Şekil 3.17. : Kesme kuvveti enkesit alanı..... 41
Şekil 3.18. : Gözönüne alınacak deplasmanlar..... 42
Şekil 3.19. : Normal kuvvet ve kesme kuvveti etkimesi durumunda $M_{N,V,Rd}$ bağıntıları..... 48
Şekil 3.20. : Etkili boy katsayısı..... 50
Şekil 3.21. : C_1 değerleri ψ'nin tanımı..... 51
Şekil 3.22. : Moment katsayısı..... 55
Şekil 4.1. : Kapının kapalı ve rüzgarın soldan etkimesi durumu..... 57
Şekil 4.2. : Kapının kapalı ve rüzgarın sağdan etkimesi durumu..... 57
Şekil 4.3. : Kapının açık ve rüzgarın soldan etkimesi durumu..... 57
Şekil 4.4. : Kapının açık ve rüzgarın sağdan etkimesi durumu..... 57
Şekil 4.5. : Spektrum eğrisi..... 59
Şekil 4.6. : +L Kuzey-Güney yönü..... 60

Şekil 4.7. : +T Doğu-Batı yönü..... 60
Şekil 4.8. : +V Düşey doğrultu..... 60
Şekil 4.9. : +T Doğu-Batı yönü ξ=0,00; 0,02; 0,05; 0,10; 0,20; sönüm oranları için ivme, hız ve yerdeğiştirme spektrum eğrileri 61
Şekil 4.10. : +V Doğu-Batı yönü ξ=0,00; 0,02; 0,05; 0,10; 0,20; sönüm oranları için ivme, hız ve yerdeğiştirme spektrum eğrileri 62
Şekil 4.11. : Aşık eki detayı 68
Şekil 4.12. : Tali kiriş statik sistemi..... 70
Şekil 4.13. : Tali kiriş eki 74
Şekil 4.14. : Sürekli kiriş birleşimi..... 78
Şekil 4.15. : Kalkan duvar 81
Şekil 4.16. : Kesit tesirleri 84
Şekil 4.17. : Dikme ayağı 88
Şekil 4.18. : Kapı makası statik sistemi 94
Şekil 4.19. : Alt ve üst başlık eki 99
Şekil 4.20. : Özağırlık yükleri 100
Şekil 4.21. : Kar yükleri 100
Şekil 4.22. : Kapı rüzgar yüklemesi 101
Şekil 4.23. : Rüzgar yükleri 101
Şekil 4.24. : Modeldeki eleman numaraları 104
Şekil 4.25. : Modeldeki düğüm noktası numaraları 104
Şekil 4.26. : Komb_9 mesnet tepkileri 105
Şekil 4.27. : Kiriş eki detayı-1 113
Şekil 4.28. : Kiriş eki detayı-2 118
Şekil 4.29. : Kolon eki detayı 129
Şekil 4.30. : ϕ88 kablo oketi 133
Şekil 4.31. : ϕ64 kablo soketi 134
Şekil 4.32. : ϕ40 kablo soketi 135
Şekil 4.33. : Düşey çapraz birleşim detayı 138
Şekil 4.34. : Çatı çaprazı statik sistemi 139
Şekil 4.35. : Çatı çaprazı birleşimi 139
Şekil 4.36. : Kolon ayağı detayı 141
Şekil 4.37. : Kablo temel bağlantısı detayı 145
Şekil 4.38. : Temel kalıp planı 146
Şekil 4.39. : Betonarme kazık kesiti 147
Şekil 4.40. : Temel donatı planı 149
Şekil 4.41. : L_X yönü taban kesme kuvveti 152
Şekil 4.42. : L_Y yönü taban kesme kuvveti 152
Şekil 4.43. : T_X yönü taban kesme kuvveti 153
Şekil 4.44. : T_Y yönü taban kesme kuvveti 153
Şekil 4.45. : L_X yönü X yerdeğiştirmesi 154
Şekil 4.46. : T_X yönü X yerdeğiştirmesi 155
Şekil 4.47. : L_Y yönü Y yerdeğiştirmesi 156
Şekil 4.48. : T_Y yönü Y yerdeğiştirmesi 156
: Basınca maruz enkesit kısımlarında
Şekil 1.1. : Dispozisyon planı 2
Şekil 1.2. : Open spiral strand (OSS) tipi kablo kesit şekilleri..... 5
Şekil 2.1. : Uçak boyutları 8

Şekil 2.2. : Uçak hangarları taşıyıcı sistemleri 10
Şekil 2.3. : Münih havaalanı uçak bakım hangarı 11
Şekil 3.1. : Merkezi güvenlik katsayısı 13
Şekil 3.2. : Anma güvenlik katsayısı……..... 14
Şekil 3.3. : S etkisinin, R mukavemetinin ve Z güvenlik bölgesinin dağılım yoğunlukları……..... 15
Şekil 3.4. : Güvenlik katsayıları ve fraktil değerleri 17
Şekil 3.5. : Mekanizma durumu …..... 25
Şekil 3.6. : Geometrik kesit değerlerinin Eurocode3 yönetmeliğine göre gösterimi..... 27
Şekil 3.7. : Basınç ve eğilme elemanları için genişlik-kalınlık oranları sınırları..... 29
Şekil 3.8. : Basınca maruz enkesit kısımlarında maksimum b/t oranları……..... 30
Şekil 3.9. : Basınca maruz enkesit kısımlarında maksimum b/t oranları……..... 31
Şekil 3.10. : Basınca maruz enkesit kısımlarında maksimum b/t oranları 32
Şekil 3.11. : İki taraftan mesnetli kısımlar 34
Şekil 3.12. : Tek taraftan mesnetli kısımlar..... 35
Şekil 3.13. : Basınca maruz 4. sınıf enkesit..... 35
Şekil 3.14. : Eğilmeye maruz 4. sınıf enkesit..... 36
Şekil 3.15. : Kesitler için farklı eksenlerde burkulma çarpanları..... 39
Şekil 3.16. : Enkesit dayanımının tasarım değeri..... 40
Şekil 3.17. : Kesme kuvveti enkesit alanı..... 41
Şekil 3.18. : Gözönüne alınacak deplasmanlar..... 42
Şekil 3.19. : Normal kuvvet ve kesme kuvveti etkimesi durumunda $M_{N,V,Rd}$ bağıntıları..... 48
Şekil 3.20. : Etkili boy katsayısı..... 50
Şekil 3.21. : C_1 değerleri ψ'nin tanımı..... 51
Şekil 3.22. : Moment katsayısı..... 55
Şekil 4.1. : Kapının kapalı ve rüzgarın soldan etkimesi durumu..... 57
Şekil 4.2. : Kapının kapalı ve rüzgarın sağdan etkimesi durumu..... 57
Şekil 4.3. : Kapının açık ve rüzgarın soldan etkimesi durumu..... 57
Şekil 4.4. : Kapının açık ve rüzgarın sağdan etkimesi durumu..... 57
Şekil 4.5. : Spektrum eğrisi..... 59
Şekil 4.6. : +L Kuzey-Güney yönü..... 60
Şekil 4.7. : +T Doğu-Batı yönü..... 60
Şekil 4.8. : +V Düşey doğrultu..... 60
Şekil 4.9. : +T Doğu-Batı yönü ξ=0,00; 0,02; 0,05; 0,10; 0,20; sönüm oranları için ivme, hız ve yerdeğiştirme spektrum eğrileri 61
Şekil 4.10. : +V Doğu-Batı yönü ξ=0,00; 0,02; 0,05; 0,10; 0,20; sönüm oranları için ivme, hız ve yerdeğiştirme spektrum eğrileri 62
Şekil 4.11. : Aşık eki detayı 68
Şekil 4.12. : Tali kiriş statik sistemi..... 70
Şekil 4.13. : Tali kiriş eki 74
Şekil 4.14. : Sürekli kiriş birleşimi..... 78
Şekil 4.15. : Kalkan duvar 81

Şekil 4.16. : Kesit tesirleri 84
Şekil 4.17. : Dikme ayağı 88
Şekil 4.18. : Kapı makası statik sistemi 94
Şekil 4.19. : Alt ve üst başlık eki 99
Şekil 4.20. : Özağırlık yükleri 100
Şekil 4.21. : Kar yükleri 100
Şekil 4.22. : Kapı rüzgar yüklemesi 101
Şekil 4.23. : Rüzgar yükleri 101
Şekil 4.24. : Modeldeki eleman numaraları 104
Şekil 4.25. : Modeldeki düğüm noktası numaraları 104
Şekil 4.26. : Komb_9 mesnet tepkileri 105
Şekil 4.27. : Kiriş eki detayı-1 113
Şekil 4.28. : Kiriş eki detayı-2 118
Şekil 4.29. : Kolon eki detayı 129
Şekil 4.30. : ϕ88 kablo oketi 133
Şekil 4.31. : ϕ64 kablo soketi 134
Şekil 4.32. : ϕ40 kablo soketi 135
Şekil 4.33. : Düşey çapraz birleşim detayı 138
Şekil 4.34. : Çatı çaprazı statik sistemi 139
Şekil 4.35. : Çatı çaprazı birleşimi 139
Şekil 4.36. : Kolon ayağı detayı 141
Şekil 4.37. : Kablo temel bağlantısı detayı 145
Şekil 4.38. : Temel kalıp planı 146
Şekil 4.39. : Betonarme kazık kesiti 147
Şekil 4.40. : Temel donatı planı 149
Şekil 4.41. : L_X yönü taban kesme kuvveti 152
Şekil 4.42. : L_Y yönü taban kesme kuvveti 152
Şekil 4.43. : T_X yönü taban kesme kuvveti 153
Şekil 4.44. : T_Y yönü taban kesme kuvveti 153
Şekil 4.45. : L_X yönü X yerdeğiştirmesi 154
Şekil 4.46. : T_X yönü X yerdeğiştirmesi 155
Şekil 4.47. : L_Y yönü Y yerdeğiştirmesi 156
Şekil 4.48. : T_Y yönü Y yerdeğiştirmesi 156
: Basınca maruz enkesit kısımlarında
Şekil 1.1. : Dispozisyon planı 2
Şekil 1.2. : Open spiral strand (OSS) tipi kablo kesit şekilleri..... 5
Şekil 2.1. : Uçak boyutları 8
Şekil 2.2. : Uçak hangarları taşıyıcı sistemleri 10
Şekil 2.3. : Münih havaalanı uçak bakım hangarı 11
Şekil 3.1. : Merkezi güvenlik katsayısı 13
Şekil 3.2. : Anma güvenlik katsayısı……..……..…... 14
Şekil 3.3. : S etkisinin, R mukavemetinin ve Z güvenlik bölgesinin dağılım yoğunlukları……..... 15
Şekil 3.4. : Güvenlik katsayıları ve fraktil değerleri 17
Şekil 3.5. : Mekanizma durumu …..... 25
Şekil 3.6. : Geometrik kesit değerlerinin Eurocode3 yönetmeliğine göre gösterimi..... 27
Şekil 3.7. : Basınç ve eğilme elemanları için genişlik-kalınlık oranları sınırları..... 29
Şekil 3.8. : Basınca maruz enkesit kısımlarında

maksimum b/t oranları……..... 30
Şekil 3.9. : Basınca maruz enkesit kısımlarında maksimum b/t oranları……..... 31
Şekil 3.10. : Basınca maruz enkesit kısımlarında maksimum b/t oranları 32
Şekil 3.11. : İki taraftan mesnetli kısımlar 34
Şekil 3.12. : Tek taraftan mesnetli kısımlar..... 35
Şekil 3.13. : Basınca maruz 4. sınıf enkesit..... 35
Şekil 3.14. : Eğilmeye maruz 4. sınıf enkesit..... 36
Şekil 3.15. : Kesitler için farklı eksenlerde burkulma çarpanları..... 39
Şekil 3.16. : Enkesit dayanımının tasarım değeri..... 40
Şekil 3.17. : Kesme kuvveti enkesit alanı..... 41
Şekil 3.18. : Gözönüne alınacak deplasmanlar..... 42
Şekil 3.19. : Normal kuvvet ve kesme kuvveti etkimesi durumunda $M_{N,V,Rd}$ bağıntıları..... 48
Şekil 3.20. : Etkili boy katsayısı..... 50
Şekil 3.21. : C_1 değerleri ψ'nin tanımı..... 51
Şekil 3.22. : Moment katsayısı..... 55
Şekil 4.1. : Kapının kapalı ve rüzgarın soldan etkimesi durumu..... 57
Şekil 4.2. : Kapının kapalı ve rüzgarın sağdan etkimesi durumu..... 57
Şekil 4.3. : Kapının açık ve rüzgarın soldan etkimesi durumu..... 57
Şekil 4.4. : Kapının açık ve rüzgarın sağdan etkimesi durumu..... 57
Şekil 4.5. : Spektrum eğrisi..... 59
Şekil 4.6. : +L Kuzey-Güney yönü..... 60
Şekil 4.7. : +T Doğu-Batı yönü..... 60
Şekil 4.8. : +V Düşey doğrultu..... 60
Şekil 4.9. : +T Doğu-Batı yönü ξ=0,00; 0,02; 0,05; 0,10; 0,20; sönüm oranları için ivme, hız ve yerdeğiştirme spektrum eğrileri 61
Şekil 4.10. : +V Doğu-Batı yönü ξ=0,00; 0,02; 0,05; 0,10; 0,20; sönüm oranları için ivme, hız ve yerdeğiştirme spektrum eğrileri 62
Şekil 4.11. : Aşık eki detayı 68
Şekil 4.12. : Tali kiriş statik sistemi..... 70
Şekil 4.13. : Tali kiriş eki 74
Şekil 4.14. : Sürekli kiriş birleşimi..... 78
Şekil 4.15. : Kalkan duvar 81
Şekil 4.16. : Kesit tesirleri 84
Şekil 4.17. : Dikme ayağı 88
Şekil 4.18. : Kapı makası statik sistemi 94
Şekil 4.19. : Alt ve üst başlık eki 99
Şekil 4.20. : Özağırlık yükleri 100
Şekil 4.21. : Kar yükleri 100
Şekil 4.22. : Kapı rüzgar yüklemesi 101
Şekil 4.23. : Rüzgar yükleri 101
Şekil 4.24. : Modeldeki eleman numaraları 104
Şekil 4.25. : Modeldeki düğüm noktası numaraları 104
Şekil 4.26. : Komb_9 mesnet tepkileri 105
Şekil 4.27. : Kiriş eki detayı-1 113
Şekil 4.28. : Kiriş eki detayı-2 118

Şekil 4.29. : Kolon eki detayı 129
Şekil 4.30. : ϕ88 kablo oketi 133
Şekil 4.31. : ϕ64 kablo soketi 134
Şekil 4.32. : ϕ40 kablo soketi 135
Şekil 4.33. : Düşey çapraz birleşim detayı 138
Şekil 4.34. : Çatı çaprazı statik sistemi 139
Şekil 4.35. : Çatı çaprazı birleşimi 139
Şekil 4.36. : Kolon ayağı detayı 141
Şekil 4.37. : Kablo temel bağlantısı detayı 145
Şekil 4.38. : Temel kalıp planı 146
Şekil 4.39. : Betonarme kazık kesiti 147
Şekil 4.40. : Temel donatı planı 149
Şekil 4.41. : L_X yönü taban kesme kuvveti 152
Şekil 4.42. : L_Y yönü taban kesme kuvveti 152
Şekil 4.43. : T_X yönü taban kesme kuvveti 153
Şekil 4.44. : T_Y yönü taban kesme kuvveti 153
Şekil 4.45. : L_X yönü X yerdeğiştirmesi 154
Şekil 4.46. : T_X yönü X yerdeğiştirmesi 155
Şekil 4.47. : L_Y yönü Y yerdeğiştirmesi 156
Şekil 4.48. : T_Y yönü Y yerdeğiştirmesi 156

SEMBOL LİSTESİ

$\mathbf{A_0}$: Etkin yer ivmesi katsayısı
I : Bina önem katsayısı
n : Hareketli yük katılım katsayısı
Z2 : Yerel zemin sınıfı
$\mathbf{T_A, T_B}$: Spektrum karakteristik periyotları
R : Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
T : Bina doğal titreşim periyodu
S(T) : Spektrum katsayısı
A(T) : Spektral ivme katsayısı
R(T) : Deprem yükü azaltma katsayısı
h : Profil yüksekliği
b : Profil genişliği
$\mathbf{t_w}$: Profil gövde kalınlığı
$\mathbf{t_f}$: Profil başlık kalınlığı
d : Profil gövdesinin düz kısmının uzunluğu
$\mathbf{I_y}$: Kuvvetli eksen atalet momenti
$\mathbf{I_z}$: Zayıf eksen atalet momenti
A : Enkesit alanı
$\mathbf{W_{y,el}}$: Kuvvetli eksen elastik mukavemet momenti
$\mathbf{W_{z,el}}$: Zayıf eksen elastik mukavemet momenti
$\mathbf{W_{y,pl}}$: Kuvvetli eksen plastik mukavemet momenti
$\mathbf{W_{z,pl}}$: Zayıf eksen plastik mukavemet momenti
$\mathbf{i_y}$: Kuvvetli eksen atalet yarıçapı
$\mathbf{i_z}$: Zayıf eksen atalet yarıçapı
$\mathbf{I_t}$: Enkesit burulma dayanımı
$\mathbf{I_w}$: Enkesit çarpılma dayanımı
$\mathbf{N_{Sd}}$: Eksenel yük tasarım değeri
$\mathbf{M_{Sd}}$: Eğilme momenti tasarım değeri
$\mathbf{V_{Sd}}$: Kesme kuvveti tasarım değeri
$\mathbf{N_{pl,Rd}}$: Brüt enkesit plastik tasarım dayanımı
$\mathbf{N_{u,Rd}}$: Net enkesit sınır tasarım dayanımı
$\mathbf{N_{b,Rd}}$: Enkesit burkulma dayanımı
$\mathbf{A_{net}}$: Net enkesit alanı
E : Elastisite modülü
$\boldsymbol{\nu}$: Poisson sayısı
G : Kayma modülü
$\boldsymbol{\alpha_t}$: Lineer ısı katsayısı
$\mathbf{f_y}$: Akma gerilmesi
$\mathbf{f_u}$: Çekme dayanımı
$\boldsymbol{\gamma_0}$: Merkezi güvenlik katsayısı
$\boldsymbol{\gamma_P}$: Anma güvenlik katsayısı
$\mathbf{S_d}$: Etkilerin tasarım değeri

$\mathbf{R_d}$: Etkilerin dayanım değeri
$\mathbf{G_{k,j}}$: Sabit etkilerin karakteristik değerleri
$\mathbf{Q_{k,1}}$: Değişken bir etkinin karakteristik değerleri
$\mathbf{Q_{k,i}}$: Diğer değişken etkilerin karakteristik değerleri
$\gamma_{G,j}$: $G_{k,j}$ sabit etkisinin kısmi güvenlik katsayıları
$\gamma_{Q,i}$: $Q_{k,i}$ hareketli etkilerinin kısmi güvenlik katsayıları
ρ : İndirgeme faktörü
λ_p : Plak narinliği
$\mathbf{k_\sigma}$: ψ gerilme oranına bağlı buruşma değeri
β_A : Kesit indirgeme katsayısı
λ : Narinlik
λ_1 : Kıyaslama narinliği
χ : Burkulma modu azaltma çarpanı
α : Kusur katsayısı
$\mathbf{M_{c,Rd}}$: Enkesit eğilme dayanımı
$\mathbf{A_v}$: Kesme kuvveti enkesit alanı
$\mathbf{A_{v,ef}}$: Kesme kuvveti indirgenmiş enkesit alanı
δ_0 : Yüksüz durumda ters sehim
δ_1 : Sabit yüklerin meydana getirdiği sehim
δ_2 : Değişken yükler + sabit yüklerin zaman bağlı olarak meydana getirdiği sehim
δ_{max} : Mesnetleri birleştiren doğruya göre en son durumda sehim
$\mathbf{W_{com}}$: Basınca maruz kenar life göre elastik mukavemet momenti
$\mathbf{N_{t,Sd}}$: Çekme kuvveti tasarım değeri
χ_{LT} : Yanal burulmalı burkulma indirgeme katsayısı
$\mathbf{k, k_w}$: Etkili boy katsayıları
$\mathbf{l_{LT}}$: Eğilme düzlemi dışına burkulmada burkulma boyu
$\mathbf{L_{LT}}$: Yanal doğrultuda tutulu noktalar arası uzunluk
$\mathbf{M_{cr}}$: Kritik eğilme momenti
β_M : Eşdeğer üniform moment katsayısı
$\mathbf{S_c}$: Spektrum katsayısı
$\mathbf{P_s}$: Kar yükü
$\mathbf{H}$: Zeminden yükseklik
$\mathbf{C_A}$: Rüzgar yükü katsayısı
$\mathbf{g}$: Yerçekimi ivmesi
ξ : Sönüm oranı
$\mathbf{Z_{Rd}}$: Çekme kuvveti dayanım değeri

KABLOLU, KONSOL MAKASLI UÇAK HANGARININ DEPREM HESABI VE EUROCODE 3 YÖNETMELİĞİNE GÖRE BOYUTLANDIRILMASI

ÖZET

Bu çalışmada; çelik yapıların kısmi güvenlik katsayılar yöntemine göre boyutlandırılmasında kullanılan Eurocode3: Design of Steel Structures standardı, yapıların deprem hesabında kullanılan Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi, uçak hangarları taşıyıcı sistemleri ve yüksek çekme dayanımlı kablolar incelenmiştir. EC3 standardının öngördüğü çelik yapıların boyutlandırılmasında kullanılan kısmi güvenlik katsayıları (taşıma gücü) yönteminin temel felsefesi ve söz konusu yönetmelikte belirtilen hesap metotları detaylı bir biçimde açıklanmıştır. Uçak hangarları taşıyıcı sistemleri hakkında bilgiler verilmiştir. Ayrıca yüksek çekme dayanımına sahip kablolar ait kesit özellikleri, taşıma kapasiteleri ve bağlantılarında kullanılan elemanlara ait geometrik değerler ekte verilmiştir.

Çalışmanın ilk amacı; kısmi güvenlik katsayıları yöntemini açıklamak ve bunu bir uygulama üzerinde gerek elemanların boyutlandırılmasında gerekse detay hesaplarında sayısal olarak göstermektir. Uygulama örneği 60m. açıklıklı, 150m. boyunda ve 16~19m. iç, 36m. toplam yükseklikte kablolu, konsol makaslı bir uçak hangarıdır. Binanın statik sistemi kısa doğrultuda konsol makas, uzun doğrultuda ise basınca çalışan merkezi çaprazlardır. Konsol makas elemanları yani kolonlar ve kiriş EC3'e göre 4.Sınıf enkesite sahiptirler. Bu elemanlar kesit tesirlerine bağlı olarak değişken kesitli olarak tasarlanmıştır. Binaya ait ana detaylarıda içeren genel konstrüksiyon resimleri ekte verilmiştir. Çalışmadaki ikinci amaç ise; söz konusu binanın deprem hesabını ABYYHY'de belirtilen Zaman Tanım Alanında hesap yöntemine göre yaparak sonuçları irdelemektir. Zaman Tanım Alanında hesap yöntemi kullanılırken 17 Ağustos 1999'da Kocaeli depremi sırasında İzmit Meteoroloji istasyonunda kaydedilen ivme değerleri kullanılmıştır. Sözkonusu yönteme göre analiz SAP2000 programında yapılmıştır.

Çalışmanın sonucunda binanın deprem sırasındaki davranışının; gerek yerdeğiştirmeler gerekse kesit tesirleri açısından ABYYHY'de belirtilen sınırlara uygun olduğu görülmüştür. Zaman Tanım Alanı yöntemi diğer yöntemlere göre daha hassas bir yöntemdir. Dolayısıyla binaların Eşdeğer Çerçeve ve Mod Birleştirme yöntemlerine göre daha ekonomik şekilde boyutlandırılmasına izin vermektedir.

SEISMIC ANALYSIS OF AN AIRCRAFT HANGAR, CONSISTING OF CABLE AND CANTILEVER GIRDER, AND ITS DESIGN ACCORDING TO EUROCODE 3

SUMMARY

In this study; Eurocode3 (Code for Design of Steel Structures) being followed for the design of steel structures by Limit States Design, Time History Analysis being used for seismic analysis of the structures, structural systems of aircraft hangars and cables with high tensional resistance; have been mentioned. The basic thought of Limit States Design being used for the design of steel structures by the code of EC3 and the analysis methods being brought up in the same code, have been explained in a detailed manner. Likewise, some information about the aircraft hangars has been showed in, too. Finally; sectional properties, bearing capacities, of the cables having high tensional resistance and geometrical parameters for their elements in connections; have been presented on the additional papers.

The first aim of this study is to explain the Limit States Design and to reveal it in a practice with both designation of the elements and their numerical detail calculations. The practice is about an aircraft shed hangar having 60m span lenght, 150m total width (16-19m per width), 36m height dimensions, and consisting of cables and cantilever partition. The statical system of the structure is a cantilever girder in short direction, and on the other direction is concentrically braced compressing frame. Cantilever girder elements that are columns and beams possess 4th class section according to EC3. These elements have been designed as having variable sections by depending on their frame forces. On the additional papers bring the general construction drawings including fundamental details of the building. The second purpose is in this study; to do the seismic analysis design in accordance with “The Specification for Structures to be Built in Disaster Areas (ABYYHY)” by using the method Time History Analysis from in it, and to evaluate its conclusions. Furthermore, as the Time History Analysis run, Kocaeli Earthquake - on August 17, 1999 – acceleration records saved by Izmit Meteorology Station, has taken as the seismic model. This process has been done by means to Sap2000, structural analysis programme.

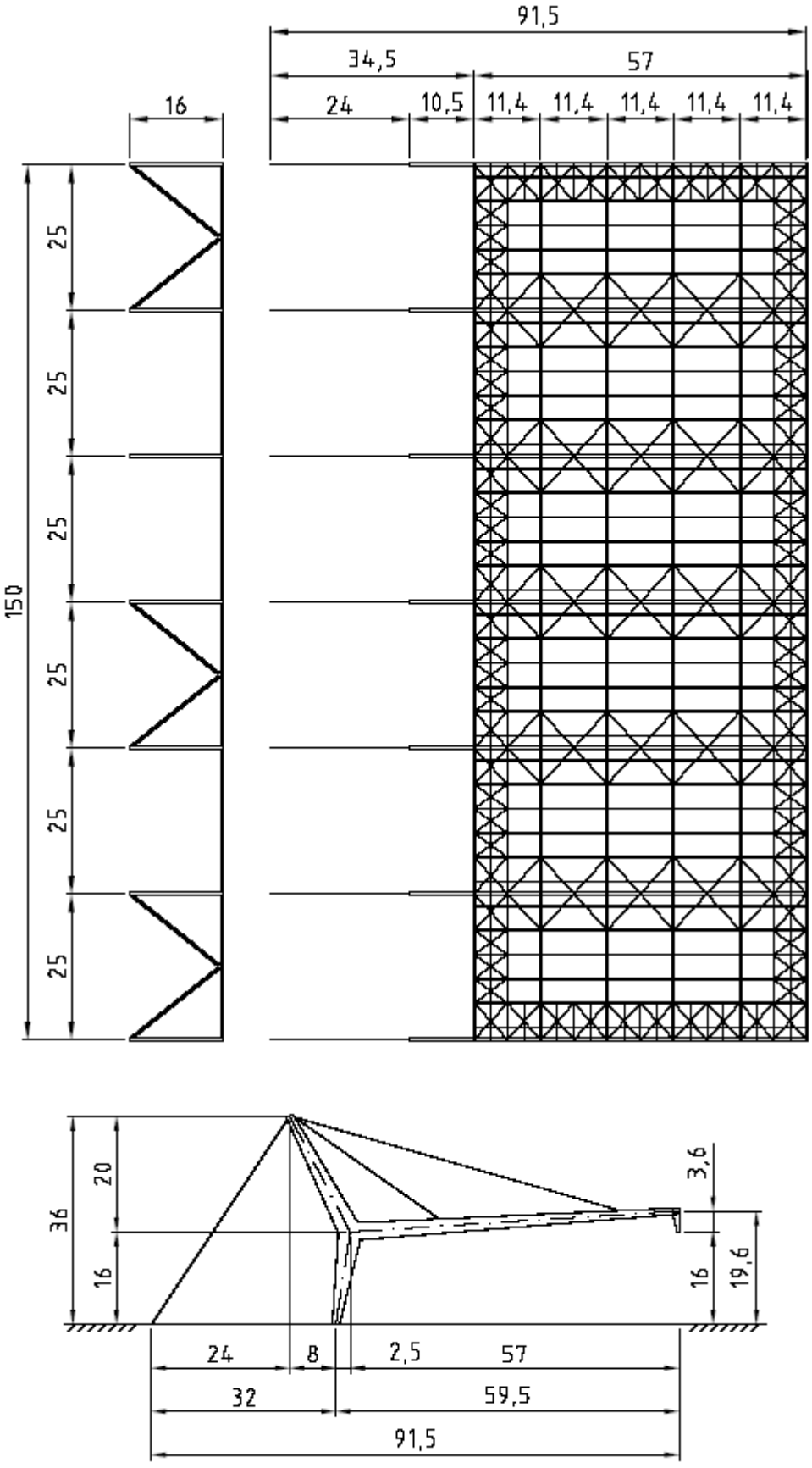
At the end of the study; it has been determinated the behaviour of the structure while the earthquake goes over is within an acceptable safe level, complying with ABYYHY, from the aspects of both displacement restrictions and inner stresses. The Time History Analysis is more realistic than the others. In addition, it therefore allows the buildings to be designed much more economically than either Equivalent Seismic Load Method or Mode Superposition Method.

1. GİRİŞ

1.1 Yapının Genel Özellikleri

Yapı 150x91,5m'lik bir alana sahip uçak hangarıdır. Yapının kapalı alanı ise 59,5x150m.'dir. Yapının maksimum yüksekliği 36m'dir. Kapalı alandaki maksimum yükseklik 19,6m., minimum yükseklik ise 16,0m'dir. Yapının dispozisyon planı Şekil 1.1'de verilmiştir. Yapının üç cephesi her zaman kapalı, bir cephesi istenildiği zaman açılabilecek şekilde tasarlanmıştır. Söz konusu açılabilen cephe hangarın ön cephesidir. Bu cephede 25m.'lik kapılar mevcuttur. Bu kapılar açıldığında 150m.'lik bir girişe imkan vermektedir. Cephelerde ve çatıda kaplama malzemesi olarak izolasyonda düşünülerek poliüretanlı izolasyonlu panel kullanılmıştır.

Hangarın boyutlarının belirleyen etken uçakların boyutları olmuştur. Hangarın uçak kapasitesi uçak tiplerine bağlı olarak değişmektedir. Hangar yaklaşık olarak 3'er adet Airbus A300, A310, A320, Boeing 707-320, 717-200, 727-200 tipi uçağa hizmet verebilmektedir. Söz konusu uçak tipleri ve bunlara ait boyutlar Bölüm 2'de detaylı bir biçimde tablo halinde verilmiştir.



Şekil 1.1: Dispozisyon Planı

1.2 Statik Sistem

Hangarın kısa doğrultudaki statik sistemi kablolu, konsol makastır. Konsol makas olmasının sebebi yapının ön kısmının tüm uzunluk boyunca uçak girişi nedeniyle kolonsuz olması isteğidir. Ana taşıyıcı elemanlar olarak 57m.'lik bir konsol makas ve değişik çaptaki kablolar kullanılmıştır. Çatıdan gelen yükler, 4,167m. aralıklı aşıklarla tali kirişlere aktarılmaktadır. Aşıklar çatı eğimi doğrultusunda ve sürekli kiriş olarak teşkil edilmiştir. Aşık profili olarak geniş başlıklı Avrupa profil kullanılmıştır. Aşıklara mesnetlik eden tali kirişlerin aralıkları 11,40m., açıklığı ise 25m.'dir. Tali kirişler çatı eğimine dik doğrultuda ve sürekli kiriş olarak teşkil edilmiştir. Tali kiriş profili olarak geniş başlıklı Avrupa profil kullanılmıştır. Taşıyıcı eleman kesitlerini seçerken mümkün mertebe hadde profil kullanmaya çalışılmıştır. Ancak hadde profillerin yeterli olmadığı kısımlarda yapma profil kullanılmıştır. Tali kirişlere mesnetlik eden sistem ana taşıyıcı sistemin parçası olan konsol makaslardır. Konsol makaslarda düşey elemanlarda (kolonlarda) sandık kesitler, yatay elemanda (kiriş) ise I kesit kullanılmıştır. Bu kesitler iç kuvvetlerin değişimine göre değişken kesit olarak düzenlenmiştir. Yapının en önemli taşıyıcı elemanı ise yüksek çekme dayanımına sahip kablolardır. Bu sistemde kabloların yüksek çekme dayanımından yaralanarak tüm yapı mümkün mertebe kolonsuz olarak tasarlanmıştır.

Hangarın uzun doğrultudaki statik sistemi ise üç aralıkta teşkil edilen merkezi çapraz sistemidir. Deprem ve rüzgar kuvvetlerini alacak şekilde yerleştirilen merkezi çaprazlar basınç kuvvetine göre tasarlanmıştır.

1.3 Yapı Analiz Ve Tasarımında Kullanılan Parametreler

1.3.1 Standartlar

TS 498 : Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Kuralları

ABYYHY 1997 : Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik

Eurocode 3: Design of Steel Structures

TS 500 : Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları

1.3.2 Malzeme

1.3.2.1 Yapısal Çelik

Yapıda çelik kalitesi olarak aşıklarda Fe360, tali kirişlerde Fe510, yapma profillerde Fe510, levhalarda ise Fe360 ve Fe510 kalitede çelik kullanılmıştır. Bu çelik sınıflarına ait değerler Tablo 1.1'de verilmiştir.

Tablo 1.1: Çeliğin f_y akma gerilmesinin ve f_u çekme dayanımının nominal değerleri

Nominal Çelik Kalitesi	Kalınlık $t^{*)}$			
	$t \le 40mm$		$40 < t \le 100mm$	
	$f_y (N/mm^2)$	$f_u (N/mm^2)$	$f_y (N/mm^2)$	$f_u (N/mm^2)$
Fe360 Fe430 Fe510	235 275 355	360 430 510	215 255 355	340 410 490

$t^{*)}$ yapı elemanının nominal kalınlığıdır.

- Hadde profillerinde başlık kalınlığı
- Kaynaklı yapı elemanlarında münferit elemanların kalınlığı (başlık, gövde)

Elastisite Modülü: $E = 210\ 000\ N/mm^2$

Poisson Sayısı: $\upsilon = 0,3$

Kayma Modülü: $G = 81\ 000\ N/mm^2$

Lineer Isı Katsayısı: $\alpha_t = 12.10^{-6}$

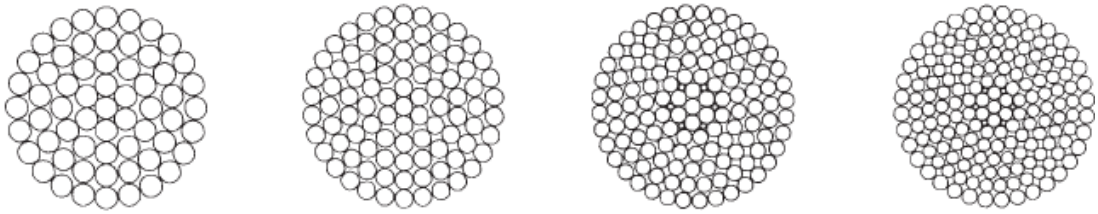
1.3.2.2 Kablolar

Sistemde çekme elemanları olarak kullanılan kablolara ait değerler İspanyol Macalloy firmasından elde edilen değerlerdir. Bu değerlerde firmalar arasında küçükte olsa farklılıklar vardır. Ancak söz konusu değerler Eurocode standardına göre hesaplanmış değerlerdir. Yapıda kablo cinsi olarak kesitleri Şekil 1.2'de gösterilen "open spiral strand (OSS)" cinsi kablolar kullanılmıştır. Bu kablo sınıfına

ait özellikler ve birleşim elemanlarına ait detaylı bilgiler ekte Tablo A.1 ve Tablo A.2'de verilmiştir. Kablo malzemesine ait değerler aşağıdaki gibidir.

Elastisite modülü: $E = 160 \pm 10\ kN/mm^2$

Kopma dayanımı: $f_u = 1570 \sim 1760$ MPa; $Rp_{0,2}$=1180 ~ 1320Mpa



Şekil 1.2: Open Spiral Strand (OSS) Tipi Kablo Kesit Şekilleri

1.3.2.3 Birleşim Elemanları

Birleşimlerde bulon olarak; moment aktaran birleşimlerde yüksek mukavemetli 10.9 kalitede bulon, moment aktarmayan birleşimlerde 5.6 kalitede bulon, ankrajda ise 5.6 kalitede bulon kullanılmıştır. Bulonlara ait değerler Tablo 1.2'de verilmiştir.

Tablo 1.2: Bulonların akma gerilmesinin ve çekme dayanımının nominal değerleri

Bulon Kalitesi	4.6	5.6	8.8	10.9
$f_y (N/mm^2)$	240	300	640	900
$f_u (N/mm^2)$	400	500	800	1000

Birleşimlerde kullanılan kaynak tiplerinden köşe kaynağa ait değerler Tablo 1.3'de verilmiştir. Derin nüfuziyetli küt kaynağın tasarım dayanımının, birleştirdiği parçalardan zayıf olanının tasarım dayanımına eşit olduğu kabul edilmiştir.

Tablo 1.3: Kaynakların çekme dayanımı ve β düzeltme katsayısı değerleri

Çelik	$f_u (N/mm^2)$	β
Fe 360	360	0,80
Fe 430	430	0,85
Fe510	510	0,90

1.3.2.4 Beton

Yapıda sadece temelde beton kullanılmıştır. Kullanılan beton sınıfı C25 (BS25), donatı ise S420 (BÇIII) sınıfına aittir. Betonarme elemanlar TS500 ve ABYYHY'e uygun olacak şekilde tasarlanmıştır.

1.3.3 Coğrafi Konum

1.3.3.1 Zemin

Üstyapıyı taşıyacak olan zeminin sınıfı Z2 olup zemin emniyet gerilmesi ise $20\,N/cm^2$'dir. Sert zemin kaya ise yaklaşık 12m. derinliktedir.

1.3.3.2 Deprem

Deprem bölgesi olarak 1.Derece deprem bölgesi seçilmiştir. 1.Derece deprem bölgesine göre $A0$ etkin yer ivmesi katsayısı 0,40'dır.

Deprem hesabında kullanılacak olan yöntemler ABYYHY'de bahsedilen mod birleştirme yöntemi ve zaman tanım alanlı hesap yöntemleridir. Zaman tanım alanında hesap yöntemini uygularken dikkate alınan deprem ivme kayıtları 17 Ağustos Kocaeli depreminde kaydedilen, Deprem Araştırma Dairesi'nden alınan kayıtlardır.

1.3.3.3 Kar

Yapının denizden yüksekliğinin 200m.'den az olduğu kabul edilmiştir. TS 498'e göre yapı I.Bölge'de yer almaktadır.

2. UÇAK HANGARLARI TAŞIYICI SİSTEMLERİ

2.1 Genel Bilgiler

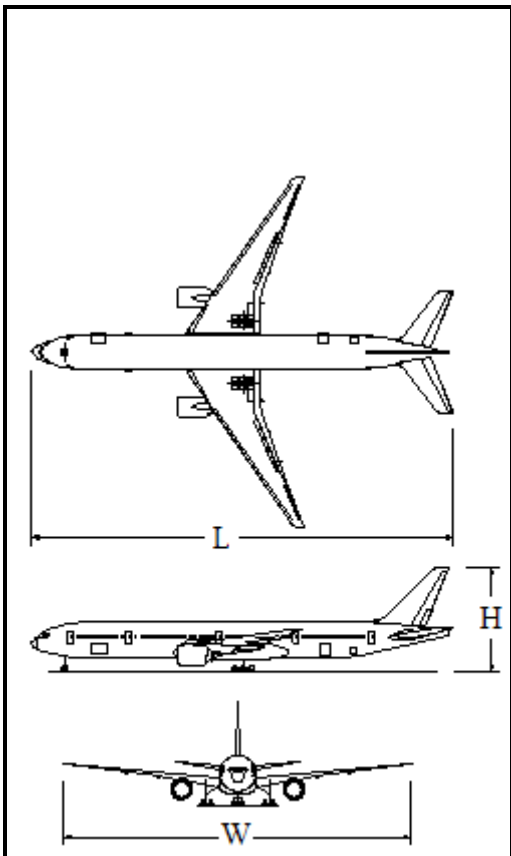
Büyük açıklıklı uçak hangarları, geniş alanları örtebilen, gelecekte büyüyebilme özelliklerine sahip, hızlı yapılan, ağır çalışma şartlarına dayanımlı, mimarlık ve mühendislik açısından, yapım sistemlerini zorlayan yapılardır. Bu yapılarda yeni yapı ürünlerinin gelişimine öncülük eden yapı teknolojilerinin gelişimi gözlenebilir.

Bir zamanlar uçak hangarlarına sırf mühendislik yapıları gözüyle bakılmış ve bu yapılarda estetik ve mimari kullanılışlılık ve ekonomiklik koşulları fazla önemsenmemiştir. Havayollarının daha fazla tercih sebebi olması ile beraber yolcu trafiğinin artması, hava alanlarındaki yapıların topluma gittikçe açılması nedeniyle ve bu yapıların birer reklam aracı olmalarından dolayı, mimari ve estetik bu yapılarda daha önemli hale gelmiştir. Söz konusu nedenler daha çok yolcuların kullandığı yapılar için geçerli olsa da, uçak hangarları da bu yapıların veya anayolların yakınında bulunduğu için uçak hangarları içinde geçerlidir.

Bu eğilim uçak hangarlarının statik sistemindede bazı değişiklikler getirmiştir. İdeal bir uçak hangarı 70~125m genişliğinde, 40~90 m derinliğinde dikdörtgen bir alanı mümkün mertebe kolonsuz örtebilmelidir. 9~20 m yüksekliğinde kapılar hangarın bütün bir uzun cephesini örtmekte, başka bir deyişle bu cephe tamamen açılabilmektedir. Kapılar açıldığında, bunları saklamak için bazen iki yana kapı depoları yapılır. Arka ve yan duvarlar kapalı ve kısmen pencerelidir. Hangarın etrafında bir veya iki katlı alçak binalar bulunur. Bu yapılar atölye, büro vb. işler için kullanılır. Çelik konstrüksiyon genellikle çıplak bırakılır, ancak içinde ateş bulunan ateye bölümlerinde bir kaplama yapılır. Çok nadir durumlarda asma tavan yapılır.

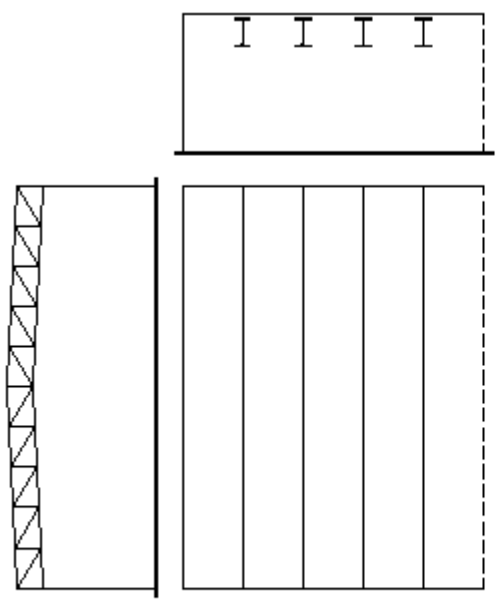
2.2 Taşıyıcı Sistemler

Bu yapıların boyutlarını belirleyen temel unsurlar hangara girecek olan uçak tipi ve uçak adedidir. Çeşitli firmalara ait uçak boyutları Şekil 2.1'de verilmiştir. Bu uçak boyutlarına ve adedine göre tasarlanan uçak hangarlarına ait statik sistemler Şekil 2.2'de görülmektedir. Şekil 2.3'de ise Almanya'nın Münich şehrinde bulunan havaalanına ait II numaralı uçak bakım hangarı resimleri verilmiştir.

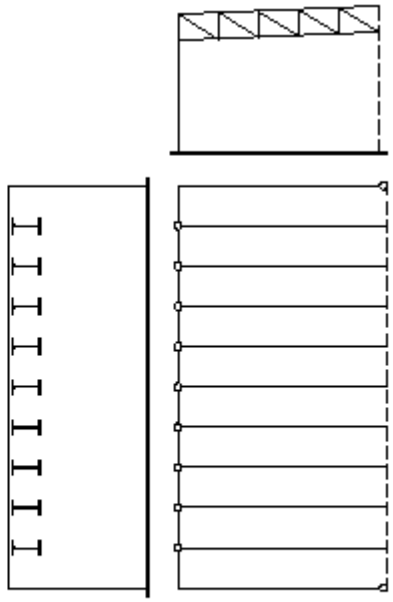


Uçak Tipi		L (m)	W (m)	H (m)
Airbus	A300	54,08	44,84	16,52
	A310	46,66	43,90	15,80
	A320	37,57	34,10	11,76
	A330	63,69	60,30	16,83
	A380	79,8	73	24,1
Boeing	707-320	46,61	44,42	12,85
	717-200	37,8	28,4	9,0
	727-200	46,68	32,92	10,65
	747-400	70,7	64,4	19,6
	777-200	63,73	64,80	18,75
Iljuschin	114	26,90	30	9,33
	96-300	55,50	57,60	17,60
	96-M	63,94	60,10	15,72
	86	59,54	48,06	15,80
	12-62	53,12	43,30	12,35

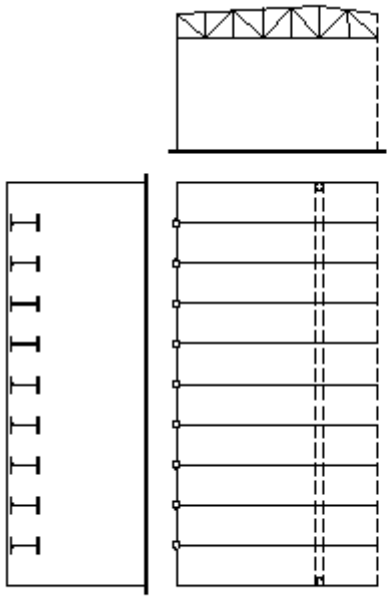
Şekil 2.1: Uçak boyutları



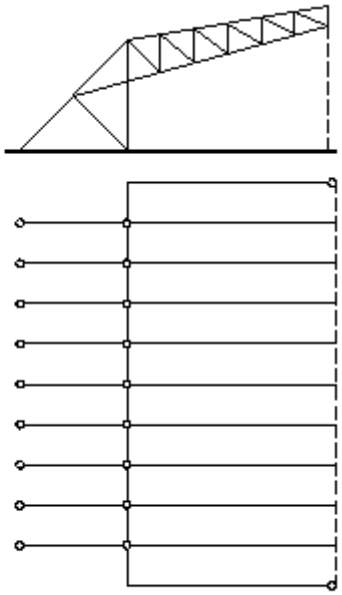
a) Makaslar büyük açıklık üzerinde, kapıya paralel



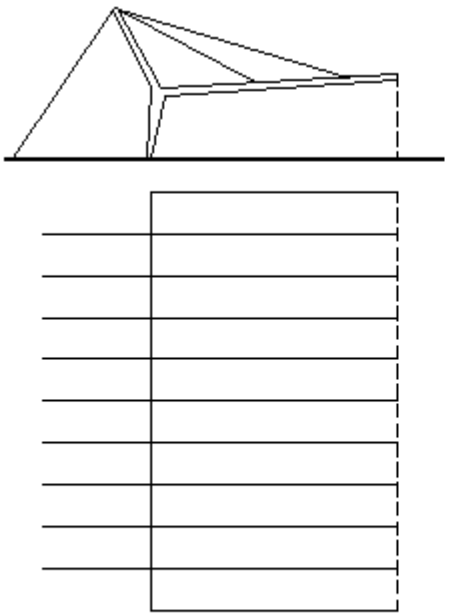
b) Makaslar küçük açıklık üzerinde, kapıya dik kapı üzerindeki makas mesnetli



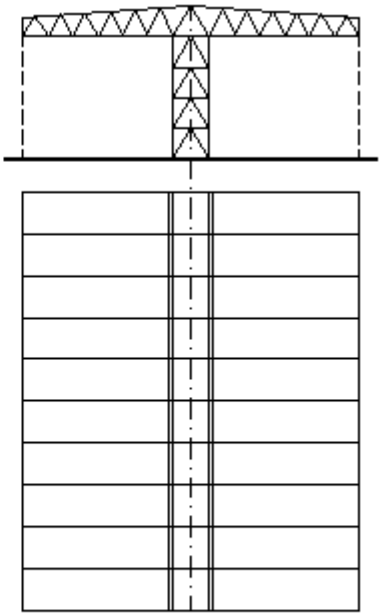
c) b'deki statik sistemin kapı üzerindeki makasın geri çekilmiş kısmı



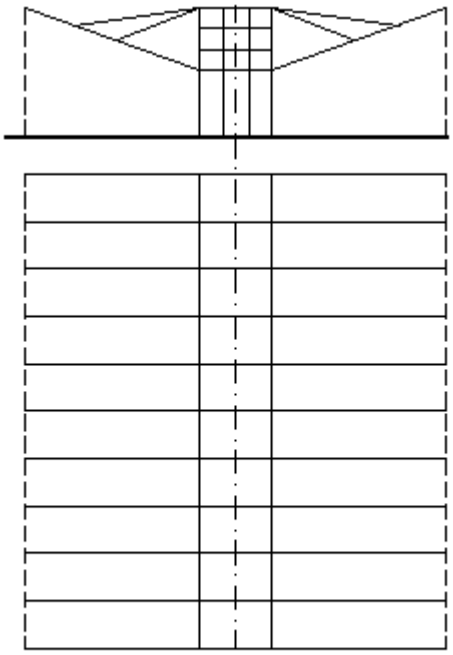
d) Konsol makaslar



e) Kablolu Sistem

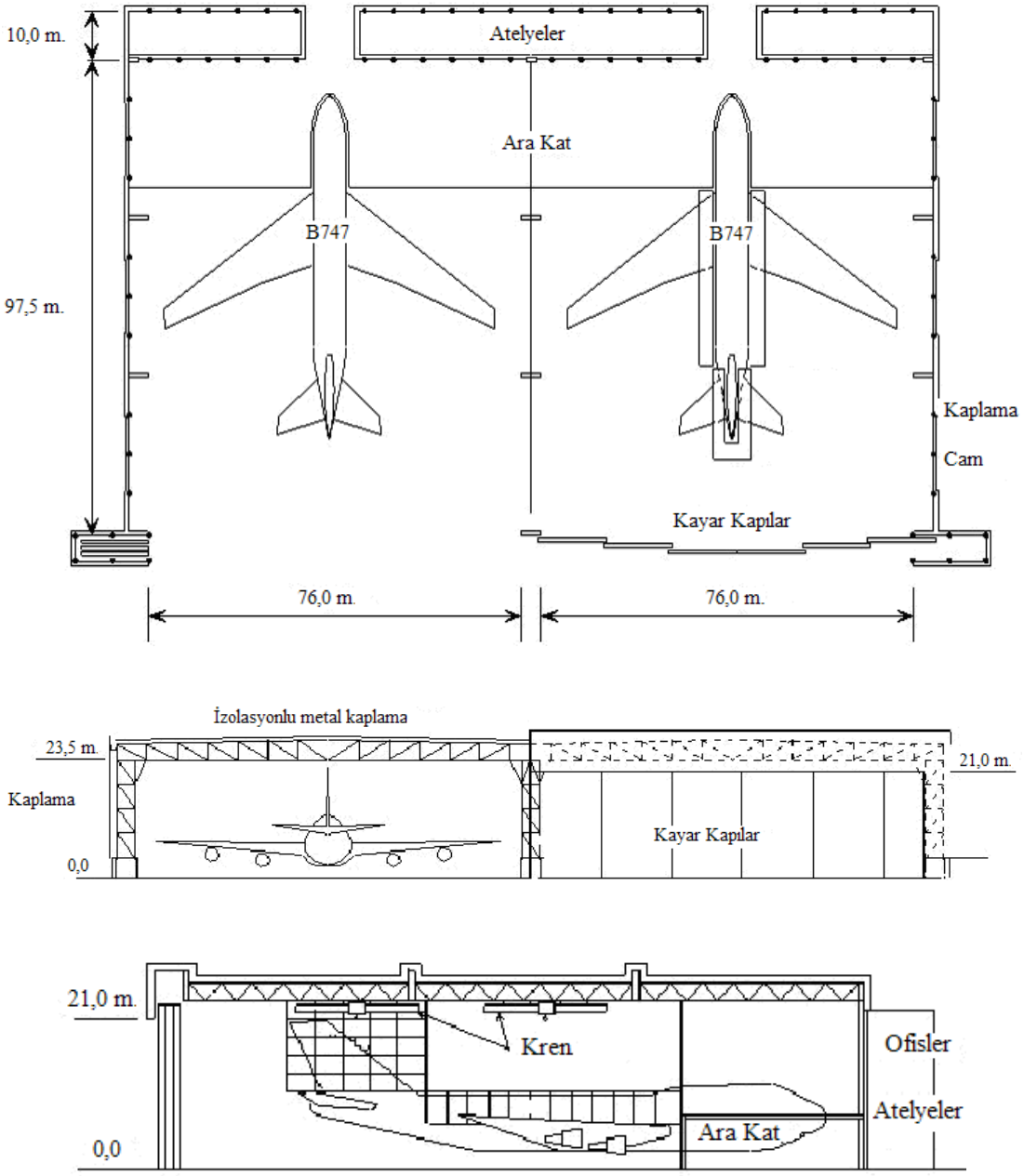


f) İki gözlü, ortada burulma rijitlikli bir kiriş ve bu kirişe mesnetli konsol kirişler



g) İki gözlü hal ortada masif bir yapı, kenarlarda kablolarda masif yapıya bağlı konsol makaslar

Şekil 2.2: Uçak hangarları taşıyıcı sistemleri



Şekil 2.3: Münih havaalanı uçak bakım hangarı

3. EUROCODE 3'E GÖRE ÇELİK YAPILARIN TASARIMI

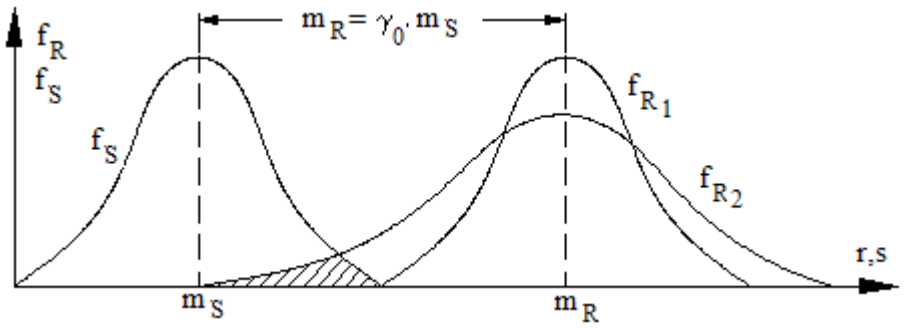
3.1 Boyutlandırmanın Temel İlkeleri

Günümüzde yapıların boyutlandırılmasında kullanılan iki temel ilke vardır. Bunlardan birincisi emniyet gerilmeleri yöntemi, diğeri ise taşıma gücü yöntemidir. Bunlardan ilki yani emniyet gerilmesi yöntemi son yüzyıl süresince kullanılan boyutlandırma yöntemidir. Son yirmi yıl içerisinde ise boyutlandırmada daha gerçekçi ve olasılık teorisine dayanan taşıma gücü yöntemi kullanılmaya başlanmıştır.

Yapıların ve onların yük taşıyıcı elemanlarının hizmet süresi içinde, kendilerinden beklenen fonksiyonları gösterebilmeleri için yeterli mukavemet ve rijitliğe sahip olmaları gerekir. Boyutlandırma sırasında yapılara yüklerini taşıyabilmeleri için gerekenin üstünde bir miktar rezerv mukavemet sağlanmalıdır. Yani, yapı ve elemanları aşırı yüklemelere karşı yeterli dayanıma sahip olmalıdır. Aşırı yükleme hali, bir yapının boyutlandırıldığı amaç dışında kullanımından, örneğin konut olarak boyutlandırılmış bir yapının ofis olarak olarak kullanılmasından, yapının dış yükler altındaki analizinde yapılan aşırı basitleştirmelerden veya inşa yöntemlerinde boyutlandırma sırasında gözönüne alınanlardan farklı sapmalardan oluşabilir. Bütün bunlara ilave olarak, inşa edilen yapının boyutlandırmada öngörülen seviyeden daha küçük seviyede mukavemete sahip olması olasılığı da mevcuttur. Örneğin, kabul edilen toleranslar içinde kalsa bile yapı elemanlarının boyutlandırmada gözönünde tutulan boyutlarından sapmalar, boyutlandırmada varsayılan eleman mukavemetlerinin gerçekte altında kalmasına neden olurlar. Boyutlandırma hesaplarında gözönünde tutulan çelik malzeme, bulon ve kaynak mukavemetlerinde gerçek sapmalar olabilir. Çelik profiller, ara sıra minimum saptanmış olan seviyenin altında, ancak istatistik olarak kabul edilebilir limitler içinde akma sınırına sahip olabilirler.

3.1.1 Göçme Olasılığı

S ile yeterli istatiksel esasa dayalı olarak elde edilmiş bir etkinin (gerilme) dağılımı, R ile bir yapının mukavemetinin (dayanım) dağılımı ifade edilirse; aşağıda Şekil 3.1'de görülen ilişkiler ortaya çıkar.



Şekil 3.1: Merkezi güvenlik katsayısı

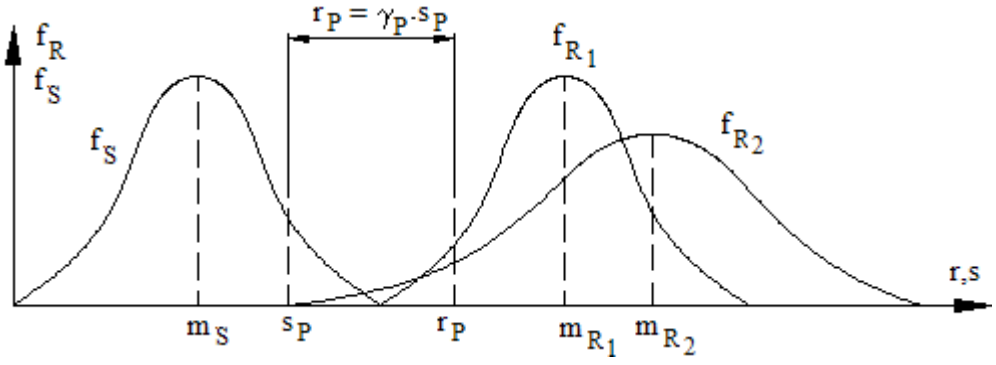
$R < S$ ise göçme meydana gelir. Şekil 3.1'deki taralı bölge göçme olasılığını ifade eder. Ayrıca şekil üzerinde merkezi mukavemetin ve etkilerin ortalama değerlerinin oranı $\gamma_0 = m_R . m_S$ belirtilmiştir. Bu ifade "global güvenlik katsayısına" karşı gelir.

Şekil 3.1'e göre; aynı γ_0 aralığındaki ortalama değerlerde göçme olasılığı, dağılımın büyüklüğünden (standart sapma) oldukça etkilenir. Örneğin, rölatif olarak daha büyük dağılımlı f_{R2}, daha küçük dağılımlı f_{R1}'e göre daha büyük keşişim bölgesi oluşturur. Dolayısıyla, aynı göçme olasılığının sağlanabilmesi için büyüyen dağılımda ortalama değerlerin aralığı γ_0 büyütülmelidir.

m_S, m_R ortalama değerler yerine belirli s_P ve r_P fraktil değerler kabul edilirse (etkilerde %95 fraktil, mukavemetlerde %5 fraktil), Şekil 3.2'de görülen ilişkiler elde edilir.

Bu durumda da aynı γ_P aralığındaki fraktil değerlerde göçme olasılığı, dağılıma (standart sapma), dolayısıyla güvenlik katsayılarına bağlıdır. Buradaki farklı dağılımda fraktil değerleri aynı olan f_{R1} ve f_{R2} eğrilerinin keşişim bölgeleri oluşturduğu görülmektedir.

Fraktil değerlerin oranı olan "anma güvenlik katsayısı" $\gamma_P = r_P / s_P$'de dağılıma bağlıdır.



Şekil 3.2: Anma güvenlik katsayısı

Şekil 3.2'ye göre çıkarılacak sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

- Dağılım fonksiyonlarının uç bölgelerinin doğru olarak tayin edilmesi (daha küçük göçme olasılığına ulaşabilmek için) mutlaka gereklidir.
- Özellikle bu bölgede veriler oldukça eksiktir.
- Karışık ilişkilerde büyük nümerik zorlular meydana gelir.
- Güvenliğin yalnız göçme olasılığı ile ölçülmesi halinde deneyimlerin dahil edilmesi mümkün değildir.

Dolayısıyla güvenlik kontrolünde göçme olasılığı mümkün olmamaktadır.

3.1.2 Güvenlik Endeksi

Bir yapı elemanında verilen bir sınır durumunda (örneğin taşıma yükü sınır durumunda) S etkisi R dayanımı ile deterministik olarak karşılaştırılırsa, R, S'den büyük seçildiği sürece yapı elemanı güvenlidir.

$$Z = R - S \tag{3.1}$$

farkı güvenlik bölgesi olarak isimlendirilir.

$R = S$, yani

$$Z = 0 \tag{3.2}$$

tanımlı sınır durumdur. $R < S$ halinde sınır durum aşılır.

S etkisi ve R mukavemeti, dağılım yoğunlukları $f_S(s)$, $f_R(r)$ ortalama değerleri m_S, m_R ve standart sapmaları σ_S, σ_R olan, birbirinden bağımsız rasgele dağılımı olan büyükler ise, Z güvenlik bölgesi de $f_Z(z)$ dağılım yoğunluğunda değişir. m_Z ortalama değeri ve σ_Z standart sapması için

$$m_Z = m_R - m_S \tag{3.3}$$

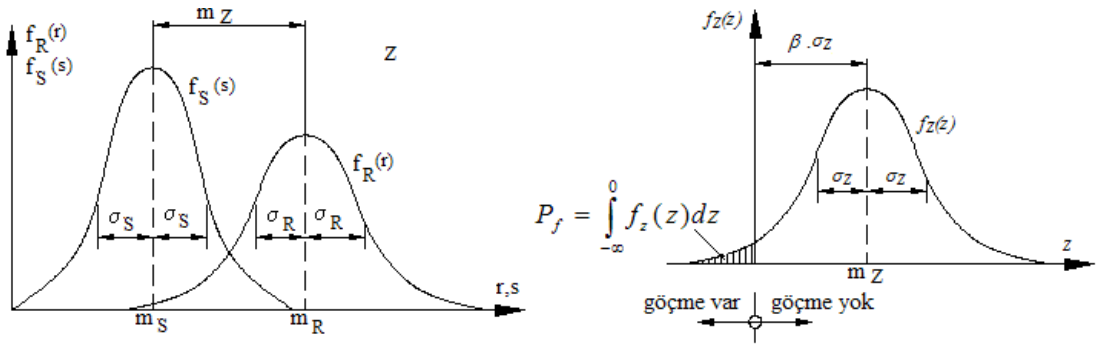
$$\sigma_Z = \sqrt{\left(\sigma_R{}^2 + \sigma_S{}^2\right)} \tag{3.4}$$

yazılır. Sınır durum denklemi (3.2) etki ve mukavemetin bütün rastgele s ve r değerleri için geçerlidir:

$r = s$, yani

$$z = 0 \tag{3.5}$$

olur.



Şekil 3.3: S etkisinin, R mukavemetinin ve Z güvenlik bölgesinin dağılım yoğunlukları

$z \le 0$ hallerinin meydana gelme olasılığı P_f, $f_Z(z)$ güvenlik bölgesi dağılım yoğunluğu fonksiyonunun $z \le 0$ bölgesinde, altında kalan alan olarak ifade edilebilir:

$$P_f = \int_{-\infty}^{0} f_z(z)dz \tag{3.6}$$

m_Z, ortalama değeri, σ_Z standart sapmanın β katı olarak tanımlanırsa (Şekil 3.3)

$$m_Z = \beta.\sigma_Z \tag{3.7}$$

yazılır. Bu halde göçme hali $f_Z(z)$ fonksiyonunun fraktil değeri olarak düşünülebilir. Başka deyişle, aynı β değerleri aynı güvenlikleri verir, β büyüdükçe güvenlik artar. Bu nedenle β 'ya "güvenlik endeksi" denir. (3.3) ve (3.4) bağıntılarından yazılır.

$$\beta = \frac{m_Z}{\sigma_Z} = \frac{m_R - m_S}{\sqrt{\left(\sigma_R{}^2 + \sigma_S{}^2\right)}} \tag{3.8}$$

Bu şekilde dağılım fonksiyonunun "uç" bölgelerine ilişkin bilgi eksikliği giderilmiş olmakla beraber, mevcut yapılardan kazanılmış deneyimlerin içerilmesinde,farklı hasar durumlarının göz önüne alınmasında,kullanılabilirlik ve taşıma yükü sınır durumlarının ayırt edilmesinde β güvenlik endeksi kullanılabilir. Deneyimler sonucu Tablo 3.1'deki sayısal değerler bulunmuştur.

Tablo 3.1: Güvenlik endeksi

β Güvenlik endeksi			
Sınır durumları	Hasar durumu		
	Küçük	Orta	Büyük
Kullanılabilirlik	2.0	2.5	3.0
Taşıma yükü	4.2	4.7	5.2

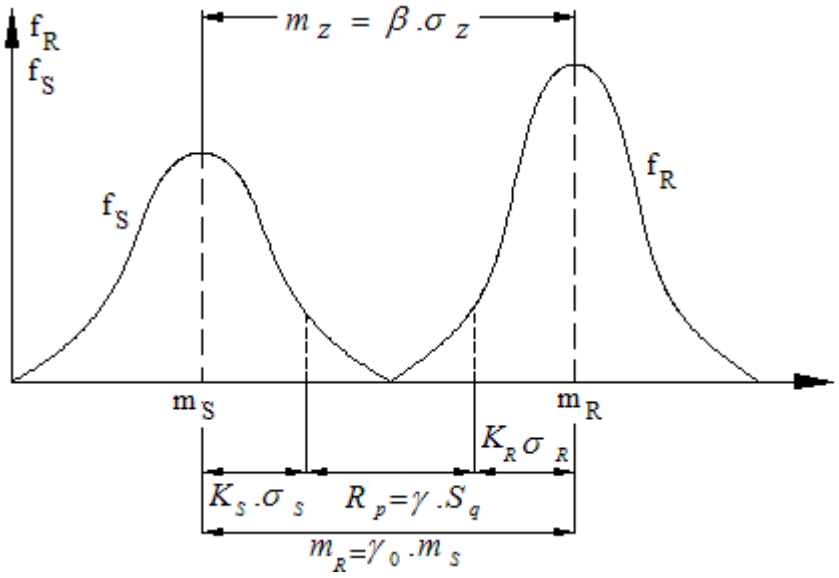
Lineer problemlerde (1.mertebe teorisi) ve normal dağılımlarda β güvenlik endeksi ile P_f göçme olasılığı arasında Tablo 3.2'deki ilişki mevcuttur.

Tablo 3.2: Güvenlik endeksi ile göçme olasılığı arasındaki ilişki

β	5.2	4.7	4.2	3.7	3.2
P_f	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}

3.1.3 Güvenlik Endeksi İle Güvenlik Katsayısı Arasındaki İlişki

Boyutlandırmanın amacı, S etkisi ile R mukavemeti arasında yeterli aralığın sağlanmasıdır. Burada etki için yüksek fraktil değer ile (örneğin; ortalama değer artı 1.645 kere standart sapma, yani %95 fraktil), mukavemet için düşük fraktil değer (örneğin; ortalama eksi 1.645 kere standart sapma, yani %5 fraktil) ile hesap yapılır.



Şekil 3.4: Güvenlik katsayıları ve fraktil değerleri

$$S_q = m_S + k_S . \sigma_S \tag{3.9}$$

$$R_p = m_R - k_R . \sigma_R \tag{3.10}$$

γ_0 merkezi güvenlik katsayısı,

$$\gamma_0 = m_R / m_S \tag{3.11}$$

(3.8) ve $V_x = \frac{\sigma_x}{m_x}$ (V_x: varyasyon katsayısı) denklemleri ile

$$\gamma_0 = 1 + \beta \frac{\sqrt{\sigma_R{}^2 + \sigma_S{}^2}}{m_S} = 1 + \beta \sqrt{\gamma_0{}^2 \frac{\sigma_R{}^2}{m_R{}^2} + \frac{\sigma_S{}^2}{m_S{}^2}} = 1 + \beta \sqrt{\gamma_0{}^2 V_R{}^2 + V_S{}^2}$$

yazılır. Son ifade γ_0 a göre çözülürse;

$$\gamma_0 = \frac{1 + \beta \sqrt{V_R{}^2 + V_S{}^2 - \beta V_R{}^2 V_S{}^2}}{1 - \beta V_R{}^2} \tag{3.12}$$

elde edilir. Bu ifade

$$\sqrt{\sigma_R{}^2 + \sigma_S{}^2} = \alpha_R \sigma_R + \alpha_S \sigma_S \tag{3.13}$$

lineerleştirilmesi yapılırsa basitleşir. (3.8) denklemi

$$\beta = \frac{m_R - m_S}{\sqrt{\sigma_R{}^2 + \sigma_S{}^2}} = \frac{m_R - m_S}{\alpha_R \sigma_R + \alpha_S \sigma_S} \tag{3.14}$$

şekline gelir. (3.11) denklemi ile merkezi güvenlik katsayısı

$$\gamma_0 = \frac{m_R}{m_S} = \frac{1 + \beta \alpha_S V_S}{1 - \beta \alpha_R V_R} \tag{3.15}$$

olur. S_q ve R_p fraktil değerler ile hesaplanan γ anma güvenlik katsayısı (3.9) ve (3.10) denklemleri göz önüne alınarak

$$\gamma = \frac{R_p}{S_q} = \frac{m_R - k_R \sigma_R}{m_S + k_S \sigma_S} = \frac{m_R (1 - k_R V_R)}{m_S (1 - k_S V_S)} \tag{3.16}$$

olarak yazılır. (3.15) denklemi (3.16) denkleminde yerine konursa,

$$\gamma = \frac{1 + \beta \alpha_S V_S}{1 + k_S V_S} . \frac{1 - k_R V_R}{1 - \beta \alpha_R V_R} = \gamma_S \gamma_R \tag{3.17}$$

olur.

Burada kısmi güvenlik katsayıları;

$$\gamma_S = \frac{1 + \beta \alpha_S V_S}{1 + k_S V_S} \tag{3.18}$$

etkiler için (örneğin yükler)

$$\gamma_R = \frac{1 - k_R V_R}{1 - \beta \alpha_R V_R} \tag{3.19}$$

mukavemet için (örneğin malzeme) olur. Böylece taşıma güvenliği kontrolü aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\gamma_S S_q \leq \frac{R_p}{\gamma_R} \tag{3.20}$$

γ global anma güvenlik katsayısı

- etkinin karakteristik değerinin (fraktil) çarpıldığı, malzemeden bağımsız γ_S kısmi güvenlik katsayısı ile
- mukavemetin karakteristik değerinin (fraktil) bölündüğü, etkiden bağımsız γ_R kısmi güvenlik katsayısına ayrılmış olmaktadır.

3.1.4 Kısmi Güvenlik Katsayıları Yönteminin Uygulanması

Bölüm 3.1'de yapılan açıklamalar doğrultusunda pratik, yarı olasılık teorisine dayanan yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerde s_k, r_k (yükler, mukavemetler, vs.) büyüklüklerinin karakteristik değerleri γ_f, γ_m sabit kısmi güvenlik katsayıları ile çarpılmaktadır. Kontrol:

$$\gamma_f s_k < \frac{r_k}{\gamma_m} \tag{3.21}$$

γ_f kısmi güvenlik katsayısı ile

- karakteristik değerlerde meydana gelen sapmalar, (örneğin özağırlığın hareketli yüke göre farklı olması)
- etkiler bakımından statik modelde yetersizlikler
- çok sayıda bağımsız etkinin, aynı zamanda ve bir arada, karakteristik değerlerinde meydana gelme olasılığının düşük olması,
- etkilerdeki değişimlere karşı sistemin hassasiyeti (örneğin basınç+eğilme veya çekme+eğilme)

göz önünde alınır.

γ_m malzeme kısmi güvenlik katsayısı ile

- karakteristik değerlerde meydana gelen sapmalar,
- deney numunelerinin mukavemetlerinden yapı elemanları mukavemetlerine geçişte kullanılan katsayılarda meydana gelen sapmalar,
- yapı malzemesinde kusurlu bölgeler (üretim kusurları)
- mukavemetler bakımından statik modelde yetersizlikler, imalat kusurları (geometride sapmalar)

göz önüne alınır.

Farklı orijinli değişken etkilerin aynı zamanda, karakteristik değerlerinde meydana gelme olasılığının düşük olması, ψ kombinasyon faktörleri ile gözönüne alınır.

3.1.5 Kısmi Güvenlik Katsayıları

EC3'e göre yapı elemanları ve birleşimler sınır durum yöntemlerine göre boyutlandırılır. Etkilerin (zorlamalar, yükler) boyutlandırma değerleri, mukavemetin boyutlandırma değerleri ile karşılaştırılır.

$$S_d \leq R_d \tag{3.22}$$

Bu ifadede:

S_d: Etkilerin tasarım değerleri (örneğin; normal kuvvetler, kesme kuvvetleri, eğilme momentleri, gerilmeler, sehimler, rijitlikler, vs.)

R_d: Mukavemetin tasarım değerleri (örneğin; taşıma gücü, statik denge, akma sınırı; çekme mukavemeti, sehim ve deformasyonların sınır değerleri, titreşimler)

Yüksek yapılarda etkilerin boyutlandırma değerleri S_d,

- yalnız en elverişsiz hareketli etkinin gözönüne alınması halinde;

$$S_d = \sum_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} \tag{3.23}$$

- tüm elverişsiz hareketli etkilerin gözönüne alınması halinde;

$$S_d = \sum_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + 0{,}9 \sum_{İ \geq 1} \gamma_{Q,i} Q_{k,i} \tag{3.24}$$

olarak verilmiştir. Bu ifadelerde:

$G_{k,j}$: sabit etkilerin karakteristik değerleri

$Q_{k,1}$: değişken bir etkinin karakteristik değerleri

$Q_{k,i}$: diğer değişken etkilerin karakteristik değerleri

$\gamma_{G,j}$: $G_{k,j}$ sabit etkisinin kısmi güvenlik katsayıları

$\gamma_{Q,i}$: $Q_{k,i}$ hareketli etkilerinin kısmi güvenlik katsayıları

Tablo 3.3: Kısmi güvenlik katsayıları değerleri

<table>
<tr><td colspan="2">Etkiler (yükler)</td></tr>
<tr><td>Taşıma yükü sınır durumu</td><td>Kullanılabilirlik sınır durumu</td></tr>
<tr><td>➢ Yalnız en elverişsiz etki eden hareketli yük Q
$S_d = 1{,}35\sum_j G_{k,j} + 1{,}5Q_{k,1}$
➢ Tüm hareketli yükler
$S_d = 1{,}35\sum_j G_{k,j} + 1{,}35\sum_j Q_{k,i}$</td><td>➢ Yalnız en elverişsiz etki eden hareketli yük Q
$S_d = \sum_j G_{k,j} + Q_{k,1}$
➢ Tüm hareketli yükler
$S_d = \sum_j G_{k,j} + 0{,}9\sum_j Q_{k,i}$</td></tr>
<tr><td colspan="2">En elverişsiz yük kombinasyonu esas alınır.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Mukavemet (dayanım)</td></tr>
<tr><td>Taşıma yükü sınır durumu</td><td>Kullanılabilirlik sınır durumu</td></tr>
<tr><td>$R_d = R_k / \gamma_M$
$R_k = f(f_y)$ ise $\gamma_M = 1.1$
$R_k = f(f_u)$ ise $\gamma_M = 1.25$</td><td>$R_d = R_k / \gamma_M$
$\gamma_M = 1.0$</td></tr>
</table>

Yukarıdaki ifadeleri özetlersek; boyutlama yük kombinasyonları, yapının kesit hesaplarında kullanılacak yükleme durumlarının çeşitli çarpanlarla arttırılmış birleştirme şekillerini tanımlar. Boyutlama yük kombinasyonları, uygun kısmi güvenlik katsayıları ile karakteristik yüklerin çarpımıyla elde edilir. Eğer bir yapıda yalnızca ölü yük (DL) ve hareketli yük (LL) mevcut ise, boyutlama yalnızca bir yük kombinasyonu ile yani (1.35DL + 1.50LL) ile yapılır.

Ancak ölü yük ve hareketli yüke ek olarak eğer yapı rüzgar (WL) ve deprem kuvvetlerine (EL) maruz ise, ve rüzgar ve deprem kuvvetlerinin yön değiştirebilir kuvvetler olduğunda göz önünde tutularak, aşağıdaki yük kombinasyonları tanımlanabilir.

1.35DL	1.35DL + 1.50LL
1.35DL ± 1.50WL	1.00DL ± 1.50WL
1.35DL + 1.35LL ± 1.35WL	
1.00DL ± 1.00EL	1.00DL + 1.00LL ± 1.00EL

3.2 Yapı Malzemesinin Hesap Değerleri

Tablo 3.4: Çeliğin akma gerilmesi ve çekme dayanımı değerleri

Nominal Çelik Kalitesi	Kalınlık $t^{*)}$			
	$t \leq 40mm$		$40 < t \leq 100mm$	
	$f_y (N/mm^2)$	$f_u (N/mm^2)$	$f_y (N/mm^2)$	$f_u (N/mm^2)$
Fe360	235	360	215	340
Fe430	275	430	255	410
Fe510	355	510	355	490

$t^{*)}$ yapı elemanının nominal kalınlığıdır.

- Hadde profillerinde başlık kalınlığı
- Kaynaklı yapı elemanlarında münferit elemanların kalınlığı (başlık, gövde)

Tablo 3.5: Bulonların akma gerilmesinin ve çekme dayanımının nominal değerleri

Bulon Kalitesi	4.6	5.6	8.8	10.9
$f_{yb} (N/mm^2)$	240	300	640	900
$f_{ub} (N/mm^2)$	400	500	800	1000

Aşağıdaki malzeme karakteristik değerleri tüm çelik cinsleri için geçerlidir.

Elastisite Modülü: $E = 210\,000\ (N/mm^2)$

Poisson Sayısı: $\upsilon = 0{,}3$

Kayma Modülü: $G = 81\,000\ (N/mm^2)$

Lineer Isı Katsayısı: $\alpha_t = 12.10^{-6}$

3.3 Kesit Tasarım Etkileri Ve Enkesit Tasarım Dayanımının Hesap Yöntemleri

3.3.1 Kesit Tasarım Etkilerinin Hesap Yöntemleri

Kesitlerin tasarım etkilerini hesap etmek için daha önceki bölümlerde açıklanan kısmi güvenlik katsayıları ile çarpılan yük değerleri taşıyıcı sisteme etki ettirilerek statik hesap yapılır, kesit tasarım etkileri bulunur.

Statik hesap; elastik global analiz ve plastik global analiz yöntemlerine göre yapılır. Hesap, kesit etkilerinin deformasyonlar üzerine etkisinin gözönüne alınıp alınmama durumuna göre I.mertebe veya II.mertebe teorisine göre hesap yapılır.

I.mertebe global analiz yöntemi;

- yanal deplasmanı önlenmiş çerçevelerde,
- yanal deplasman yapmadığı kabul edilebilen çerçevelerin hesabında,
- II.mertebe etkilerin dolaylı olarak gözönüne alındığı yöntemlerde,II. mertebe global analiz yöntemi bütün hallerde kullanılır.

Elastik global analizde kesit etkileri malzemenin gerilme-deformasyon davranışının lineer olduğu kabul edilerek hesaplanırken kesit dayanımları plastik esasa göre hesaplanır.

Plastik global analiz;

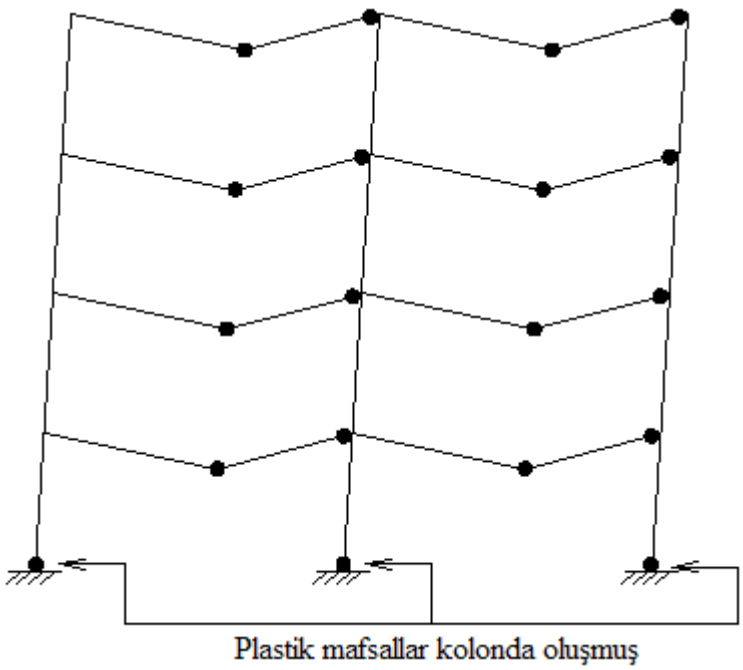
- Rijit-plastik yöntemler
- Elastik-plastik yöntemler

olarak ayrılır. Elastik-Plastik yöntemler

- Elastik-mükemmel plastik
- Elasto-plastik

yöntemler olarak uygulanır.

Rijit-Plastik Yöntem: Bir, iki katlı yapılara; kolonlarında yalnız temele ankastre noktalarda plastik mafsal oluşan, mekanizma durumu tam oluşmamış çerçevelere uygulanabilir (Şekil 3.5). Bu yöntemde elemanların ve temelin elastik deformasyonu ihmal edilir, plastik deformasyonların plastik mafsallarda konsantre olduğu kabul edilir.



Şekil 3.5 Mekanizma Durumu

Elastik-Mükemmel Plastik Yöntem: Enkesitin, plastik momente ulaşana kadar tam elastik kaldığı, plastik momente ulaştığında tam olarak plastikleştiği kabul edilir, plastik deformasyonların plastik mafsallarda konsantre olduğu kabul edilir.

Elasto-plastik Yöntem: Bu yöntemde iki lineer gerilme deformasyon eğrisi veya kesin gerilme-deformasyon eğrisi kullanılabilir. Enkesit, en dış lif akana kadar elastik kalır. Moment büyüdükçe enkesit plastikleşmeye ve plastikleşme eleman boyunca yayılmaya başlar.

Yüksek yapılarda elasto-plastik analiz, yükler adım adım artırılarak yapılabilir. Hesaba tasarım yüküne ulaşınca son verilir; iç kuvvetler enkesit tasarım dayanımı (enkesit boyutlandırma mukavemeti) ile karşılaştırılır, elemanların stabilite kontrolleri yapılır.

3.3.2 Kesit Dayanımı Hesabında Kullanılan Enkesit Değerleri

Kesit dayanımı hesabında kullanılan enkesit değerleri Tablo 3.6'da özet şeklinde verilmiştir.

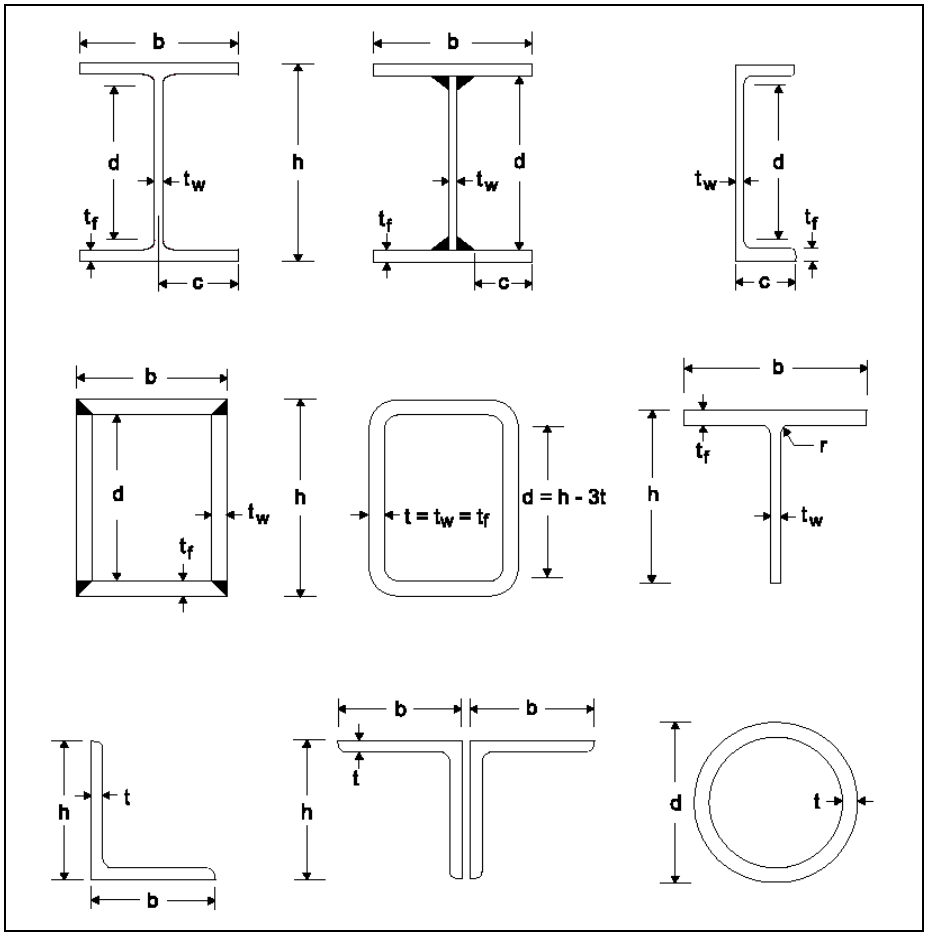
Tablo 3.6: Kesit dayanımı hesabında kullanılan enkesit değerleri

<table>
<tr><td rowspan="2">Kesit etkisi</td><td rowspan="2">Gerilme şekli</td><td colspan="2">Kesit dayanımı hesabında kullanılan enkesit değerleri</td></tr>
<tr><td>N, V</td><td>M_B, M_T</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Normal kuvvet: N</td><td>Basınç</td><td>A</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>Çekme</td><td>A_{net}</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Eğilme momenti: M_B</td><td>Basınç</td><td></td><td>W_{el}, W_{pl}</td></tr>
<tr><td>Çekme</td><td></td><td>W_{el}, W_{pl} *)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Normal kuvvet N ve Eğilme momenti M_B</td><td>Basınç</td><td>A</td><td>W_{el}, W_{pl}</td></tr>
<tr><td>Çekme</td><td>A_{net}</td><td>W_{el}, W_{pl} *)</td></tr>
<tr><td>Kesme kuvveti: V</td><td rowspan="2">Kayma</td><td>A_v, S, I, t *)</td><td></td></tr>
<tr><td>Burulma momenti</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="4">A : Brüt (zayıflamamış) enkesit alanı A_{net} : Net enkesit alanı
S : Statik moment I : Atalet momenti W_{el} : Elastik mukavemet momenti
W_{pl} : Plastik mukavemet momenti
t : kayma gerilmelerini aktaran enkesit kısımlarının kalınlığı
*) : delik zayıflaması gözönüne alınmalıdır.</td></tr>
</table>

3.4 Enkesitlerin Sınıflandırılması

3.4.1 Geometrik Kesit Değerlerinin Eurocode3'e Göre Tanımı

Eurocode3 standardına göre çeşitli tipteki profillerin geometrik değerlerinin tanımı Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6: Geometrik kesit değerlerinin EC3'e göre gösterimi

3.4.2 Enkesitlerin Sınıflandırılması

Eurocode3'e göre enkesitler dört sınıfa ayrılır:

1.Sınıf Enkesitler (Plastik Enkesitler): Yeterli dönme kapasiteli plastik mafsallar oluştururlar.

2.Sınıf Enkesitler (Kompakt Enkesitler): Maksimum plastik dayanıma sahip olup, sınırlı dönme kapasitesindedirler.

3. Sınıf Enkesitler (Yarı Kompakt Enkesitler): En elverişsiz enkesit lifinde akma gerilmesine ulaşılır, fakat yerel buruşmalar (burkulmalar) nedeniyle, plastik rezervler kullanılmaz.

4. Sınıf Enkesitler (Narin Enkesitler): Basınca maruz enkesit kısımlarında meydana gelen yerel buruşmalar (burkulmalar) nedeniyle, tam elastik dayanıma ulaşamaz; enkesitte göçme elastik bölgede meydana gelir. Bu nedenle bu kesitlerde moment ve basınç dayanımları yerel buruşma (burkulma) dikkate alınarak hesaplanmalıdır.

- Moment veya eksenel yükten dolayı basınca maruz bir kesitin boyutlandırma dayanımı, Sınıf 1 (plastik), Sınıf 2 (kompakt), Sınıf 3 (yarı-kompakt) veya Sınıf 4 (narin) gibi kesitin sınıflandırmasına bağlıdır.

- Eurocode3 yönetmeliğine göre kesitlerin sınıflandırması başlık ve gövde elemanlarının sınıflandırmasına bağlıdır.

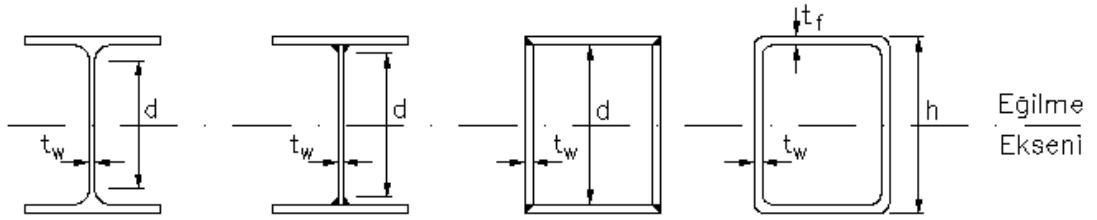
- Sınıflandırma basınç elemanlarının sadece basınç, sadece eğilme veya eksenel kuvvet ve eğilmenin birleşik etkisi altında olup olmamasına da bağlıdır.

- Bir enkesitte basınca maruz kısımlar (başlık veya gövde) farklı sınıflara ayrılabilir. Böyle bir durumda kesit en elverişsiz sınıfa göre sınıflandırılır.

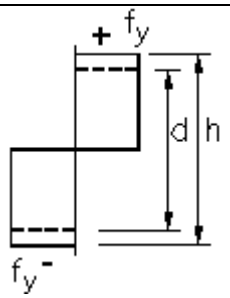
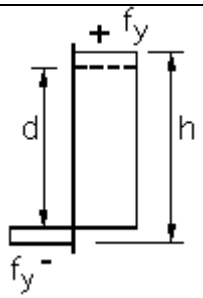
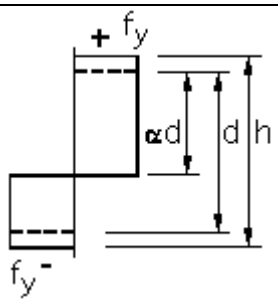
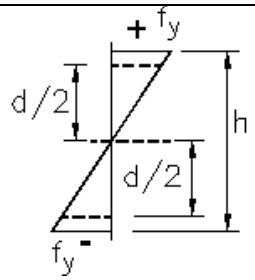
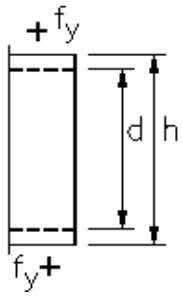
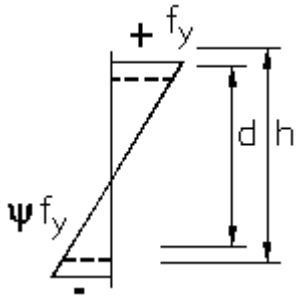
- Enkesitlerin, basınca maruz kısımlarının 1., 2., ve 3. sınıflara ayrılmasında kullanılan sınır oranlar Şekil-3.7'de verilen tablolardan alınır.

Sınırlayıcı genişlik-kalınlık oranının hesabında belirleyici çarpanlardan biri ε'dur. Bu parametre kesit sınıflandırmasında akma gerilmesinin etkisini gözönüne almak için kullanılır.

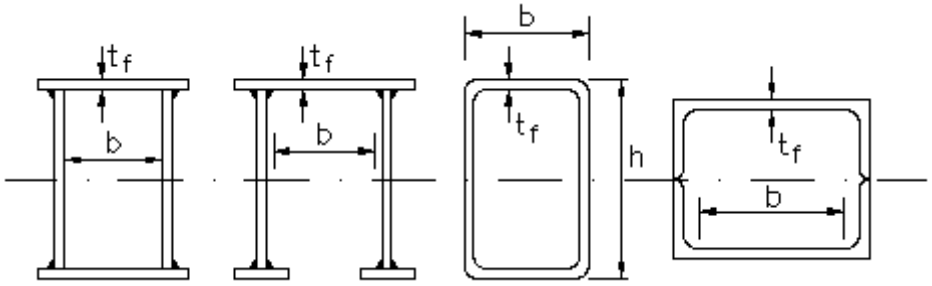
$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \tag{3.25}$$



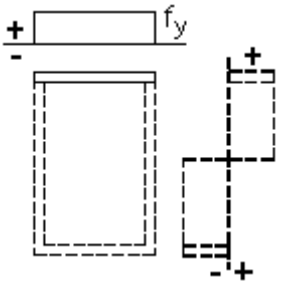
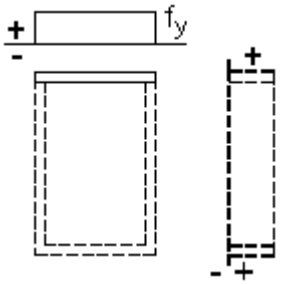
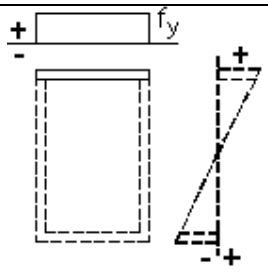
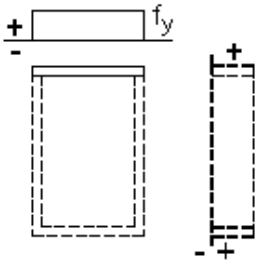
(a) Gövde levhası kısımları (eğilme eksenine dik iki taraftan mesnetli kısımlar)

Sınıf	Eğilmeye maruz gövde levhası	Basınca maruz gövde levhası	Eğilmeye ve basınca maruz gövde levhası
Enkesit kısmında gerilme dağılışı (basınç pozitif)			
1	$d/t_w < 72\,\varepsilon$	$d/t_w < 33\,\varepsilon$	$\alpha > 0{,}5$ ise; $d/t_w \le 396\varepsilon/(13\alpha - 1)$ $\alpha \le 0{,}5$ ise; $d/t_w \le 36\varepsilon/\alpha$
2	$d/t_w < 83\,\varepsilon$	$d/t_w < 38\,\varepsilon$	$\alpha > 0{,}5$ ise; $d/t_w \le 456\varepsilon/(13\alpha - 1)$ $\alpha \le 0{,}5$ ise; $d/t_w \le 41{,}5\varepsilon/\alpha$
Enkesit kısmında gerilme dağılışı (basınç pozitif)			
3	$d/t_w < 124\,\varepsilon$	$d/t_w < 42\,\varepsilon$	$\psi > -1$ ise; $d/t_w \le 42\varepsilon/(0{,}67 + 0{,}33\psi)$ $\psi \le -1$ ise; $d/t_w \le 62\varepsilon(1-\psi)\sqrt{(-\psi)}$

Şekil 3.7: Basınç ve eğilme elemanları için genişlik-kalınlık oranları sınırları

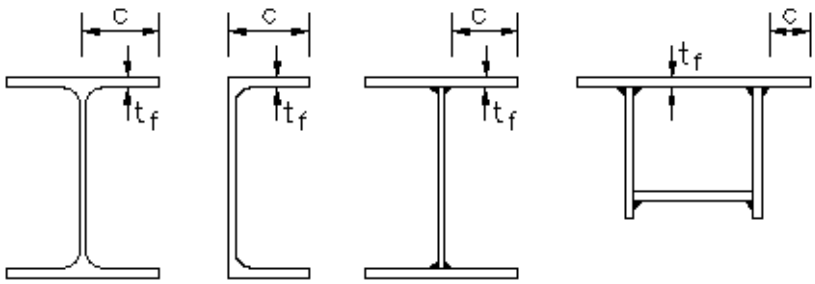


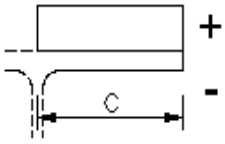
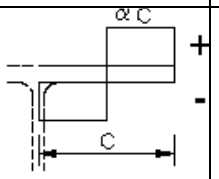
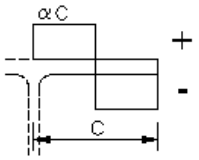
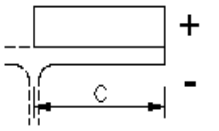
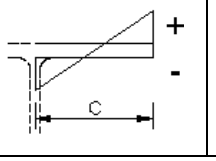
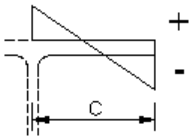
(b) Başlık kısımları (eğilme eksenine paralel iki tarafından mesnetli kısımlar)

Sınıf	Enkesit şekli	Eğilmeye maruz enkesit	Basınca maruz enkesit
Enkesitte ve enkesit kısmında gerilme dağılışı (basınç pozitif)			
1	Hadde boru profiller Diğerleri	$\frac{b-3t_f}{t_f} \le 33\varepsilon$ $\frac{b}{t_f} \le 33\varepsilon$	$\frac{b-3t_f}{t_f} \le 42\varepsilon \quad \frac{b}{t_f} \le 42\varepsilon$
2	Hadde boru profiller Diğerleri	$\frac{b-3t_f}{t_f} \le 38\varepsilon$ $\frac{b}{t_f} \le 38\varepsilon$	$\frac{b-3t_f}{t_f} \le 42\varepsilon \quad \frac{b}{t_f} \le 42\varepsilon$
Enkesitte ve enkesit kısmında gerilme dağılışı (basınç pozitif)			
3	Hadde boru profiller Diğerleri	$\frac{b-3t_f}{t_f} \le 42\varepsilon$ $\frac{b}{t_f} \le 42\varepsilon$	$\frac{b-3t_f}{t_f} \le 42\varepsilon \quad \frac{b}{t_f} \le 42\varepsilon$

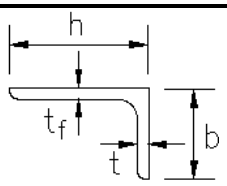
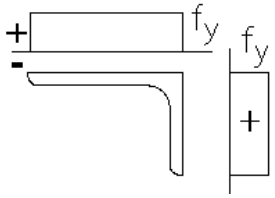
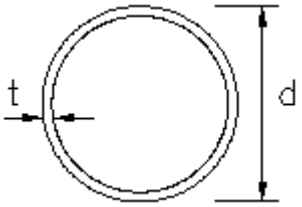
Şekil 3.8: Basınca maruz enkesit kısımlarında maksimum b/t oranları

(c) Başlık kısımları (eğilme eksenine paralel iki tarafından mesnetli kısımlar)



Sınıf	Enkesit şekli	Basınca maruz başlık	Basınca ve eğilmeye maruz başlık	
			Başlık ucu basınç bölgesinde	Başlık ucu çekme bölgesinde
Enkesitte ve enkesit kısmında gerilme dağılışı (basınç pozitif)				
1	Hadde Kaynaklı	$c/t_f \le 10\varepsilon$ $c/t_f \le 9\varepsilon$	$c/t_f \le \frac{10\varepsilon}{\alpha}$ $c/t_f \le \frac{9\varepsilon}{\alpha}$	$c/t_f \le \frac{10\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$ $c/t_f \le \frac{9\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
2	Hadde Kaynaklı	$c/t_f \le 11\varepsilon$ $c/t_f \le 10\varepsilon$	$c/t_f \le \frac{11\varepsilon}{\alpha}$ $c/t_f \le \frac{10\varepsilon}{\alpha}$	$c/t_f \le \frac{11\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$ $c/t_f \le \frac{10\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
Enkesitte ve enkesit kısmında gerilme dağılışı (basınç pozitif)				
3	Hadde boru profiller Diğerleri	$c/t_f \le 15\varepsilon$ $c/t_f \le 14\varepsilon$	$c/t_f \le 23\sqrt{k\alpha}$ $c/t_f \le 21\sqrt{k\alpha}$	

Şekil 3.9: Basınca maruz enkesit kısımlarında maksimum b/t oranları

<table>
<tr><td colspan="2">(d) Korniyer
Tek taraflı mesnetli başlık için (c)'ye de bakınız.
</td></tr>
<tr><td>Sınıf</td><td>Basınca maruz enkesit</td></tr>
<tr><td>Enkesitte gerilme dağılışı
(basınç pozitif)</td><td></td></tr>
<tr><td>3</td><td>$h/t_f \le 15\varepsilon : \dfrac{b+h}{2t} \le 11{,}5\varepsilon$</td></tr>
<tr><td colspan="2">(e) Boru kesitler
</td></tr>
<tr><td>Sınıf</td><td>Eğilme ve/veya basınca maruz enkesit</td></tr>
<tr><td>1</td><td>$d/t \le 50\varepsilon^2$</td></tr>
<tr><td>2</td><td>$d/t \le 70\varepsilon^2$</td></tr>
<tr><td>1</td><td>$d/t \le 90\varepsilon^2$</td></tr>
</table>

Şekil 3.10: Basınca maruz enkesit kısımlarında maksimum b/t oranları

3.4.2.1 4. Sınıf Enkesitlerde Etkili Enkesit Değerleri

4. Sınıf enkesitlerde etkili enkesit değerleri basınca maruz enkesit kısımlarının etkili genişlikleri ile tayin edilir. İki taraftan ve tek taraftan mesnetli enkesit kısımlarının etkili genişlikleri Şekil 3.11 ve 3.12'deki tablolarda verilmiştir.

Yaklaşık olarak ρ indirgeme faktörü

$\lambda_p \le 0{,}673$ için $\rho = 1$ ve

$\lambda_p > 0{,}673$ için $\rho = (\bar{\lambda}_p - 0{,}22)/\bar{\lambda}_p^2$

olarak hesaplanır. $\bar{\lambda}_p$ plak narinliği;

$$\bar{\lambda}_p = \left[\frac{f_y}{\sigma_{cr}}\right]^{0,5} = \frac{\bar{b}}{28,4.t.\varepsilon\sqrt{k_\sigma}}$$

ile belirlenir. Burada;

$t =$ plak kalınlığı,

$\sigma_{cr} =$ levhanın kritik buruşma gerilmesi,

$k_\sigma = \psi$ gerilme oranına bağlı buruşma değeri

$\bar{b}$ genişlikleri (Şekil 3.12'deki tablo):

gövdeler için, $\bar{b} = d$

iki taraftan mesnetli başlıklar için, $\bar{b} = b$ (boru profiller hariç)

boru profillerin başlıkları için, $\bar{b} = b - 3t$

tek taraftan mesnetli başlıklar için, $\bar{b} = c$

eşit kollu korniyerler için, $\bar{b} = (b + h)/2$

farklı kollu korniyerler için, $\bar{b} = h$ veya $(b + h)/2$ dir.

Başlıkların etkili genişlikleri ψ gerilme oranına bağlı olarak, brüt enkesit değerleri ile Şekil 3.12 ve 3.13'deki tablolara göre belirlenir.

Gövdenin etkili genişliği ψ 'na bağlı olarak basınç başlığının etkili alanı ve gövdenin brüt alanı ile Şekil 3.12'deki tabloya göre belirlenir.

Genel olarak etkili enkesitin asal ekseni brüt enkesitin asal ekseninden e kadar ötelenir (Şekil 3.14 ve 3.15). Bu öteleme enkesit değerlerinin hesabında gözönüne alınmalıdır.

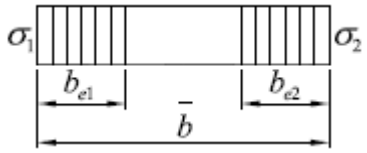
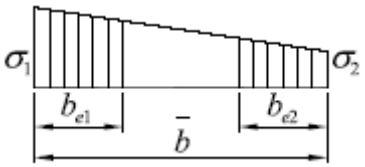
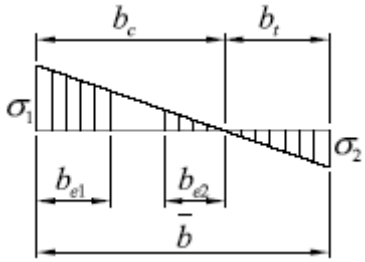
Eksenel kuvvete maruz enkesitte

$\Delta M = N.e_N$

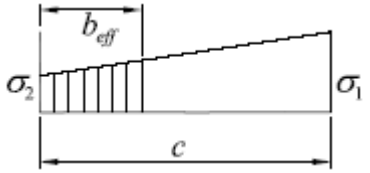
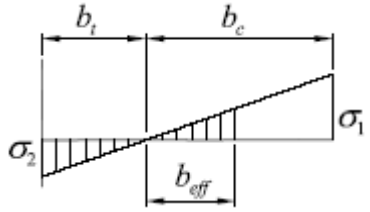
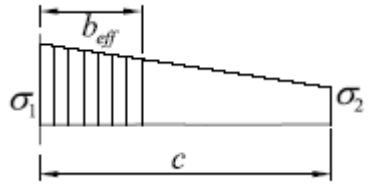
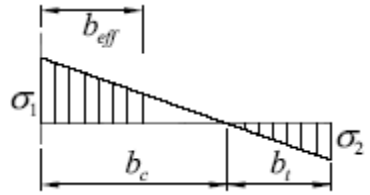
ilave momenti doğar. Burada; e_N gerilmenin homojen dağıldığı kabul edilmesi halinde asal eksenin ötelenme miktarıdır.

Alttaki ifade dışında, daha fazla ekonomi sağlamak amacıyla, basınca maruz bir kısmın narinliği, en dış liftteki f_y akma gerilmesi yerine gerçek genişliklerle hesaplanmış gerilme dağılımına göre tayin edilir. Bu durumda ψ ve ΔM adım adım hesaplanır.

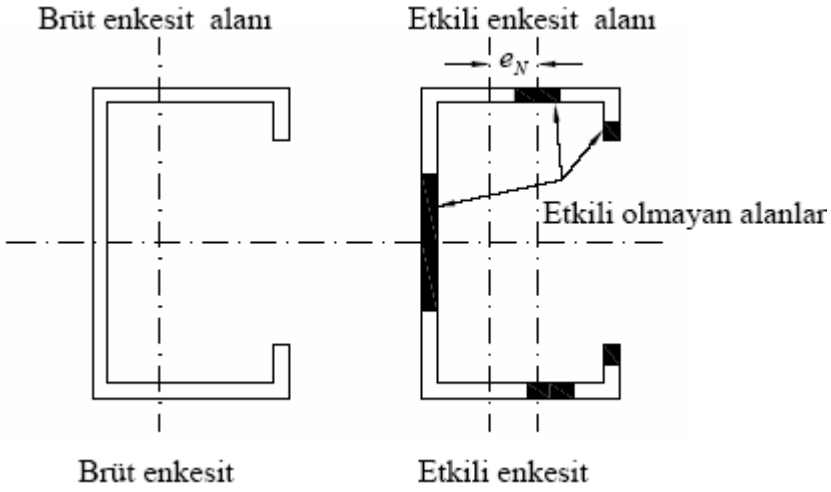
Basınca maruz eleman kısımlarının burkulma güvenliği A_{eff}, e_N, W_{eff} enkesit değerleri ve akma sınırı f_y esas alınarak hesaplanan $\bar{\lambda}_p$ levha narinliği kullanılarak belirlenir.

Gerilme dağılışı (basınç pozitif)				Etkili genişlik: b_{eff}		
				$\psi = 1$: $b_{eff} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = 0{,}5.b_{eff}$ $\quad b_{e2} = 0{,}5.b_{eff}$		
				$1 > \psi \geq 0$: $b_{eff} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = \frac{2b_{eff}}{5-\psi}$ $\quad b_{e2} = b_{eff} - b_{e1}$		
				$\psi = 0$: $b_{eff} = \rho b_c = \rho \bar{b}/(1-\psi)$ $b_{e1} = 0{,}4b_{eff}$ $\quad b_{e2} = 0{,}6b_{eff}$		
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1	$-1 > \psi > -2$
k_σ	4,0	$\frac{8{,}2}{1{,}05+\psi}$	7,81	$7{,}81 - 6{,}29\psi + 9{,}78\psi^2$	23,9	$5{,}98(1-\psi)^2$
$1 > \psi > -1 \Rightarrow \quad k_\sigma = \frac{16}{\left[(1+\psi)^2 + 0{,}112(1-\psi)^2\right]^{0,5} + (1+\psi)}$						

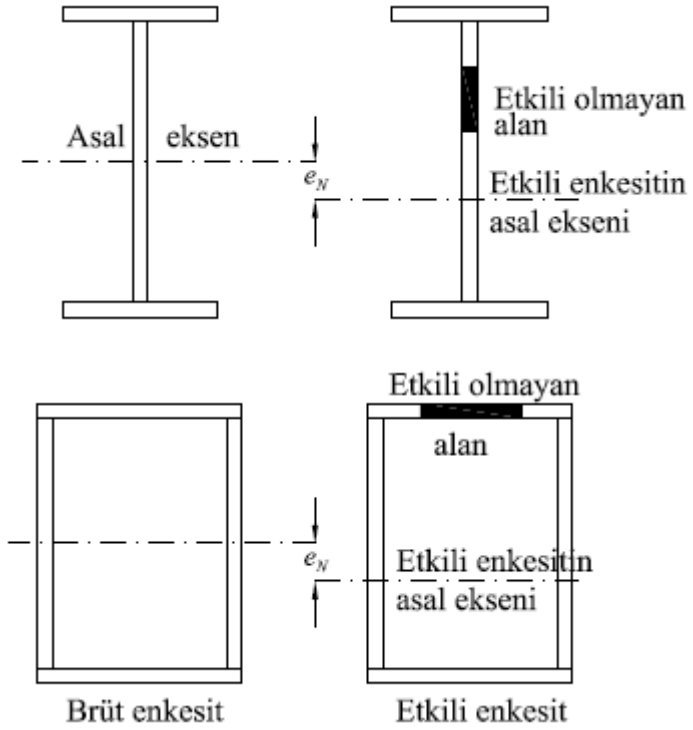
Şekil 3.11: İki taraftan mesnetli kısımlar

<table>
<tr><td colspan="3">Gerilme dağılışı (basınç pozitif)</td><td colspan="3">Etkili genişlik: b_{eff}</td></tr>
<tr><td colspan="3">
</td><td colspan="3">$1 > \psi \geq 0$:
$b_{eff} = \rho c$</td></tr>
<tr><td colspan="3">
</td><td colspan="3">$\psi < 0$:
$b_{eff} = \rho b_c = \rho c/(1-\psi)$</td></tr>
<tr><td>$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$</td><td>1</td><td>0</td><td>-1</td><td colspan="2">$-1 > \psi > -2$</td></tr>
<tr><td>k_σ</td><td>0,43</td><td>0,57</td><td>0,85</td><td colspan="2">$0,57 - 0,21\psi + 0,07\psi^2$</td></tr>
<tr><td colspan="3">
</td><td colspan="3">$1 > \psi \geq 0$:
$b_{eff} = \rho c$</td></tr>
<tr><td colspan="3">
</td><td colspan="3">$\psi < 0$:
$b_{eff} = \rho b_c = \rho c/(1-\psi)$</td></tr>
<tr><td>$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$</td><td>1</td><td>$1 > \psi > 0$</td><td>0</td><td>$0 > \psi > -1$</td><td>-1</td></tr>
<tr><td>k_σ</td><td>0,43</td><td>$0,578/\psi + 0,34$</td><td>1,70</td><td>$1,7 - 5\psi + 17,1\psi^2$</td><td>23,8</td></tr>
</table>

Şekil 3.12: Tek taraftan mesnetli kısımlar



Şekil 3.13: Basınca maruz 4. sınıf enkesit



Şekil 3.14: Eğilmeye maruz 4. sınıf enkesit

3.5 Çekme Çubuklarının Boyutlandırılması

Dış etkilerden meydana gelen çekme kuvvetinin boyutlandırma değeri Tablo 3.7'deki kontrolleri sağlamalıdır.

Tablo 3.7: Çekme kuvvetinin boyutlandırma değeri

Çekme kontrolü: $N_{Sd} \le N_{t,Rd}$	
Enkesit dayanımın kontrolü	Deliklerden geçen kritik kesite göre net enkesit alanının sınır dayanımının kontrolü
$N_{Sd} \le N_{pl,Rd} = Af_y / \gamma_{M0}$	$N_{Sd} \le N_{u,Rd} = 0{,}9A_{net}f_u / \gamma_{M2}$
N_{Sd} = dış etkilerden meydana gelen çekme kuvveti tasarım değeri $N_{pl,Rd}$ = brüt enkesit plastik tasarım dayanımı $N_{u,Rd}$ = net enkesitin sınır tasarım dayanımı A_{net} = net enkesit alanı Güvenlik katsayıları: $\gamma_{M0} = 1{,}10, \quad \gamma_{M2} = 1{,}25$	

3.6 Basınç Çubuklarının Boyutlandırılması

Taşıma güvenliği kontrolünde; işletme yüklerinden meydana gelen kesit etkileri yük kısmi güvenlik katsayısı γ_F ile çarpılır, enkesit dayanımları malzeme kısmi güvenlik katsayısı γ_M 'e bölünür.

Doğrusal çubukların eksenel basınç kuvveti altında burkulma güvenliğinin kontrolü aşağıdaki şekildedir.

$$\gamma_F N_S \le N_{b,Rd} = \chi \beta_A A \frac{f_y}{\gamma_M} \qquad (3.26)$$

$N_{b,Rd} =$ enkesitin burkulma dayanımı, $\gamma_M = 1{,}10$

$\beta_A =$ kesit indirgeme katsayısı

$\beta_A = 1{,}0$ (1., 2. ve 3.Sınıf kesitlerde)

$\beta_A = A_{eff} / A$ (4. Sınıf kesitlerde)

Tek parçalı doğrusal çubukların eksenel basınç altında burkulma güvenliğinin kontrolü aşağıdaki adımlara göre yapılır.

- Çubuğun asal eksenlerine dik doğrultularda burkulma boyu belirlenir.
- Enkesit özellikleri seçilir.

Enkesit değerlerinden hareketle, Şekil 3.15'den hangi burkulma gerilmesi eğrisinin kullanılacağı belirlenir. Şekilde bulunmayan enkesitlerin burkulma gerilmesi eğrisi benzer profillere uygun seçilir.

- Asal eksenlere dik doğrultularda,
  - Narinlik: $\lambda = \frac{l}{i}$
  - Kıyaslama narinliği: $\lambda_1 = \pi\sqrt{E / f_y}$

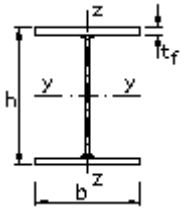
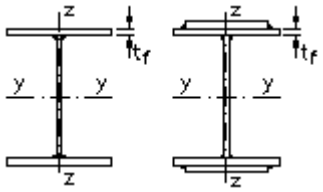
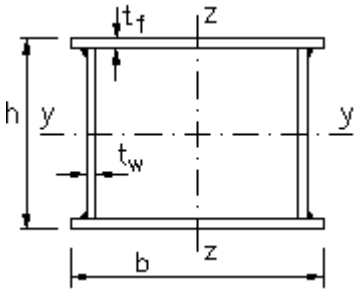
- $\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1}\sqrt{\beta_A} = \sqrt{\frac{N_{pl}}{N_{cr}}}$ elde edilir.

- χ uygun burkulma modu için azaltma çarpanı

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1,\ \phi = 0.5\left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2\right]$$

ifadeleri ile hesaplanır.Üstteki ϕ formülündeki α kusur katsayısıdır ve burkulma eğrisine bağlı olarak Şekil 3.15'de değerlerde verilmiştir.

Burkulma gerilmesi eğrisi	a	b	c	d
α	0,21	0,34	0,49	0,76

Kesitin tanımı		Sınırlar	α	
			(Kuvvetli eksen)	(Zayıf eksen)
I-Kesitler (hadde) 	h/b > 1.2	$t_f \le 40$ mm	0.21	0.34
		$t_f \le 40$ mm	0.34	0.49
	h/b ≤ 1.2	$t_f \le 100$ mm	0.34	0.49
		$t_f \le 100$ mm	0.76	0.76
I-Kesitler (kaynaklı) 		$t_f \le 40$ mm	0.34	0.49
		$t_f \le 40$ mm	0.49	0.76
Kutu kesitler		Hadde	0.21	0.21
		Kaynaklı	0.34	0.34
U-Kesitler		Herhangi	0.49	0.49
Borular		Herhangi	0.21	0.21
Kaynaklı sandık kesit 		Genel olarak (aşağıdakiler hariç)	0.34	0.34
		$b/t_f < 30$ $h/t_w < 30$	0.49	0.49
Genel		Herhangi	0.49	0.49

Şekil 3.15: Kesitler için farklı eksenlerde burkulma çarpanları

- Kontrol: $N_{Sd} \le N_{b,Rd}$

3.7 Kirişlerin Boyutlandırılması

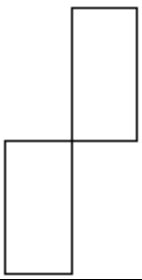
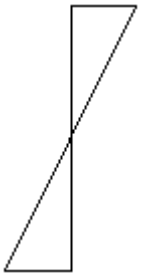
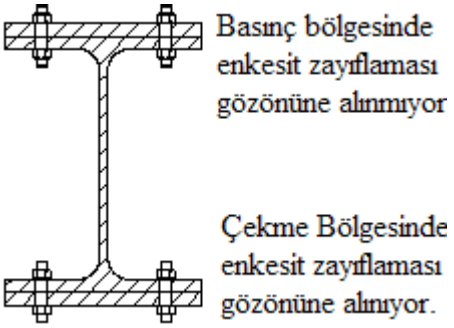
3.7.1 Eğilme

Dış yüklerden meydana gelen eğilme momentinin tasarım değeri, enkesit eğilme dayanımından küçük olmalıdır → $M_{Sd} \leq M_{c,Rd}$

$M_{c,Rd}$ enkesit eğilme dayanımı;

- 1. ve 2. sınıf enkesitlerde; $M_{c,Rd} = W_{pl} f_y / \gamma_{M0}$
- 3. sınıf enkesitlerde; $M_{c,Rd} = W_{el} f_y / \gamma_{M0}$
- 4. sınıf enkesitlerde; $M_{c,Rd} = W_{eff} f_y / \gamma_{M1}$

bağıntılarıyla hesaplanır. Burada kısmi güvenlik katsayıları $\gamma_{M0} = \gamma_{M1} = 1.10$ olur.

Plastik eğilme dayanımı	Elastik eğilme dayanımı	Enkesit zayıflamasının gözönüne alınması
Çekme 		
$M_{c,Rd} = W_{pl} f_y / \gamma_{M0}$	$M_{c,Rd} = W_{el} f_y / \gamma_{M0}$	

Şekil 3.16: Enkesit dayanımının tasarım değeri

$0.9 \frac{A_{f,net}}{A_f} \geq \frac{f_y}{f_u} \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{M0}}$ ise çekme bölgesinde enkesit zayıflaması gözönüne alınmayabilir. Burada:

M_{Sd} = Dış yüklerden meydana gelen eğilme momentinin tasarım değeri,

$M_{c,Rd}$ = Enkesitin eğilme dayanımı,

W_{pl} = Plastik mukavemet momenti,

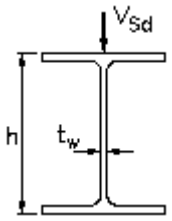
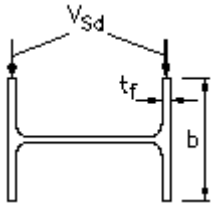
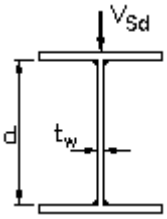
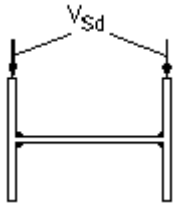
W_{el} = Elastik mukavemet momenti,

A_f = Çekme bölgesinin brüt enkesit alanı;

$A_{f,net}$ = Çekme bölgesinin net enkesit alanı ve $\gamma_{M0} = 1.10,\ \gamma_{M2} = 1.25$'dir.

3.7.2 Kesme Kuvveti

Dış yüklerden meydana gelen kesme kuvvetinin tasarım değeri, enkesit kesme dayanımından küçük olmalıdır → $V_{sd} \le V_{pl,Rd} = \dfrac{A_v f_y}{\sqrt{3}\gamma_{M0}}$

			
$A_v = 1.04h.t_w$	$A_v = 2bt_f + (t_w + r)t_w$	$A_v = d/t_w$	$A_v = A - t_w$

Şekil 3.17: Kesme kuvveti enkesit alanı

Birleşim bölgesinde makaslama kopmasından (çekme çubuklarında net enkesitte meydana gelen kopmaya benzer şekilde) kaçınılmalıdır. Bunun için

$$V_{sd} \le V_{eff,Rd} = \frac{A_{v,eff} f_y}{\sqrt{3}\gamma_{M0}} \qquad (3.27)$$

koşulu sağlanmalıdır.

3.7.3 Eğilme Momenti ve Kesme Kuvveti

Bir kesitte kesme kuvveti kesitin plastik moment dayanımını indirger. Kesme kuvvetinin küçük olması halinde indirgenen miktar küçüktür ve ihmal edilebilir. Kesme kuvveti dayanımı %50'yi aştığı takdirde plastik moment dayanımı indirgenir.

- Kuvvetli eksen etrafında eğilen simetrik kirişlerde:

$$M_{v,Rd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}(W_{pl} - \frac{\rho A_v^2}{4t_w}) \le M_{c,Rd} \quad \rho = (2\frac{V_{Sd}}{V_{pl,Rd}} - 1)^2 \tag{3.28}$$

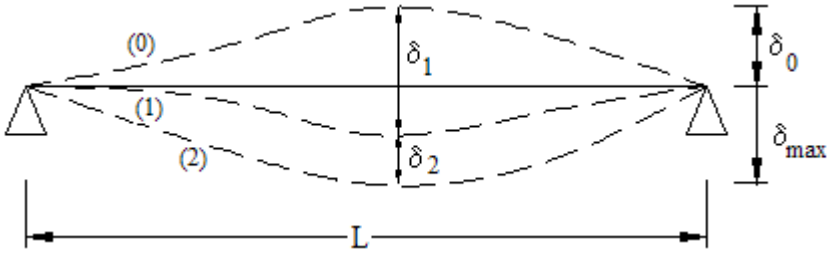
- Diğer durumlarda enkesitin plastik moment dayanımı etkili kayma alanında $f_y(1-\rho)$ indirgenmiş akma sınır gerilmesi ile hesaplanır.

3.7.4 Kullanılabilirlik Sınır Durumlarında Kirişlerin Sehim Sınırları

Eurocode3 standardına göre tavsiye edilen düşey deplasman sınırları Tablo 3.8'de özet şekilde verilmiştir.

Tablo 3.8: Tavsiye edilen düşey deplasman sınırları

Koşullar	Sınırlar (Şekil 3.18)	
	δ_{max}	δ_2
Genel olarak çatılar	L/200	L/250
Bakım dışında, sıkça insanların bulunduğu çatılar	L/250	L/300
Genel olarak döşemeler	L/250	L/300
Kolonların mesnetlendiği döşemeler	L/400	L/500
δ_{max} 'ın yapı görüntüsünü bozduğu yerlerde	L/250	



Şekil 3.18: Gözönüne alınacak deplasmanlar

$$\delta_{max} = \delta_1 + \delta_2 - \delta_0$$

$\delta_{max} =$ mesnetler birleştiren doğruya göre en son durumda sehim

$\delta_0 =$ yüksüz durumda ters sehim

$\delta_1 =$ sabit yüklerin meydana getirdiği sehim

$\delta_2 =$ değişken yükler + sabit yüklerin zamana bağlı olarak meydana getirdiği sehim

3.8 Normal Kuvvet ve Eğilme Momenti Etkisindeki Elemanlar

3.8.1 Enkesit Kontrolü

3.8.1.1 Eğilme Momenti ve Normal Kuvvet Etkisi

Kesme kuvveti olmaksızın eğilme momenti ve normal kuvvet etkisi altında 1. ve 2. sınıf enkesitlerde dış yüklerden meydana gelen eğilme momenti değeri kesitin indirgenmiş plastik moment dayanımından küçük olmalıdır.

$$M_{Sd} \leq M_{N,Rd} \tag{3.29}$$

Delik bulunmayan levhalarda;

$$\frac{M_{Sd}}{M_{pl,Rd}} + \left(\frac{N_{Sd}}{N_{pl,Rd}} \right)^2 \leq 1 \tag{3.30}$$

olmalıdır.

Başlıklı enkesitlerde $y-y$ ekseni etrafında eğilmede, normal kuvvetin küçük olması halinde plastik moment dayanımında indirgenen miktar küçüktür ve ihmal edilebilir. Buna karşılık normal kuvvetin gövde levhasının plastik çekme kuvvetinin %50'sini veya enkesit plastik çekme kuvvetinin %25'ini aşması durumunda plastik moment dayanımı indirgenir. $z-z$ etrafında da benzer şekilde normal kuvvet gövde levhasının plastik çekme dayanımını aştığı takdirde indirgeme yapılır.

I ve H hadde profillerinde delik olmayan enkesitlerde;

$$M_{y,N,Rd} = 1{,}11 M_{y,pl,Rd}(1-n) \le M_{y,pl,Rd} \tag{3.31}$$

$$n \le 0{,}2 \text{ ise } M_{z,N,Rd} \le M_{y,pl,Rd} \tag{3.32}$$

$$n > 0{,}2 \text{ ise } M_{z,N,Rd} = 1{,}56 M_{y,pl,Rd}(1-n)(n+0{,}6) \tag{3.33}$$

bağıntıları kullanılabilir. Burada

$$n = \frac{N_{Sd}}{N_{pl,Rd}} \tag{3.34}$$

Delik bulunmayan sabit cidar kalınlıklı dikdörtgen kesitli kutu profiller için;

$$M_{y,N,Rd} = M_{y,pl,Rd}\left(\frac{1-n}{1-0{,}5a_w}\right) \le M_{y,pl,Rd} \tag{3.35}$$

$$M_{z,N,Rd} = M_{z,pl,Rd}\left(\frac{1-n}{1-0{,}5a_f}\right) \le M_{z,pl,Rd} \tag{3.36}$$

bağıntıları kullanılabilir. Burada

$$a_w = \frac{A-2bt}{A} \le 0{,}5 \tag{3.37}$$

$$a_f = \frac{A-2ht}{A} \le 0{,}5 \tag{3.38}$$

3.35 ve 3.36 bağıntıları kaynaklı simetrik sandık kesitler içinde geçerlidir:

$$a_w = \frac{A-2bt_f}{A} \le 0{,}5 \tag{3.39}$$

$$a_f = \frac{A - 2ht_w}{A} \leq 0{,}5 \tag{3.40}$$

3.35 ve 3.36 bağıntıları sabit cidar kalınlıklı standart dikdörtgen kutu profiller içinde geçerlidir.

Kare enkesitler:

$$M_{N,Rd} = 1{,}26M_{pl,Rd}(1-n) \leq M_{pl,Rd} \tag{3.41}$$

Dikdörtgen enkesitler:

$$M_{y,N,Rd} = 1{,}33M_{y,pl,Rd}(1-n) \leq M_{y,pl,Rd} \tag{3.42}$$

$$M_{z,N,Rd} = M_{z,pl,Rd}\left(\frac{1-n}{0{,}5+ht/A}\right) \leq M_{z,pl,Rd} \tag{3.43}$$

Delik bulunmayan sabit cidar kalınlıklı borular için;

$$M_{N,Rd} = 1{,}04.M_{pl,Rd}(1-n^{1.7}) \leq M_{pl,Rd} \tag{3.44}$$

bağıntısı geçerlidir.

İki eksen etrafında eğilmede;

$$\left(\frac{M_{y,Sd}}{M_{y,N,Sd}}\right)^{\alpha} + \left(\frac{M_{z,Sd}}{M_{z,N,Sd}}\right)^{\beta} \leq 1 \tag{3.45}$$

bağıntısı geçerlidir.

α ve β için güvenli tarafta kalan 1 değeri yada

- I ve H hadde profillerinde: $\alpha = 2\,;\ \beta = 5n \geq 1$
- Borularda: $\alpha = 2\,;\ \beta = 2$

- Dikdörtgen kutu profillerde: $\alpha = \beta = \frac{1,66}{1-1,13n^2} \leq 6$

- Dolu gövdeli dikdörtgen enkesitlerde ve levhalarda: $\alpha = \beta = 1,73 + 1,8n^3$ değerleri kabul edilir.

Kesme kuvveti olmayan 3. Sınıf enkesitlerde $\sigma_{max\ x,Ed}$ eğilme momenti ve normal kuvvetten meydana gelen normal gerilme;

$$\sigma_{x,Ed} \leq f_{yd} \tag{3.46}$$

koşulunu sağlamalıdır.

Delik bulunmayan enkesitler için 3.46 bağıntısından

$$\frac{N_{Sd}}{A.f_{yd}} + \frac{M_{y,Sd}}{W_{ey} f_{yd}} + \frac{M_{z,Sd}}{W_{ez} f_{yd}} \leq 1 \tag{3.47}$$

karşılıklı etki bağıntısı elde edilir.

Kesme kuvveti etkimeyen 4. Sınıf enkesitlerde, basınca maruz enkesit kısımlarının indirgenmiş etkili genişlikleri gözönüne alınarak hesaplanan $\sigma_{max\ x,Ed}$ normal gerilmesi 3.46 bağıntısını sağlamalıdır.

Delik bulunmayan enkesitler için 3.46 bağıntısından

$$\frac{N_{Sd}}{A_{eff} f_{yd}} + \frac{M_{y,Sd} + N_{Sd} e_{y,N}}{W_{y,eff} f_{yd}} + \frac{M_{z,Sd} + N_{Sd} e_{z,N}}{W_{z,eff} f_{yd}} \leq 1 \tag{3.48}$$

karşılıklı etki bağıntısı elde edilir.

3.8.1.2 Eğilme Momenti, Kesme Kuvveti Ve Normal Kuvvet Etkisi

Kesme kuvveti, enkesitin plastik kesme değerinin %50'sini aştığı takdirde, plastik moment dayanımı kesme kuvveti ve normal kuvvet etkileri nedeniyle indirgenir.

$V_{Sd} \le 0{,}50V_{pl,Rd}$ ise, herhangi bir indirgeme yapmaksızın Bölüm 3.8.1.1'de verilen eğilme momenti ve normal kuvvet karşılıklı etkileşim bağıntıları kullanılır.

$V_{Sd} \ge 0{,}50V_{pl,Rd}$ ise, etkili kayma alanı için indirgenmiş akma gerilmesi $(1-\rho)f_y$ esas alınarak eğilme momenti ile normal kuvvet arasında Bölüm 3.8.1.1'de verilen karşılıklı etkileşim bağıntıları kullanılır. Burada

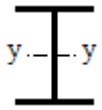
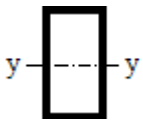
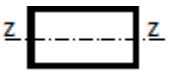
$$\rho = \left(\frac{2V_{Sd}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 \tag{3.48}$$

dir.

Sınıf 2 enkesitlerinde Tablo 3.9'da verilen karşılıklı etkileşim bağıntıları kullanılabilir. Enkesitlerin burkulma veya eğilmeli burulmalı burkulma kontrolleri yapılmalıdır.

Tablo 3.9: İki eksenli eğilme halinde karşılıklı etkileşim bağıntıları

$\left(\frac{M_{y,Sd}}{M_{y,N,Sd}} \right)^{\alpha} + \left(\frac{M_{z,Sd}}{M_{z,N,Sd}} \right)^{\beta} \le 1$	α	β
I ve H hadde profiller	2	1
Borular	2	2
Dikdörtgen kutu profiller	1,66	1,66
Dolu gövdeli dikdörtgen enkesitler ve levhalar	1,73	1,73

Hadde veya kaynaklı profiller	Eksenel yükün şiddeti	$V_{Sd} \le 0{,}50V_{Rd}$	$V_{Sd} \ge 0{,}50V_{Rd}$
	Düşük	$\frac{M_{N,V,Rd}}{M_{y,Rd}} = 1{,}0$	$\frac{M_{N,V,Rd}}{M_{y,Rd}} = 1-\rho$
	Yüksek	$\frac{M_{N,V,Rd}}{M_{y,Rd}} = 1{,}11(1-n)$	$\frac{M_{N,V,Rd}}{M_{y,Rd}} = 1{,}11(1-n-\rho)$
	Düşük	$\frac{M_{N,V,Rd}}{M_{z,Rd}} = 1{,}0$	$\frac{M_{N,V,Rd}}{M_{z,Rd}} = 1-\rho$
	Yüksek	$\frac{M_{N,V,Rd}}{M_{z,Rd}} = 1{,}56(1-n)(n+0{,}6)$	$\frac{M_{N,V,Rd}}{M_{z,Rd}} = 1{,}56(1-n-\rho)(0{,}6+\frac{n}{1-\rho})$
İçi Boş Profiller		$V_{Sd} \le 0{,}50V_{Rd}$	$V_{Sd} \ge 0{,}50V_{Rd}$
	$N_{Sd} \le 0{,}25N_{Rd}$	$\frac{M_{N,V,Rd}}{M_{Rd}} = 1{,}0$	$\frac{M_{N,V,Rd}}{M_{Rd}} = 1-\rho$
	$N_{Sd} \ge 0{,}25N_{Rd}$	$\frac{M_{N,V,Rd}}{M_{Rd}} = 1{,}04(1-n^{1,7})$	$\frac{M_{N,V,Rd}}{M_{Rd}} = 1{,}04(1-\rho-\frac{n^{1,7}}{(1-\rho)^{0,7}})$
	Düşük	$\frac{M_{N,V,Rd}}{M_{Rd}} = 1{,}0$	$\frac{M_{N,V,Rd}}{M_{Rd}} = 1-\rho$
	Yüksek	$\frac{M_{N,V,Rd}}{M_{Rd}} = 1{,}26(1-n)$	$\frac{M_{N,V,Rd}}{M_{Rd}} = 1{,}26(1-n-\rho)$
	Düşük	$\frac{M_{N,V,Rd}}{M_{Rd}} = 1{,}0$	$\frac{M_{N,V,Rd}}{M_{Rd}} = 1-\rho$
	Yüksek	$\frac{M_{N,V,Rd}}{M_{Rd}} = 1{,}33(1-n)$	$\frac{M_{N,V,Rd}}{M_{Rd}} = 1{,}33(1-n-\rho)$
	Düşük	$\frac{M_{N,V,Rd}}{M_{Rd}} = 1{,}0$	$\frac{M_{N,V,Rd}}{M_{Rd}} = 1-\rho$
	Yüksek	$\frac{M_{N,V,Rd}}{M_{Rd}} = \frac{1-n}{0{,}5+\frac{ht}{A}}$	$\frac{M_{N,V,Rd}}{M_{Rd}} = \frac{1-n-\rho}{0{,}5-\frac{ht}{A}}$
Eksenel yükün şiddeti düşük $N_{Sd} \le 0{,}25N_{Rd}$ ve $N_{Sd} \le \frac{d.t.f_y}{2\gamma_{M0}}$		Eksenel yükün şiddeti yüksek $N_{Sd} > 0{,}25N_{Rd}$ ve $N_{Sd} > \frac{d.t.f_y}{2\gamma_{M0}}$	
$n = \frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} = \frac{N_{Sd}}{A.f_y/\gamma_{M0}}$ $\rho = (2\frac{V_{Sd}}{V_{Rd}}-1)^2$			

Şekil 3.19: Normal kuvvet ve kesme kuvveti etkimesi durumunda $M_{N,V,Rd}$ bağıntıları

3.8.1.3 Eğilme Momenti ve Eksenel Çekme Etkisi

Eğilme momenti ve eksenel çekme etkisindeki elemanlarda eğilmeli burulmalı burkulma kontrolü yapılmalıdır.

Eğilme momenti ve çekme kuvvetinin birbirinden bağımsız değişmesi halinde, çekme kuvvetinin tasarım değeri $\psi = 0{,}8$ kombinasyon katsayısı ile indirgenir. Basınca maruz kenar lifte hesaplanan $\sigma_{com,Ed}$ (akma dayanımını aşabilir)

$$\sigma_{com,Ed} = \frac{M_{Sd}}{W_{com}} - \psi \frac{N_{t,Sd}}{A} \tag{3.50}$$

bağıntısıyla hesaplanır. Burada;

$W_{com} =$ basınca maruz kenar life göre elastik mukavemet momenti

$N_{t,Sd} =$ çekme kuvveti tasarım değeridir.

Kontrol $M_{eff,Sd}$ etkili momentiyle yapılır:

$$M_{eff,Sd} = W_{com}\sigma_{com,Ed} \le M_{b,Rd} \tag{3.51}$$

3.8.2 Stabilite Kontrolleri

3.8.2.1 Yanal Burulmalı Burkulma Dayanımı

$M_{b,Rd}$ yanal burulmalı burkulma dayanımı;

$$M_{b,Rd} \le \chi_{LT} M_{c,Rd} \tag{3.52}$$

bağıntısıyla hesaplanır. Burada χ_{LT} yanal burulmalı burkulma indirgeme katsayısı olup basınç çubukları bölümünde anlatıldığı gibi hadde profiller için a kaynaklı kesitler için ise c burkulma eğrileri kullanılarak hesaplanır. Bağıntılarda kullanılan λ_{LT} yanal burulmalı burkulma geometrik narinliği bütün enkesit sınıfları için

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{\pi^2 E W_{y,pl}}{M_{cr}}} \tag{3.53}$$

bağıntısıyla hesaplanır. M_{cr} kritik momenti çift simetri eksenli kesitlerin yanal doğrultuda tutulu noktalarında uç momentleriyle yüklenmesi halinde;

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 E I_z}{l_{LT}^{\ 2}} \sqrt{\frac{(k/k_w)^2 I_w + 0{,}039 l_{LT}^{\ 2} I_t}{I_z}} \tag{3.54}$$

bağıntısıyla hesaplanır. Burada;

$I_t =$ enkesitin burulma dayanımı

$I_w =$ enkesitin çarpılma dayanımı

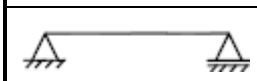
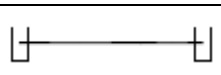
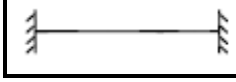
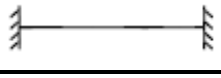
$k, k_w =$ Şekil 3.20'den alınan etkili boy katsayıları

$l_{LT} =$ $k.L_{LT}$ eğilme düzlemi dışına burkulmada burkulma boyu

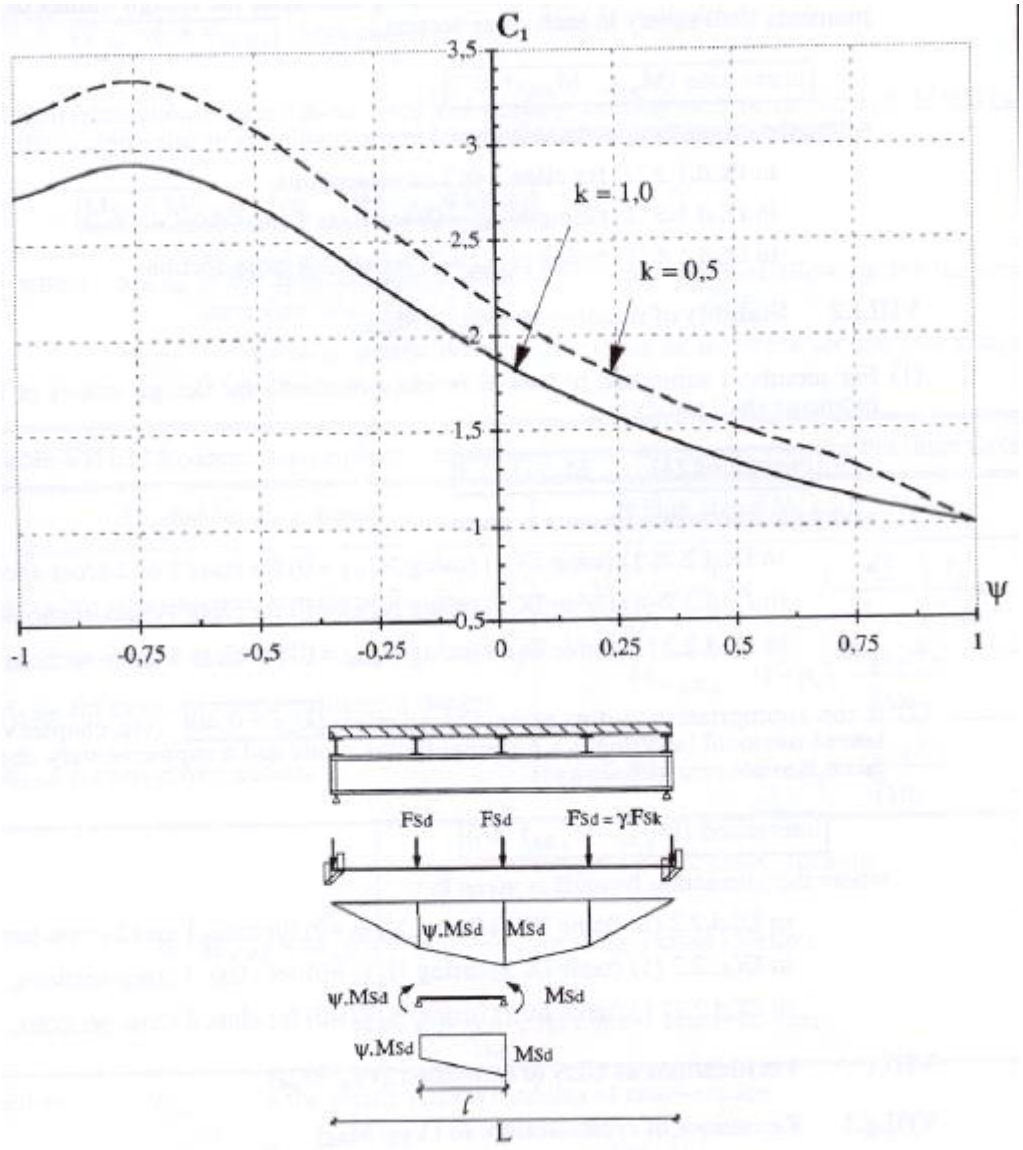
$L_{LT} =$ yanal doğrultuda tutulu noktalar arası uzunluk

$C_1 =$ Şekil 3.21'den alınan katsayıdır

$\bar{\lambda}_{LT} \le 0{,}4$ olması halinde $\chi_{LT} = 1{,}0$ alınır; yanal burulmalı burkulma kontrolüne gerek kalmaz.

Düzlem dışına eğilmede uç koşulları		Çarpılmada uç koşulları	
	$k = 1{,}0$		$k_w = 1{,}0$
	$k = 0{,}5$		$k_w = 0{,}5$

Şekil 3.20: Etkili boy katsayıları



Şekil 3.21: C_1 değerleri ve ψ 'nin tanımı

3.8.2.2 Eğilme Momenti Ve Eksenel Basınç Etkisi

Eğilme momenti ve eksenel basınç etkisindeki Sınıf 1 ve Sınıf enkesitli yapı elemanlarında eğilmeli burkulma

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{min} A f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_y M_{y,Sd}}{W_{y,pl} f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_z M_{z,Sd}}{W_{z,pl} f_y / \gamma_{M1}} \leq 1 \qquad (3.55)$$

denklemi ile kontrol edilir. Bu denklemde;

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y N_{Sd}}{\chi_y A f_y} \leq 1{,}5 \tag{3.56}$$

$$\mu_y = \bar{\lambda}_y (2\beta_{My} - 4) + \frac{W_{y,pl} - W_{y,el}}{W_{y,el}} \leq 0{,}9 \tag{3.57}$$

$$k_z = 1 - \frac{\mu_z N_{Sd}}{\chi_z A f_y} \leq 1{,}5 \tag{3.58}$$

$$\mu_z = \bar{\lambda}_z (2\beta_{Mz} - 4) + \frac{W_{z,pl} - W_{z,el}}{W_{z,el}} \leq 0{,}9 \tag{3.59}$$

χ_{min}, χ_y ve χ_z değerlerinden küçüğüne eşittir. Burada χ_y ve χ_z sırasıyla $y-y$ ve $z-z$ eksenlerine göre indirgeme katsayılarıdır.

Sınıf 1 ve Sınıf 2 enkesitli yapı elemanlarında eğilmeli burulmalı burkulma kontrolü

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_z A f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_{LT} M_{y,Sd}}{\chi_{LT} W_{y,pl} f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_z M_{z,Sd}}{W_{z,pl} f_y / \gamma_{M1}} \leq 1 \tag{3.60}$$

ifadesi ile yapılır. Bu ifadede;

$$k_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT} N_{Sd}}{\chi_z A f_y} \leq 1 \tag{3.61}$$

$$\mu_{LT} = 0{,}15 \bar{\lambda}_z \beta_{MLT} - 0{,}15 \leq 0{,}9 \tag{3.62}$$

şeklindedir.

Eğilme momenti ve eksenel basınç etkisindeki Sınıf 3 enkesitli yapı elemanlarında eğilmeli burkulma;

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{min} A f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_y M_{y,Sd}}{W_{y,el} f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_z M_{z,Sd}}{W_{z,el} f_y / \gamma_{M1}} \leq 1 \quad (3.63)$$

denklemi ile kontrol edilir. Bu denklemdeki χ_{min}, χ_y ve χ_z Sınıf 1 ve Sınıf 2 enkesitlerinde olduğu gibi kontrol edilir. Bu ifadede;

$$\mu_y = \bar{\lambda}_y (2\beta_{My} - 4) \leq 0{,}9 \quad (3.64)$$

$$\mu_z = \bar{\lambda}_z (2\beta_{Mz} - 4) \leq 0{,}9 \quad (3.65)$$

şeklindedir.

Sınıf 3 enkesitli yapı elemanlarında eğilmeli burulmalı burkulma kontrolü

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_z A f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_{LT} M_{y,Sd}}{\chi_{LT} W_{y,el} f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_z M_{z,Sd}}{W_{z,el} f_y / \gamma_{M1}} \leq 1 \quad (3.66)$$

ifadesi ile yapılır.

Eğilme momenti ve eksenel basınç etkisindeki Sınıf 4 enkesitli yapı elemanlarında eğilmeli burkulma

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{min} A_{eff} f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_y M_{y,Sd} + N_{Sd} e_{y,N}}{W_{y,eff} f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_z M_{z,Sd} + N_{Sd} e_{z,N}}{W_{z,eff} f_y / \gamma_{M1}} \leq 1 \quad (3.67)$$

denklemi ile kontrol edilir. Bu denklemdeki χ_{min}, χ_y ve χ_z Sınıf 1 ve Sınıf 2 enkesitlerinde olduğu gibi, A yerine A_{eff} alınarak kontrol edilir. μ_y ve μ_z Sınıf 3 enkesitlerinde olduğu gibi, $\beta_{M,LT}$ belirlenirken M_{Sd} yerine $N_{Sd} e_N$ alınarak belirlenir.

Sınıf 4 enkesitli yapı elemanlarında eğilmeli burulmalı burkulma kontrolü

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_z A_{eff} f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_{LT} M_{y,Sd} + N_{Sd} e_{y,N}}{\chi_{LT} W_{y,eff} f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_z M_{z,Sd} + N_{Sd} e_{z,N}}{W_{z,eff} f_y / \gamma_{M1}} \leq 1 \quad (3.68)$$

ifadesi ile yapılır.

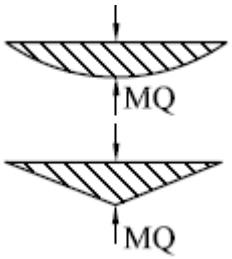
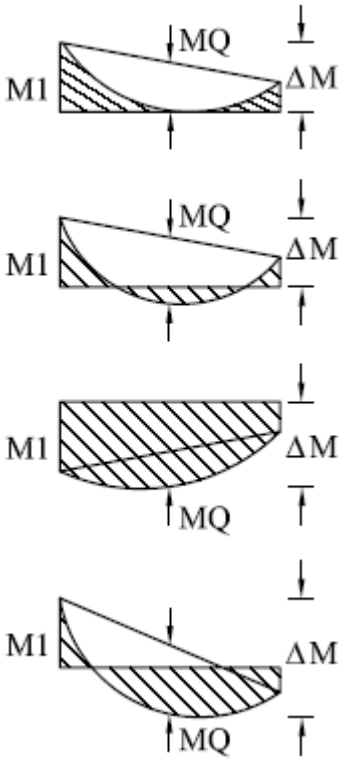
Normal kuvvetli eğilme burulmasız meydana geliyorsa ifade

$$\frac{k_y M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} + \frac{k_z M_{z,Sd}}{M_{z,Rd}} \leq 1 - n_{max} \quad (3.69)$$

şeklinde olur. Eğer kesin bir kontrol gerekmiyorsa k_y ve k_z katsayıları için güvenli tarafta kalınarak 1,50 değeri alınır.

$$\frac{1{,}5 M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} + \frac{1{,}5 M_{z,Sd}}{M_{z,Rd}} \leq 1 - n_{max} \quad (3.70)$$

$\beta_{M,LT}$, $\beta_{M,y}$ ve $\beta_{M,z}$ eşdeğer üniform moment katsayıları yanal doğrultuda tutulu noktalar arasında momentin değişimine bağlı olarak Şekil 3.22'den alınır.

Momentin Değişimi	Moment Katsayısı: β_M
 $-1 \le \psi \le 1$	$\beta_{M,\psi} = 1{,}8 - 0{,}7\psi$
Düşey yüklerden meydana gelen momentin değişimi 	$\beta_{M,Q} = 1{,}3$ $\beta_{M,Q} = 1{,}4$
Düşey yüklerden meydana gelen momentin değişimi 	$\beta_M = \beta_{M,\psi} + \frac{M_Q}{\Delta M}(\beta_{M,Q} - \beta_{M,\psi})$ $M_Q = \lvert \max M \rvert$ $\Delta M \begin{cases} \lvert \max M \rvert \\ \lvert \max M \rvert + \lvert \min M \rvert \end{cases}$

Şekil 3.22: Moment katsayısı

4. YAPININ BOYUTLANDIRILMASI

4.1 Yük Analizi

Özağırlıklar:

Kaplama.....0,15 kN/m^2

Aşık.....0,15 kN/m^2

Çatı stabilite bağlantıları.....0,05 kN/m^2

Kuşaklar.....0,10 kN/m^2

Ana makas.....10 kN/m

Tali makas.....0,20 kN/m^2

Kapı makası.....0,60 kN/m = 0,10 kN/m^2

Kar:

$P_s = m.P_{so}$

$\alpha = 3{,}61^o \rightarrow m = 1{,}0 \rightarrow P_s = P_{so}$

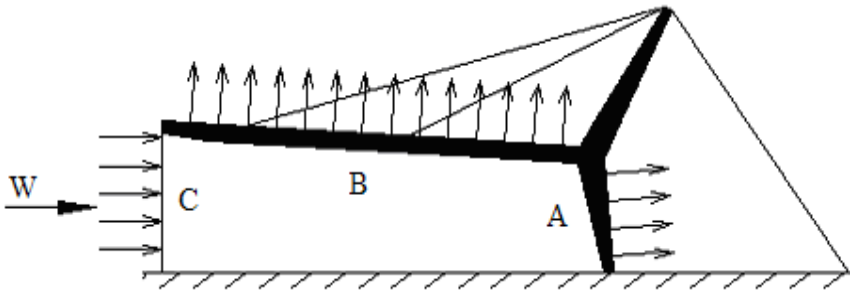
$P_{so} = 0{,}75$ kN/m^2 (H ≤ 200m, I.Bölge)

Rüzgar:

H = 0 ~ 8m → q = 0,50 kN/m^2

H = 9 – 20m → q = 0,80 kN/m^2

Kapının kapalı veya açık, rüzgarın soldan veya sağdan etkimesi durumlarına göre rüzgar yükü katsayıları Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'de verilmiştir.

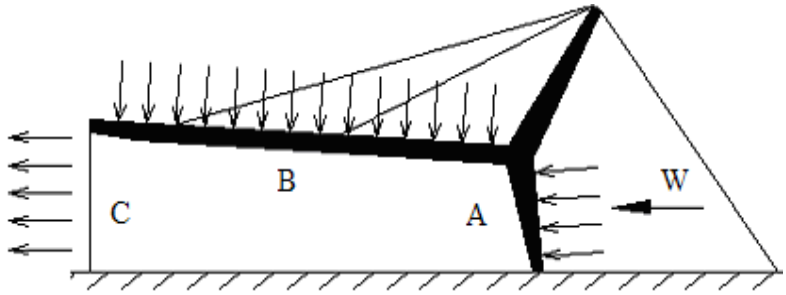


$C_A = -0,4$

$C_B = -0,4$

$C_C = 0,8$

Şekil 4.1: Kapının kapalı ve rüzgarın soldan etkimesi durumu



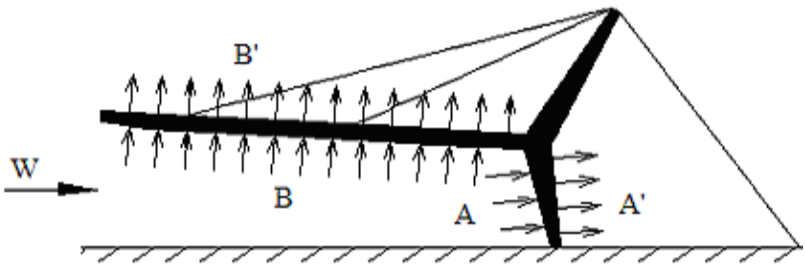
$C_A = 0,8$

$C_B = 1,2.\text{Sin}\alpha - 0,4$

$C_B = -0,32$

$C_C = -0,4$

Şekil 4.2: Kapının kapalı ve rüzgarın sağdan etkimesi durumu



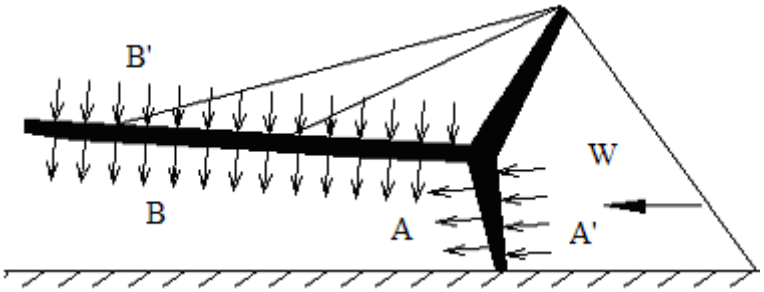
$C_A = 0,8$

$C_{A'} = -0,4$

$C_B = 0,8$

$C_{B'} = -0,4$

Şekil 4.3: Kapının açık ve rüzgarın soldan etkimesi durumu



$C_A = -0,4$

$C_{A'} = 0,8$

$C_B = -0,4$

$C_{B'} = 1,2.\text{Sin}\alpha - 0,4$

$C_{B'} = -0,32$

Şekil 4.4: Kapının açık ve rüzgarın sağdan etkimesi durumu

Deprem:

Yapının deprem hesabı ABYYHY'de belirtilen mod birleştirme ve zaman tanım alanlı hesap yöntemine göre yapılacaktır. Söz konusu yöntemlerde kullanılacak olan yapıya ait karakteristik değerler aşağıdaki gibidir.

Yapının deprem bölgesi: I.Derece → Etkin yer ivmesi katsayısı: $A_0 = 0,40$

Yerel zemin sınıfı: Z2 → Spektrum karakteristik periyotları: T_A=0,15 sn. T_B=0,40 sn.

Bina önem katsayısı, I = 1,5

Hareketli yük azaltma katsayısı: n = 0,30

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı: R

kısa doğrultuda → R = 5 (süneklilik düzeyi normal çerçeve)

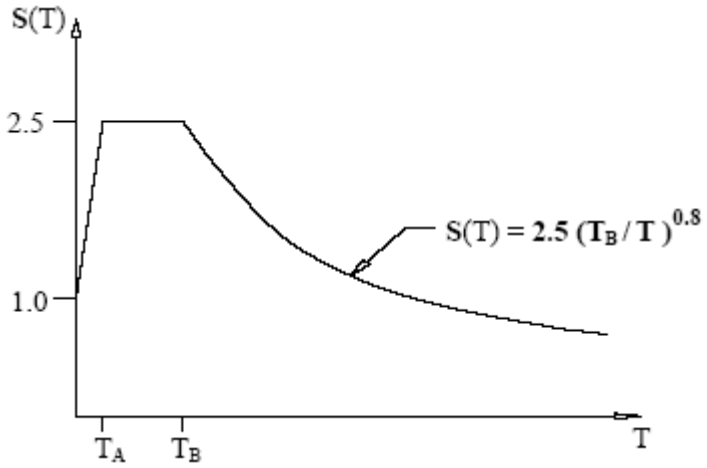
uzun doğrultuda → R = 3 (merkezi çapraz)

Mod birleştirme yönteminde kullanılacak olan spektrum eğrisinin değerleri zemin grubuna bağlı olarak yönetmelikte verilen formüllere göre hesaplanmıştır. Söz konusu spektrum eğrisine ait sayısal değerler Tablo 4.1'deki gibidir. Bu sayısal değerlere ait grafik ise Şekil 4.5'de gösterilmiştir. S(T) değeri, bu eğriye göre T1 periyodu için belirlenmektedir. S(T) değerleri belirlendikten sonra S_c katsayısı ile çarpıldığında deprem katsayısının g yerçekim ivmesi ile çarpımı elde edilmektedir. Oluşan kesit tesirleri bu katsayı ile çarpıldığında istenilen kesit tesirleri elde edilmektedir. Bütün bu işlemler Sap2000 tarafından yapılmaktadır. SAP2000 programında analiz yaparken gerekli olan S_c spektrum katsayısı uzun ve kısa doğrultular için aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$S_{c,kısa} = \frac{A_0 \times I}{R(T_1)} \times g = \frac{0,40 \times 1,5}{5} \times 9,81 = 1,1772 \; ; \; S_{c,uzun} = \frac{0,40x1,5}{3} x9,81 = 1,962$$

Tablo 4.1: Z2'ye göre spektrum değerleri

T (sn)	S (T)	T (sn)	S (T)
0	1.000	1.2	1.038
0.075	1.750	1.25	1.005
0.15	2.500	1.3	0.974
0.25	2.500	1.35	0.945
0.3	2.500	1.4	0.918
0.35	2.500	1.45	0.892
0.4	2.500	1.5	0.868
0.45	2.275	1.55	0.846
0.5	2.091	1.6	0.825
0.55	1.938	1.65	0.805
0.6	1.808	1.7	0.786
0.65	1.695	1.75	0.768
0.7	1.598	1.8	0.751
0.75	1.512	1.85	0.734
0.8	1.436	1.9	0.719
0.85	1.368	1.95	0.704
0.9	1.307	2	0.690
0.95	1.251	2.5	0.577
1	1.201	3	0.499
1.05	1.155	5	0.331
1.1	1.113	10	0.190
1.15	1.074		

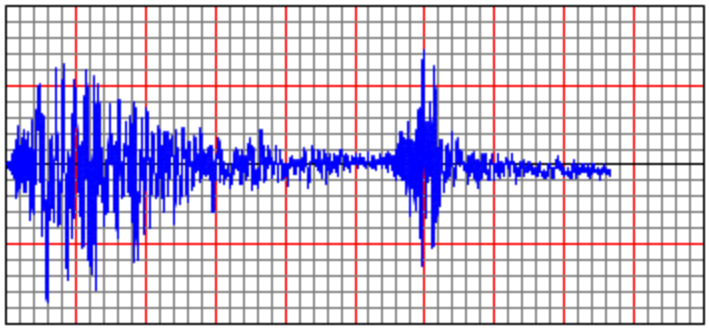


Şekil 4.5: Spektrum eğrisi

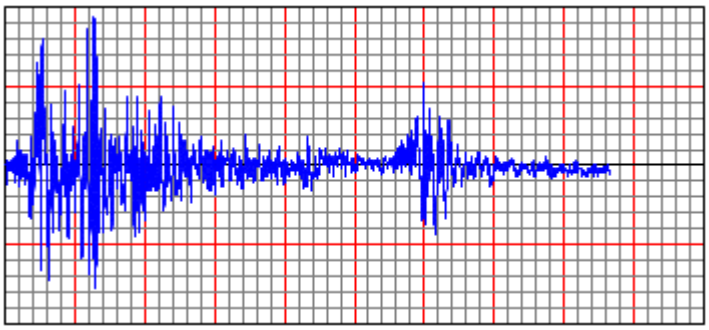
Yapının dinamik hesabında kullanılacak olan kütleler program tarafından dış yüklere göre hareketli yük azaltma katsayısıda dikkate alınarak belirlenmektedir. Taşıyıcı

sistem kütlesi ise program tarafından otomatik olarak hesaplanmaktadır. Bu nedenle kütleler ayrıca hesaplanmamıştır.

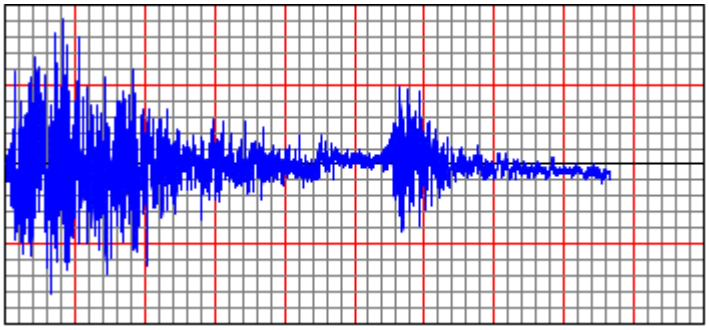
Zaman tanım alanlı hesap yöntemine göre hesap yapılırken; 17 Ağustos 1999 tarihinde İzmit Meteoroloji İstasyonunda bulunan ivme ölçer tarafından kaydedilen deprem ivme kayıtları kullanılacaktır. Bu ivme ölçerde kaydedilen kayıtlarda "L"(Kuzey-Güney), "T"(Doğu-Batı) ve "V"(Düşey) doğrultulardaki bileşenlere ait ivme değerleri yer almaktadır. Aşağıda hesaplarda kullanılacak deprem ivme kayıtlarına ait grafikler verilmiştir.



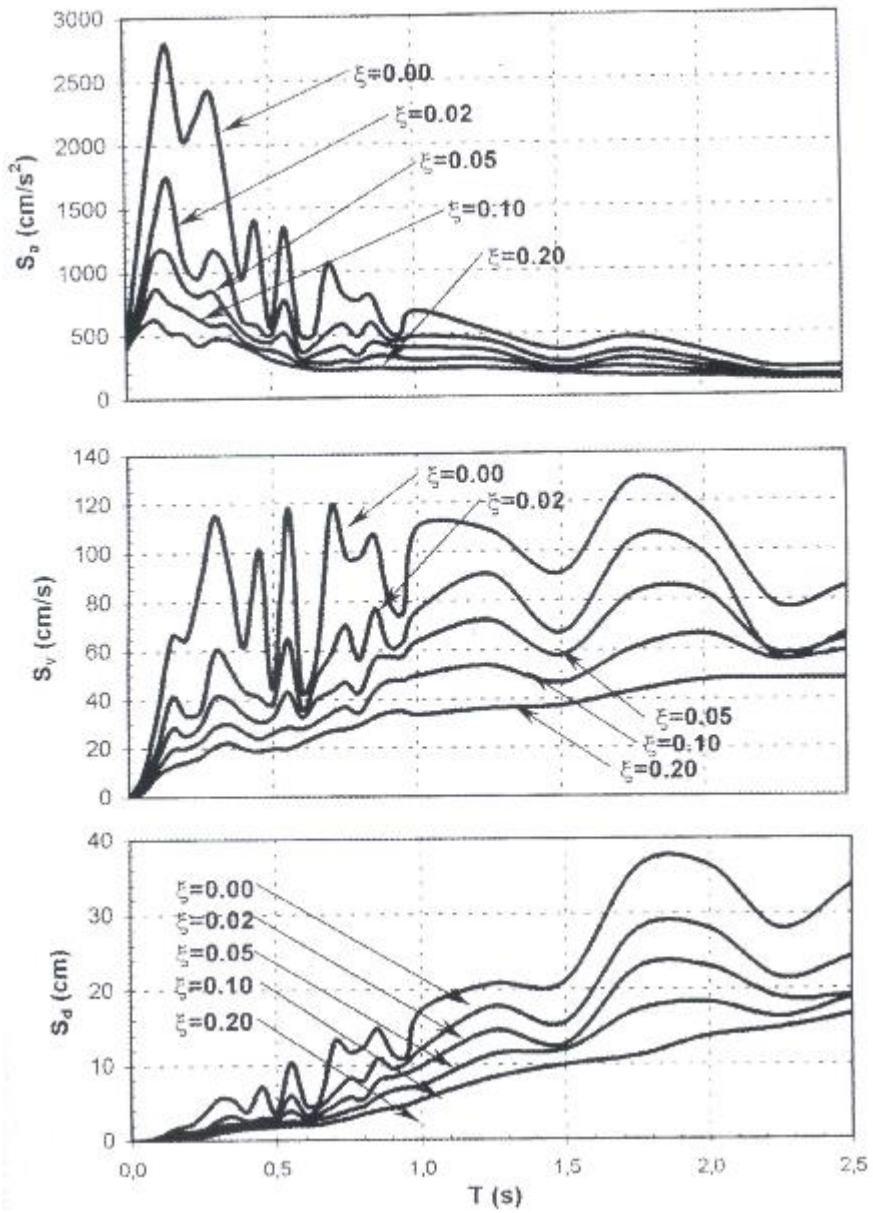
Şekil 4.6: +L Kuzey-Güney Yönü



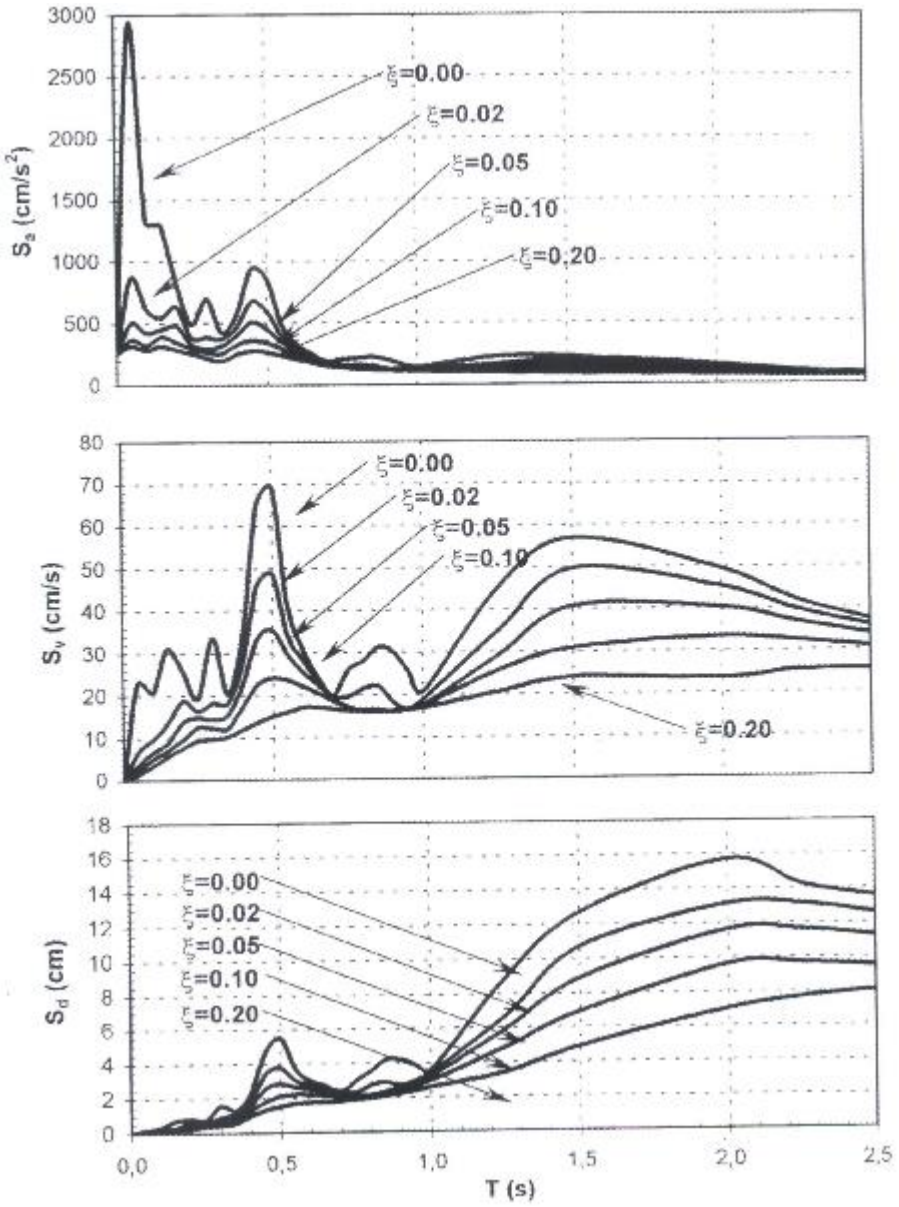
Şekil 4.7: +T Doğu-Batı Yönü



Şekil 4.8: +V Düşey Doğrultu



Şekil 4.9: +T Doğu-Batı Yönü $\xi = 0{,}00;\ 0{,}02;\ 0{,}05;\ 0{,}10;\ 0{,}20$ sönüm oranları için ivme, hız ve yerdeğiştirme spektrum eğrileri



Şekil 4.10: V Düşey bileşenin $\xi = 0{,}00;\ 0{,}02;\ 0{,}05;\ 0{,}10;\ 0{,}20$ sönüm oranları için ivme, hız ve yerdeğiştirme spektrum eğrileri

4.2 Aşık Hesabı

4.2.1 Aşık Kesitinin Tasarımı

Yük analizi:

Aşık açıklığı: $\lambda = \frac{57,0}{5} = 11,4\,\text{m}$ Aşık aralığı: $t = 4,167\,\text{m}$

$P_g = (g_k + g_a).t = (0,15 + 0,15).4,167 = 1,25\ \text{kN/m}$

$P_k = P_s.t = 0,75.4,167 = 3,125\ \text{kN/m}$

$W = 1,25(1,2.\text{Sin}\alpha.q).t = 1,25(1,2.\text{Sin}3,61.0,8).4,167 = 0,315\ \text{kN/m}$

Tasarım yükleri:

$P_g + P_k$

$q_{z,Sd} = (1,35.P_g + 1,5.P_k).\text{Cos}\alpha = (1,35.1,25 + 1,50.3,125).0,998 = 6,36\ \text{kN/m}$

$q_{x,Sd} = (1,35.P_g + 1,5.P_k).\text{Sin}\alpha = (1,35.1,25 + 1,50.3,125).0,063 = 0,40\ \text{kN/m}$

$P_g + P_k + W$

$q_{z,Sd} = 1,35.[W + (P_k + P_g)].\text{Cos}\alpha = 1,35[0,315 + (1,25 + 3,125).0,998] = 6,32\ \text{kN/m}$

$q_{x,Sd} = 1,35(P_g + P_k).\text{Sin}\alpha = 1,35(1,25 + 3,125).0,063 = 0,38\ \text{kN/m}$

Hesaplara göre P_g+P_k yüklemesindeki değerler daha büyüktür; bu nedenle boyutlandırma sözkonusu yüklemeye göre yapılacaktır.

Statik sistem ve kesit tesirleri:

Aşıklar beş açıklıklı sürekli kiriş olarak tasarlanmıştır.

$$M_{y,Sd} = \frac{q_{z.Sd}.(\lambda/Cos\alpha)^2}{16} = \frac{6,36.(11,4/0,998)^2}{16} = 51,87 \text{ kN.m}$$

$$V_{y,Sd} = \frac{q_{z.Sd}.(\lambda/Cos\alpha)}{2} = \frac{6,36.(11,4/0,998)}{2} = 36,32 \text{ kN}$$

$$N_{Sd} = \frac{q_{x.Sd}.(\lambda/Cos\alpha)}{2} = \frac{0,38.(11,4/0,998)}{2} = 2,19 \text{ kN}$$

Kesit: HE 220A

h = 210 mm b = 220 mm d = 152 mm t_w = 7 mm t_f = 11 mm r = 7 mm

$W_{y,pl}$ = 568,5 cm^3 $W_{z,pl}$ = 270,6 cm^3 A = 64,34 cm^2 I_y = 5410 cm^4 I_z = 1955 cm^4

I_t = 28,46 cm^4 I_w = 193,3.10^{-3} cm^6

Sınıflandırma: Fe360 $\rightarrow$ $\varepsilon = \left\{\frac{235}{235}\right\}^{1/2} = 1,0$

Başlık : $\frac{c}{t_f} = \frac{220}{2.11} = 10,0 \le 10.\varepsilon = 10,0 \rightarrow$ Sınıf 1

Gövde : $\frac{d}{t_w} = \frac{152}{7} = 21,71 \le 72.\varepsilon = 72,0 \rightarrow$ Sınıf 1 $\rightarrow$ tüm kesit Sınıf-1'e aittir.

Kesit dayanımı:

$$M_{y,pl,Rd} = \frac{W_{y,pl}.f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{568,5.23,5}{1,10} = 12145 \text{ kN.cm}$$

$$V_{y,pl,Rd} = \frac{A_v.f_y}{\sqrt{3}.\gamma_{M0}} = \frac{(1,04.h.t_w).f_y}{\sqrt{3}.\gamma_{M0}} = \frac{(1,04.210.7).235}{\sqrt{3}.1,10}.\frac{1}{1000} = 189 \text{ kN}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{Af_y}{\gamma_{M0}} = \frac{(64,34.100).235}{1,10}.\frac{1}{1000} = 1375 \text{ kN}$$

Gövdede buruşma kontrolü:

$$\frac{d}{t_w} = \frac{152}{7} = 21{,}71 \le 69.\varepsilon = 69{,}0 \rightarrow \text{gövdede buruşma kontrolüne gerek yoktur.}$$

Enkesit dayanım kontrolü:

$$V_{y,Sd} = 36{,}32\,kN < 0{,}5.V_{y,pl,Rd} = 0{,}5.189 = 94{,}5\,kN \text{ moment indirgenmez, } \rho = 0$$

$$N_{Sd} = 2{,}19\,kN < 0{,}25.N_{pl,Rd} = 0{,}25.1375 = 343{,}7\,kN \text{ yükün şiddeti küçük, } \eta = 0$$

$$< \frac{d.t_w.f_y}{2.\gamma_{M0}} = \frac{152.7.235}{2.1{,}10} = 113{,}7\,kN \text{ yükün şiddeti küçük, } \eta = 0$$

$$M_{N,V,Rd} = M_{y,pl,Rd} = 12145\,kN.cm$$

$$\frac{M_{y,Sd}}{M_{N,V,Rd}} = \frac{51{,}87}{121{,}45} = 0{,}43 < 1{,}0 \;\surd$$

Eğilmeli burkulma kontrolü:

$$\frac{h}{b} = \frac{210}{220} = 0{,}95 < 1{,}2 \rightarrow \text{ y – y eksenine dik burkulmada b eğrisi kullanılacak.}$$

$$t_f = 11 < 100mm \rightarrow \text{ z – z eksenine dik burkulmada c eğrisi kullanılacak.}$$

$$\lambda_1 = \pi.\sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi\sqrt{\frac{21000}{23{,}5}} = 93{,}91$$

y – y eksenine dik burkulma:

$$\lambda_{ky} = 1140\,cm \quad \lambda y = \frac{\lambda_{ky}}{\sqrt{I_y/F}} = \frac{1140}{\sqrt{5410/64{,}34}} = 124{,}32$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{124{,}32}{93{,}91} = 1{,}32 \rightarrow \alpha = 0{,}34$$

$$\phi = \frac{1}{2}\left[1+\alpha(\bar{\lambda}-0,2)+(\bar{\lambda})^2\right] = \frac{1}{2}\left[1+0,34(1,32-0,2)+(1,32)^2\right] = 1,57$$

$$\chi = \frac{1}{\phi+\sqrt{\phi^2-(\bar{\lambda})^2}} = \frac{1}{1,57+\sqrt{1,57^2-1,32^2}} = 0,4156 < 1,0$$

$z-z$ eksenine dik burkulma:

$$\lambda_{kz} = 1140\text{cm} \quad \lambda_z = \frac{\lambda_{kz}}{\sqrt{I_z/F}} = \frac{1140}{\sqrt{1955/64,34}} = 206,81$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{206,81}{93,91} = 2,20 \rightarrow \alpha = 0,49$$

$$\phi = \frac{1}{2}\left[1+\alpha(\bar{\lambda}-0,2)+(\bar{\lambda})^2\right] = \frac{1}{2}\left[1+0,49(2,20-0,2)+(2,20)^2\right] = 3,42$$

$$\chi = \frac{1}{\phi+\sqrt{\phi^2-(\bar{\lambda})^2}} = \frac{1}{3,42+\sqrt{3,42^2-2,20^2}} = 0,166 < 1,0$$

$$\chi_{min} = (0,4156;0,166)_{min} = 0,166$$

$k_y = 1,50$ alınmıştır.

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{min}.A.f_y/\gamma_{M1}} + \frac{k_y.M_{y,Sd}}{W_{y.pl}.f_y/\gamma_{M1}} = \frac{2,19}{0,166.1375} + \frac{1,5.51,87}{121,45} = 0,65 < 1,0 \quad \surd$$

Eğilmeli burulmalı burkulma kontrolü:

$k_{LT} = 1,0$ alınmıştır. $k = 1,0$; $k_w = 0,75$

$\psi = 1,0 \rightarrow C_1 = 1,0$; $\lambda_{LT} = 1,0.1140 = 1140\,\text{cm}$

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2.E.I_z}{l_{LT}^{\ 2}} \sqrt{\frac{(\frac{k}{k_w})^2.I_w + 0{,}039.l_{LT}^{\ 2}.I_t}{I_z}}$$

$$M_{cr} = \frac{\pi^2.21000.1955}{1140^2} \sqrt{\frac{(1{,}0/0{,}75)^2.193{,}3.10^{-3} + 0{,}039.1140^2.28{,}46}{1955}} = 8469\ \text{kN.cm}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{\pi^2.E.W_{y,pl}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{\pi^2.21000.568{,}5}{8469}} = 117{,}95$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{\lambda_{LT}}{\lambda_1} = \frac{117{,}95}{93{,}9} = 1{,}26 \rightarrow \alpha = 0{,}21 \text{ (a eğrisi)}$$

$$\phi = \frac{1}{2}\left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0{,}2) + (\bar{\lambda})^2\right] = \frac{1}{2}\left[1 + 0{,}21(1{,}26 - 0{,}2) + (1{,}26)^2\right] = 1{,}4$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} = \frac{1}{1{,}40 + \sqrt{1{,}40^2 - 1{,}26^2}} = 0{,}5 < 1{,}0$$

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_z.A.f_y/\gamma_{M1}} + \frac{k_{LT}.M_{y,Sd}}{\chi_{LT}.W_{y.pl}.f_y/\gamma_{M1}} = \frac{2{,}19}{0{,}166.1375} + \frac{1{,}00.51{,}87}{0{,}50.121{,}45} = 0{,}86 < 1{,}0 \quad \surd$$

Sehim kontrolü:

İşletme yükleri :

$$P_g + P_k \rightarrow q_{z,Sd} = (P_g + P_k).\text{Cos}\alpha = (1{,}25 + 3{,}125).0{,}998 = 4{,}37\ \text{kN/m}$$

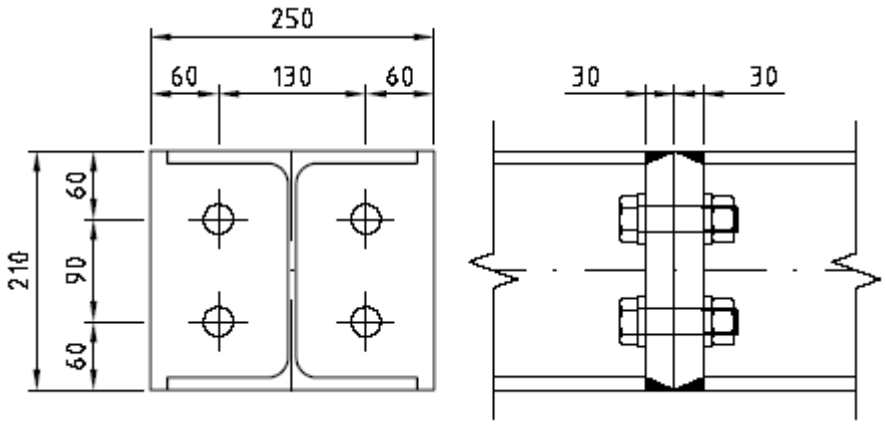
$$P_g + P_k + W \rightarrow q_{z,Sd} = 0{,}9W + (0{,}9P_k + P_g).\text{Cos}\alpha$$

$$= 0{,}9.0{,}315 + (0{,}9.3{,}125 + 1{,}25).0{,}998$$

$$= 4{,}34\ \text{kN/m}$$

$$\delta_{z.max} = \frac{1}{155}.\frac{q_{z,Sd}.L^4}{E.I_y} = \frac{1}{155}.\frac{4{,}37.10^{-2}.1140^4}{21000.5410} = 4{,}19\ \text{cm} < \frac{1140}{200} = 5{,}7\ \text{cm} \quad \surd$$

4.2.2 Aşık Ekinin Tasarımı



Şekil 4.11: Aşık eki detayı

Bulonlar: M24 (10.9, GV) $A_s = 3{,}53\,cm^2$ $D = 36\,mm$

$M_{Sd} = 5187\,kN.cm$ $V_{Sd} = 36{,}32\,kN$

$$I_w = (h - 2.t_w).\frac{t_w^{\,3}}{12} = (21 - 2.1{,}1).\frac{0{,}7^3}{12} = 0{,}54\,cm^4$$

$\frac{I_w}{I_y} = \frac{0{,}54}{5410} = 9{,}98.10^{-5} < 0{,}15$ olduğundan M_{Sd} birleşim momenti başlıklar tarafından aktarılır.

Bulonlarda kontrol:

$$h_s = e_1 + p_1 - t_f = 60 + 90 - 11 = 139\,mm$$

$$N = \frac{M_{Sd}}{h_s} = \frac{5187}{2.13{,}9} = 186{,}6\,kN < F_{p,Cd} = 0{,}7.f_{ub}.A_s = 0{,}7.100.3{,}53 = 247{,}1\,kN \quad \surd$$

$$V = \frac{V_{Sd}}{2} = \frac{36{,}32}{2} = 18{,}2\,kN$$

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s.n.\mu.F_{p,Cd}}{\gamma_{Ms}} = \frac{1{,}0.1{,}0.0{,}2.247{,}1}{1{,}25} = 39{,}54\,kN > V = 18{,}2\,kN \quad \surd$$

$$\alpha = \left(\frac{60}{3.26};\frac{90}{3.26}-\frac{1}{4};\frac{100}{36};1{,}0\right)_{min} = 0{,}769$$

$$F_{b,Rd} = 2{,}5.\alpha.f_u.d.t/\gamma_{Mb} = 2{,}5.0{,}775.36.2{,}4.2/1{,}25 = 267{,}84\,kN > V = 18{,}2\,kN\surd$$

Alın levhasında kontrol:

$$c_1 = e_1 - t_f - \left(\frac{D}{4}+\frac{t_{levha}}{2}\right) = 60-11-\left(\frac{36}{4}+\frac{30}{2}\right) = 25\,mm$$

$$c_2 = \frac{D}{2}+t_{lev} = \frac{36}{2}+30 = 48\,mm$$

$$k = \frac{2.(25+48)}{1{,}1.11{,}0} = 12{,}07 \qquad m = \frac{4.2.247{,}1.4{,}8}{1{,}1.\frac{23{,}5}{1{,}10}.22{,}0.1{,}10^2} = 15{,}17$$

$$Z_{Rd} = \frac{23{,}5}{1{,}10}.22{,}0.1{,}1.(-12{,}07+\sqrt{12{,}07^2+15{,}17\ \ +1}) = 337{,}2\,kN$$

$$Z_{Rd} = 337{,}2kN < \frac{23{,}5}{1{,}10.\sqrt{3}}.24{,}7.3{,}0 = 913{,}97\,kN\ \surd$$

$$\chi = 1-\left(\frac{337{,}2}{\frac{23{,}5}{1{,}25}.22{,}0.1{,}10}\right)^2 = 0{,}45 \quad M_{I,pl} = 1{,}1.\frac{23{,}5}{1{,}25}.\frac{22{,}0.1{,}10^2}{4}.0{,}45 = 61{,}9\,kN.cm$$

$$M_{II} = \frac{2.247{,}1-61{,}9/3{,}0}{1/3{,}0+1/4{,}8} = 874{,}3\,kN.cm$$

$$1{,}1.\frac{23{,}5}{1{,}10}(24{,}7-2.3{,}0).3{,}0^2/4 = 988{,}76\,kN.cm\ > M_{II} = 874{,}3\,kN.cm\ \surd$$

$$\frac{23{,}5}{1{,}1.\sqrt{3}}.24{,}7.3{,}0.4{,}8 = 4387{,}06\,kN.cm\ > M_{II} = 874{,}3\,kN.cm\ \surd$$

$$M_{S,Rd} = 316{,}7.(21-1{,}1) = 6302{,}33\ kN.cm > 5187\ kN.cm\ \surd$$

4.3 Tali Kiriş Hesabı

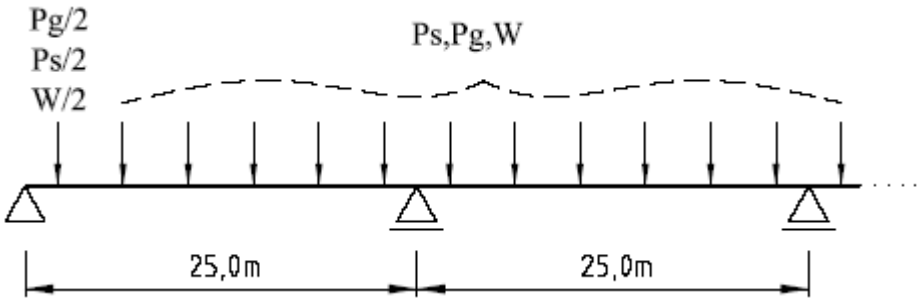
4.3.1 Kiriş Kesitinin Belirlenmesi

Yük analizi:

$$P_g = (0{,}15 + 0{,}15 + 0{,}05).4{,}167.11{,}4 = 16{,}62\,\text{kN}$$

$$P_S = 0{,}75.4{,}167.11{,}4 = 35{,}63\,\text{kN}$$

$$W = 1{,}2.0{,}06.0{,}8.4{,}167.11{,}4 / 0{,}998 = 2{,}75\,\text{kN}$$



Şekil 4.12: Tali kiriş statik sistemi

Statik sistem olarak çok açıklıklı sürekli kiriş seçilmiştir. Sistemin statik hesabında kullanılacak olan kombinasyonlar aşağıda açıklanmıştır.

A) Boyutlandırmada esas olan kombinasyonlar:

I) Sabit + Kar: $1{,}35G + 1{,}5P_S$ (Komb_1)

II) Sabit + Rüzgar: $1{,}35G + 1{,}5W$ (Komb_2)

III) Sabit + Kar + Rüzgar: $1{,}35G + 1{,}35P_S + 1{,}35W$ (Komb_3)

B) Sehimde esas olan kombinasyonlar:

I) Sabit + Kar: $G + P_S$ (Komb_4)

II) Sabit + Kar + Rüzgar: $G + 0{,}9(P_S + W)$ (Komb_5)

Kesit tesirleri ve deplasmanlar SAP2000 programı yardımı ile bulunmuştur. En olumsuz kesit tesirleri Komb_1'de meydana gelmiştir. Kesit bu kombinasyona göre boyutlandırılacaktır.

$M_{y,Sd} = 1407\,kN.m \qquad V_{y,Sd} = 321\,kN \qquad N_{Sd} = 0{,}0\,kN$

Kesit: HE 700B

h = 700 mm b = 300 mm d = 582 mm t_w = 17 mm t_f = 32 mm r = 27 mm

A = 306,4 cm^2 I_y = 256900 cm^4 I_z = 14440 cm^4 $W_{z,pl}$ = 1495 cm^3 $W_{y,pl}$ = 8327 cm^3

I_t = 830,9 cm^4 I_w = 16060.10^{-3} cm^6

Sınıflandırma: Fe510 $\rightarrow$ $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0{,}81$

Başlık : $\frac{c}{t_f} = \frac{300}{2.32} = 4{,}69 \le 10.\varepsilon = 8{,}1 \rightarrow$ Sınıf-1

Gövde : $\frac{d}{t_w} = \frac{582}{17} = 34{,}24 \le 72.\varepsilon = 58{,}58 \rightarrow$ Sınıf-1 $\rightarrow$ tüm kesit Sınıf-1'e aittir.

Kesit dayanımı:

$$M_{y,pl,Rd} = \frac{W_{y,pl}.f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{8327.35{,}5}{1{,}10} = 268735\,kN.cm$$

$$V_{y,pl,Rd} = \frac{A_v.f_y}{\sqrt{3}.\gamma_{M0}} = \frac{(1{,}04.h.t_w).f_y}{\sqrt{3}.\gamma_{M0}} = \frac{(1{,}04.700.17).355}{\sqrt{3}.1{,}10}.\frac{1}{1000} = 2306\,kN$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{Af_y}{\gamma_{M0}} = \frac{(306{,}4.100).355}{1{,}10}.\frac{1}{1000} = 9888{,}4\,kN$$

Gövdede buruşma kontrolü:

$\frac{d}{t_w} = \frac{582}{17} = 34{,}24 \le 69.\varepsilon = 56{,}14 \rightarrow$ gövdede buruşma kontrolüne gerek yoktur.

Enkesit dayanım kontrolü:

$V_{y,Sd} = 321\,kN < 0,5.V_{y,pl,Rd} = 0,5.2306 = 1153\,kN \rightarrow$ moment indirgenmez.

$M_{V,Rd} = M_{y,pl,Rd} = 268735\,kN.cm$

$$\frac{M_{y,Sd}}{M_{V,Rd}} = \frac{1407}{2687,35} = 0,52 < 1,00 \quad \surd$$

Eğilmeli burkulma kontrolü:

$\frac{h}{b} = \frac{700}{300} = 2,33 > 1,2 \rightarrow$ y-y eksenine dik burkulmada "a" eğrisi kullanılacak.

$t_f = 32 < 40\,mm \rightarrow$ z-z eksenine dik burkulmada "b" eğrisi kullanılacak.

$$\lambda_1 = \pi\sqrt{\frac{21000}{35,5} = 76,41}$$

y-y eksenine dik burkulma:

$$\lambda_{ky} = 2500cm\,;\ \lambda_y = \frac{2500}{\sqrt{256900/306,4}} = 86,34$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{86,34}{76,41} = 1,13 \rightarrow \ \alpha = 0,21$$

$$\phi = \frac{1}{2}\left[1 + 0,21(1,13 - 0,2) + (1,13)^2\right] = 1,24$$

$$\chi = \frac{1}{1,24 + \sqrt{1,24^2 - 1,13^2}} = 0,5757 < 1,0$$

z-z eksenine dik burkulma:

$$\lambda_{kz} = 416,7cm \ \ \lambda_z = \frac{\lambda_{kz}}{\sqrt{I_z/F}} = \frac{416,7}{\sqrt{14440/306,4}} = 60,69\,mm$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{60,69}{76,41} = 0,79 \rightarrow \alpha = 0,34$$

$$\phi = \frac{1}{2}\left[1 + 0,34(0,79 - 0,2) + (0,79)^2\right] = 0,92$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} = \frac{1}{0,92 + \sqrt{0,92^2 - 0,79^2}} = 0,7279 < 1,0$$

$$\chi_{min} = {}_{min}\left(0,5757;0,7279\right) = 0,5757$$

$k_y = 1,50$ alınmıştır.

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{min}.A.f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_y.M_{y,Sd}}{W_{y.pl}.f_y / \gamma_{M1}} = \frac{1,5.1407}{2687,35} = 0,79 < 1,0 \quad \surd$$

Eğilmeli burulmalı burkulma kontrolü:

$k_{LT} = 1,00$ alınmıştır. $k = 1,00$, $k_w = 1,00$

$\psi = 1,00 \rightarrow C_1 = 1,00$ $\lambda_{LT} = 1,00.4,167 = 4,167\,cm$

$$M_{cr} = \frac{\pi^2 21000.14440}{416,7^2}\sqrt{\frac{(1,0/0,75)^2 16060.10^{-3} + 0,039.416,7^2.830,9}{14440}}$$

$$M_{cr} = 40268\,kN.cm;\ \lambda_{LT} = \sqrt{\frac{\pi^2.21000.8327}{340268}} = 71,22$$

$$\lambda_{LT} = \frac{71,22}{76,41} = 0,93 \rightarrow \alpha = 0,21 \text{ (a eğrisi)}$$

$$\phi = \frac{1}{2}\left[1 + 0,21(0,93 - 0,2) + (0,93)^2\right] = 1,01$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} = \frac{1}{1,01 + \sqrt{1,01^2 - 0,93^2}} = 0,7125 < 1,0$$

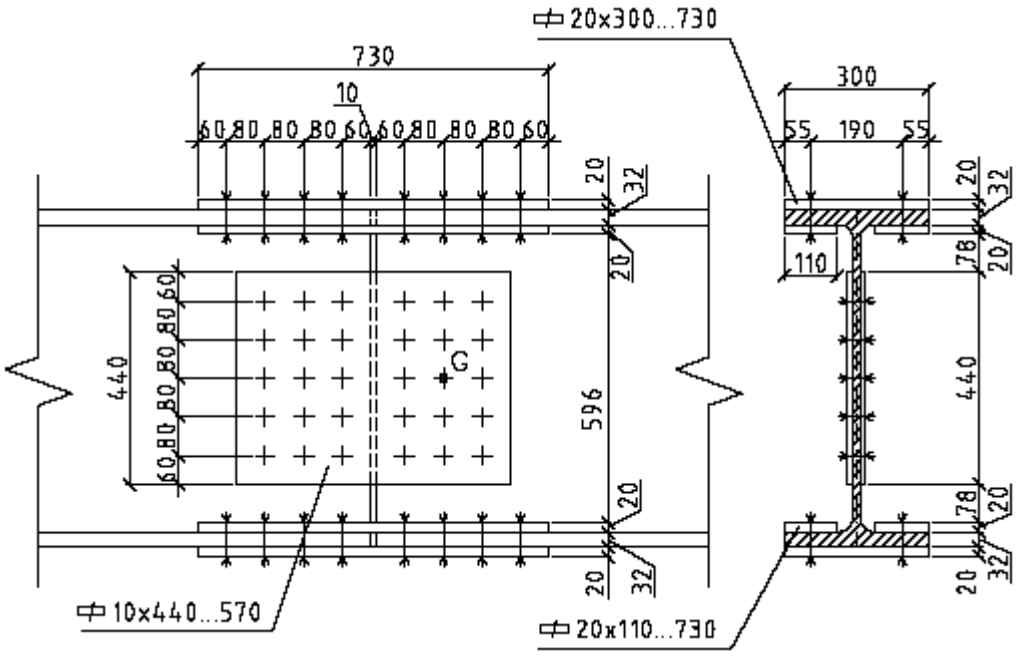
$$\frac{N_{Sd}}{\chi_z.A.f_y/\gamma_{M1}}+\frac{k_{LT}.M_{y,Sd}}{\chi_{LT}.W_{y.pl}.f_y/\gamma_{M1}}=\frac{1,00.1407}{0,7125.2687,35}=0,74<1,0\ \ \surd$$

Sehim kontrolü:

Maksimum sehim Komb_4'de meydana gelmiştir. Sehim bu kombinasyona göre kontrol edilecektir.

$$\delta_{z.max}=6,81\,cm<\frac{2500}{250}=10,0\,cm\ \ \surd$$

4.3.2 Bindirme Levhalı Kiriş Eki Tasarımı



Şekil 4.13: Tali kiriş eki

Bulonlar: M24 (başlıkta), M20 (gövdede) 10.9, SL ($\geq 0,5F_p$'lik hesapsız öngerme)

$M_{Sd}=1407\,kN.m \qquad V_{Sd}=321\,kN$

Başlık bulonlarında kontrol:

$$I_w=2.1.\frac{44^3}{12}=14197,3\,cm^4 \quad I_f=2.30.2.33,5^2+2.2.11.2.28,4^2=205647,3\,cm^4$$

$$\sum I=14197,3+205647,3=219844,6\,cm^4$$

$$M_f = M_{Sd}\frac{If}{I_f + I_w} = 1407\frac{205647,3}{219844,6} = 1316\,\text{kN.m}$$

$$Z = -D = 131600/(65 - 3,1) = 2126\,\text{kN}$$

Başlık bulonları çift etkili bulonlardır. Bir bulonda bir makaslama alanına gelen kuvvet:

$$F_{v,Sd} = 2126/(2.8) = 133\,\text{kN}$$

10.9 kalitesindeki M24 bulonu için makaslama alanının makaslama dayanım hesap değeri:

$F_{v,Rd}$ = 176,5/1,25 = 141,2 kN > 133kN √

20 mm'lik levha için delik cidarında ezilme dayanımı:

$$\alpha = \min\left(\frac{60}{3.26}, \frac{80}{3.26} - \frac{1}{4}, \frac{100}{51}, 1,0\right) = \min(0,77;\ 0,78;\ 1,96;\ 1,0) = 0,77$$

Başlık ek levhasında

$F_{b,Rk}$ = 2,5.0,77.51,0.2,4.2,0 = 471,3 kN; $F_{b,Rd}$ = 471,3/1,25 = 377,1 kN > 133 kN √

Profil başlığında

$F_{b,Rd}$ = 377,1.31/20 = 565,65 kN > 2126/8 = 266 kN √

Gövde bulonlarında kontrol:

$$M_w = M_{Sd}\frac{I_w}{I_f + I_w} = 1407\frac{14197,3}{219844,6} = 90,86\ \text{kN.m} = 9086\ \text{kN.cm}$$

$M_G = M_w + V_{Sd}.e$ = 9086 + 321.14,0 = 13580 kN.cm

$I_p = \sum_i y_i^2 + \sum_i z_i^2 = 2.5.8,0^2 + 2.3.(16,0^2 + 8,0^2) = 2560\ \text{cm}^2$

Bir bulona (en uzaktaki) gelen kuvvet:

$N_{H,M} = \frac{13580.16,0}{2560} = 85kN$; $N_{V,M} = \frac{13580.8,0}{2560} = 43$ kN; $N_{V,V} = \frac{V_{Sd}}{n} = \frac{321}{15} = 21,4$ kN

$N_R = \sqrt{(N_{V,M} + N_{V,V})^2 + N_{H,M}^2} = \sqrt{(43 + 21,4)^2 + 85^2} = 106,6$ kN

Gövde bulonları çift etkili bulonlardır; bir makaslama alanına gelen kuvvet:

$F_{v,Sd} = 106,6/2 = 53,3kN$

10.9 kalitesindeki M20 bulonu için makaslama alanının makaslama dayanım hesap değeri:

$F_{v,Rd} = 122,5/1,25 = 98,0$ kN > 53,3 kN √

10 mm'lik levha için delik cidarında ezilme dayanımı:

$\alpha = \min\left(\frac{60}{3.22}, \frac{80}{3.22} - \frac{1}{4}, \frac{100}{51}, 1,0\right) = \min(0,91; 0,96; 1,96; 1,0) = 0,91$

Gövde ek levhasında

$F_{b,Rk} = 2,5.0,91.51,0.2,0.1,0 = 232,05$ kN; $F_{b,Rd} = 232,05/1,25 = 185,64$ kN > 53,3kN √

Profil gövdesinde

$F_{b,Rd} = 185,64.16/10 = 297,02$ kN > 106,6 kN √

Başlık ek levhalarında kontrol:

Enkesit Sınıf-1'e aittir.

$Z_1 = \frac{11,0.2,0}{2.11,0.2,0 + 30,0.2,0}.2126 = 450$ kN; $Z_2 = 2126 - 2.450 = 1226$ kN

$A_{1,net} = (11,0 - 2,6).2,0 = 16,8cm^2$

$N_{1,t,Rd} \leq \begin{cases} 11,0.2,0.\frac{35,5}{1,10} = 710kN \\ 0,9.16,8.\frac{51,0}{1,25} = 616,9kN \end{cases} \rightarrow N_{1,t,Rd} = 616,9$ kN > 450kN √

$A_{2,net} = (30,0 - 2,2,6).2,0 = 49,6cm^2$

$$N_{2,t,Rd} \le \begin{cases} 30,0.2,0.\dfrac{35,5}{1,10} = 1936,4kN \\ 0,9.49,6.\dfrac{51,0}{1,25} = 1821,3kN \end{cases} \rightarrow N_{2,t,Rd} = 1821,3 \text{ kN} > 1226 \text{ kN} \quad \surd$$

Gövde ek levhalarında kontrol:

Enkesit Sınıf-1'e aittir.

$M_w = 90,86$ kN.m $V_{Sd} = 321$kN

$A_{3,net} = (44,0 - 5.2,2).1,0 = 33,0cm^2$

$\dfrac{2.33,0}{2.44,0.1,0} = 0,75 > \dfrac{35,5}{51,0} = 0,696$ olduğundan enkesit kesme kuvveti alanında indirgemeye gerek yoktur.

$$V_{pl,Rd} = \frac{2.44,0.1,0.51,0}{\sqrt{3}.1,10} = 2355,6 \text{ kN}$$

$V_w = 321$ kN $< 0,5.2355,6 = 1177,8$ kN olduğundan plastik moment dayanımının indirgenmesine gerek yoktur.

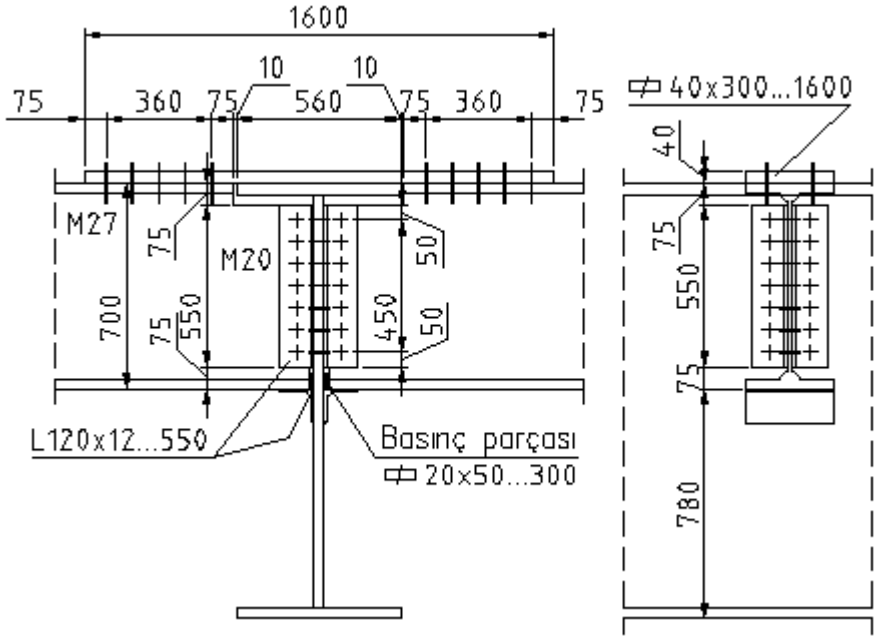
$$A_{t,net} = (\frac{44,0}{2} - 2,5.2,2).1,0 = 16,5 \text{ cm}^2$$

$0,9.\dfrac{2.16,5}{2.\dfrac{44,0}{2}.1,0} = 0,675 < \dfrac{35,5}{51,0}.\dfrac{1,25}{1,10} = 0,791$ olduğundan çekme bölgesinde enkesit zayıflaması gözönüne alınacaktır.

$M_{pl,Rd} = 2.[2.1,0.\dfrac{44,0}{2}.\dfrac{44,0}{4} - 2,2.1,0.(8,0+16,0)].\dfrac{35,5}{1,1} = 27832$ kNcm > 9086 kNcm $\surd$

4.3.3 Sürekli Kiriş Birleşimi Tasarımı

Sürekli kiriş birleşimleri 10.9 kaliteli bulonlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Burada tipik bir sürekli kiriş birleşimi boyutlandırılmıştır.



Şekil 4.14: Sürekli kiriş birleşimi

$$Z = \frac{140700}{70} = 2010\,\text{kN}$$

Başlık bulonları tek etkili olup bir makaslama alanına gelen kuvvet: $F_{v,Sd}$

$$F_{v,Sd} = \frac{2010}{2x6} = 167{,}5\,\text{kN}$$

Bir M27 bulonu için bir makaslama alanının makaslama dayanımı hesap değeri:

$$F_{v,Rd} = \frac{0{,}5x1000x459}{1{,}25x1000} = 183{,}6\text{kN} > 167{,}5\text{kN}\ \surd$$

40mm'lik levha için delik cidarında ezilme dayanımı hesap değeri;

$$\alpha = \left(\frac{90}{3x30}; \frac{90}{3x30} - \frac{1}{4}; \frac{100}{51}; 1{,}0\right)_{min} = 0{,}75 \text{ ile}$$

başlık ek levhasında;

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5x0,75x51,0x3,0x4,0}{1,25} = 918kN > 167,5kN \ \surd$$

ve profil başlığında

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5x0,75x51,0x3,0x3,2}{1,25} = 734kN > \frac{2010}{5x2} = 201kN \ \surd$$ olarak hesaplanır.

Başlık ek levhasında kontrol:

$$A_{1,net} = (30,0 - 2x3,0)x4,0 = 96cm^2$$

$$N_{1,t,Rd} = \begin{cases} 30,0x4,0x\dfrac{35,5}{1,10} = 3873kN \\ 0,9x96x\dfrac{51,0}{1,25} = 3525kN \end{cases}$$

$$N_{1,t,Rd} = 3525kN > 2010kN \ \surd$$

Tali kiriş gövde bulonlarında kontrol:

$$V_1 = \frac{321}{6} = 53,5\,kN$$

Gövde bulonları çift etkili olup bir makaslama alanına gelen kuvvet: $F_{v,Sd}$

$$F_{v,Sd} = \frac{321}{2x7} = 23\,kN$$

Bir M20 bulonu için bir makaslama alanının makaslama dayanımı hesap değeri:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,5x1000x245}{1,25x1000} = 98kN > 23kN \ \surd$$

Delik cidarında ezilme dayanımı hesap değeri;

$$\alpha = \left(\frac{50}{3x22}; \frac{75}{3x22} - \frac{1}{4}; \frac{100}{51}; 1,0 \right)_{min} = 0,76$$ ile

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5x0,76x51,0x2,0x1,2}{1,25} = 186kN > 53,5kN \ \surd$$

Korniyerde kontrol:

$$V_{Sd} = \frac{321}{2} = 160,5$$

$$A_v = 55x1,2 = 66cm^2, \ A_{v,net} = 55x1,2 - 7x1,2x2,2 = 47,52cm^2$$

$0,9x\frac{47,52}{66} = 0,65 = \frac{23,5}{36,0} = 0,65$ olduğundan enkesit zayıflaması dikkate alınmayacaktır.

$$V_{pl,Rd} = \frac{66x23,5}{\sqrt{3}x1,1}0814kN > 160,5kN \ \surd$$

Tali kiriş gövdesinde makaslama kopması dayanımı kontrolü:

$$a_1 = 50mm, \ a_2 = 50mm, \ a_3 = 125mm$$

$$L_v = 450mm, \ k = 0,5, \ d_{o,v} = d_{o,t} = 22mm$$

$$L_1 = a_1 = 50mm < 5x20 = 100mm, \ L_2 = (50 - 0,5x22)\frac{36,0}{23,5} = 60mm$$

$$L_3 = (450 + 50 + 125) = 625mm \le (450 + 50 + 125 - 7x122)\frac{36,0}{23,5} = 721mm$$

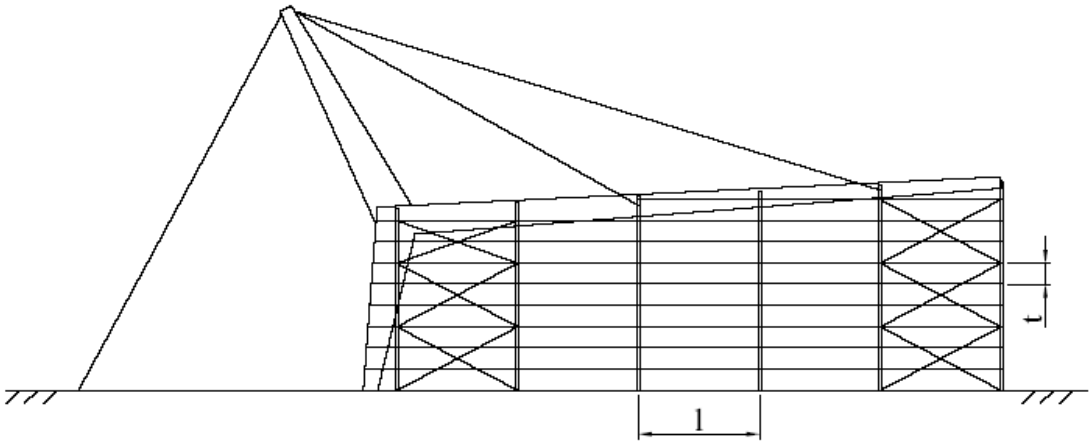
$$L_{v,eff} = 450 + 50 + 60 = 560mm < L_3 = 721mm, \ A_{v,eff} = 1,7x56,0 = 95,2cm^2$$

$$V_{eff,Rd} = \frac{95,2x23,5}{\sqrt{3}x1,10} = 1174kN < V_{Sd} = 160,5kN \ \surd$$

4.4 Kalkan Duvarın Boyutlandırılması

4.4.1 Kuşakların Tasarımı

Kalkan duvar kuşakları $\lambda/3$'lerden gergili, sürekli kiriş olarak tasarlanmıştır. Kalkan duvarın yüksek olması nedeniyle kuşaklara farklı rüzgar kuvvetleri etkimektedir. Kuşaklarda iki duruma göre ayrı ayrı hesap yapmak ve bunun sonucun da farklı iki kesit kullanmak yerine en elverişsiz rüzgar yüküne hesap yapılıp tek kesit seçilmiştir.



Şekil 4.15: Kalkan duvar

Yük analizi:

Dikme aralığı: $\lambda = 57,0/5 = 11,4\,\text{m}$ Kuşak aralığı: $t = 2,0\,\text{m}$

$g_{kus.} = 0,30\,\text{kN/m}$ $w = 0,80\,\text{kN/m}^2$

$W = 1,25.C.q.t = 1,25.0,80.0,80.2,0 = 1,60\,\text{kN/m}$

$P_g = g_{kus.} + g_{kap}.t = 0,30 + 0,15.2,0 = 0,60\,\text{kN/m}$

$q_{z,Sd} = 1,50.W = 2,4\,\text{kN/m}$ $q_{y,Sd} = 1,35.P_g = 0,81\,\text{kN/m}$

Kesit: UPN 200

$h = 200\,mm \quad t_w = 8{,}5\,mm \quad d = 151\,mm \quad I_y = 1910\,cm^4 \quad W_{y,pl} = 228\,cm^3$

$b = 75\,mm \quad t_f = 11{,}5\,mm \quad A = 32{,}2\,cm^2 \quad I_z = 148\,cm^4 \quad W_{z,pl} = 51{,}8\,cm^3$

$r_1 = 11{,}5\,mm \quad r_2 = 6{,}0\,mm \quad I_t = 11{,}9\,cm^4 \quad I_w = 9{,}07.10^{-3}\,cm^6 \quad G = 23{,}5\,kg/m$

Sınıflandırma: $Fe360 \rightarrow \varepsilon = \left\{\frac{235}{235}\right\}^{1/2} = 1{,}0$

Başlık : $\frac{c}{t_f} = \frac{70}{11{,}5} = 6{,}1 \le 10.\varepsilon = 10{,}0 \rightarrow$ Sınıf 1

Gövde : $\frac{d}{t_w} = \frac{151}{8{,}5} = 17{,}8 \le 72.\varepsilon = 72 \rightarrow$ Sınıf 1 $\rightarrow$ tüm kesit Sınıf 1'e aittir.

Kesit dayanımı:

$$M_{y,pl,Rd} = \frac{228.23{,}5}{1{,}10} = 4870\,kNcm \quad V_{y,pl,Rd} = \frac{(1{,}04.200.8{,}5).235}{\sqrt{3}.1{,}10.1000} = 218\ kN$$

$$M_{z,pl,Rd} = \frac{51{,}8.23{,}5}{1{,}10} = 1106\,kNcm$$

$$V_{z,pl,Rd} = \frac{[2.75.11{,}5 + (8{,}5 + 11{,}5).8{,}5].235}{\sqrt{3}.1{,}10.1000} = 233\,kN$$

Kesit tesirleri:

İç açıklıklarda:

$$M_{y,Sd} = \frac{2{,}4.11{,}4^2}{16} = 19{,}50\,kN.m \quad V_{y,Sd} = 0{,}5.11{,}4.2{,}4 = 13{,}68\,kN$$

$$M_{z,Sd} = \frac{0{,}81.(11{,}4/3)^2}{16} = 0{,}73\,kN.m \quad V_{z,Sd} = 0{,}5.0{,}81.11{,}4/3 = 1{,}14\,kN$$

Kenar açıklıklarda:

$$M_{y,Sd} = \frac{2,4.11,4^2}{11} = 28,35\,kN.m \quad M_{z,Sd} = \frac{0,81.(11,4/3)^2}{11} = 1,06\,kN.m$$

Enkesit dayanım kontrolü:

$$V_{y,Sd} = 13,68\,kN << 0,5.V_{y,pl,Rd} = 0,5.218 = 109\,kN \rightarrow \text{Moment indirgenmez.}$$

$$V_{z,Sd} = 1,14\,kN << 0,5.V_{z,pl,Rd} = 0,5.233 = 116,5\,kN \rightarrow \text{Moment indirgenmez.}$$

İç açıklıklarda:

$$\left(\frac{1950}{4870}\right)^2 + \left(\frac{73}{1106}\right)^1 = 0,23 < 1,00 \quad \surd$$

Kenar açıklıklarda:

$$\left(\frac{2835}{4870}\right)^2 + \left(\frac{106}{1106}\right)^1 = 0,44 < 1,00 \quad \surd$$

Sehim kontrolü:

Kullanma yükleri :

$$q_{z,Sd} = 0,9.W = 0,9.1,6 = 1,44\,kN/m$$

$$\delta_{z.max} = \frac{1}{k}.\frac{q_{z,Sd}.L^2}{EI} = \frac{1,44.10^{-2}.1140^4}{155.21000.1910} = 3,9\,cm \quad < \frac{1140}{250} = 4,56\,cm \quad \surd$$

Düşey yöndeki sehim gergilerin bulunması nedeniyle ihmal edilmiştir.

Gergi çubuklarının tasarımı:

$$\beta = \tan^{-1}[3,2/(11,4/3)] = 40,1^o$$

Kullanma yükleri :

$$\Sigma q_y.L_z = 0,81.5.11,4/3 = 15,4\,kN \qquad Z = \frac{15,4}{Sin\,40,1} = 23,9\,kN$$

Seçilen kesit: $\phi 16 \rightarrow F_{t,Rd} = 0{,}85.56{,}5/1{,}25 = 38{,}42 > 28{,}9\,kN$ √

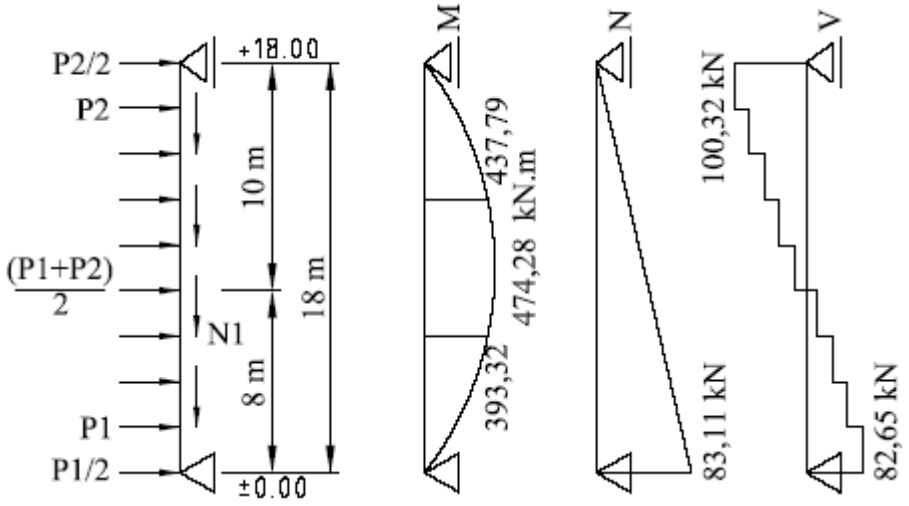
Eurocode'a göre standart dışı açılan dişlerde çekme dayanımı %15 azaltılır.

4.4.2 Dikmelerin Tasarımı

Kalkan duvar dikmeleri tali kirişlerle aynı eksene yerleştirilmiştir. Bunun sebebi dikmelerden gelen üst mesnet tepkisini çatı stabilite bağlantılarının düğüm noktası olan tali kiriş ile ana çerçeve kirişinin birleşim noktalarına aktarmaktır. Bu sayede çerçeve kirişinde zayıf eksen doğrultusunda moment oluşması engellenmiştir. Dikmeler alttan sabit üstten ise kayıcı olacak şekilde tasarlanmıştır. Dikmelerin yüksek olması nedeniyle fazla olan yanal burkulma boyunu azaltmak için, dikmeler belli noktalarından merkezi çapraz bağlantı elemanları ile tutulmuşturlar. Merkezi çapraz elemanlar tamamen ABYYHY'de belirtilen konstruktif kurallara göre boyutlandırılmıştır.

$$P_1 = 1{,}60.\frac{0{,}50}{0{,}80}.11{,}4 = 11{,}4\,kN \quad P_2 = 1{,}60.11{,}4 = 18{,}24\,kN$$

$$N_1 = 0{,}60.11{,}4 = 6{,}84 kN$$



Şekil 4.16: Kesit tesirleri

Kesit: HE 500 B

$h = 500\,mm \quad t_w = 14{,}5\,mm \quad d = 390\,mm \quad I_y = 107200\,cm^4 \quad W_{y,pl} = 4815\,cm^3$

$b = 300\,mm \quad t_f = 28\,mm \quad A = 238{,}6\,cm^2 \quad I_z = 12620\,cm^4 \quad W_{z,pl} = 1292\,cm^3$

$r = 27\,mm \quad I_t = 538{,}4\,cm^4 \quad I_w = 7018.10^{-3}\,cm^6 \quad G = 187\,kg/m$

Sınıflandırma: $Fe360 \rightarrow \varepsilon = \left\{\frac{235}{235}\right\}^{1/2} = 1{,}0$

Başlık : $\frac{c}{t_f} = \frac{150}{28} = 5{,}36 \le 10.\varepsilon = 10{,}0 \rightarrow$ Sınıf-1

Gövde : $\frac{d}{t_w} = \frac{390}{14{,}5} = 26{,}9 \le 72.\varepsilon = 72 \rightarrow$ Sınıf-1 $\rightarrow$ tüm kesit Sınıf-1'e aittir.

Kesit dayanımı:

$$M_{y,pl,Rd} = \frac{4815.23{,}5}{1{,}10} = 102866\,kN.cm$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{(1{,}04.500.14{,}5).235}{\sqrt{3}.1{,}10.1000} = 930\,kN$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{(238{,}6.100).235}{1{,}10.1000} = 5097{,}4\,kN$$

Kesit tesirleri SAP2000 programında hesaplanmıştır. En olumsuz değerler $1{,}35G + 1{,}5W$ kombinasyonunda oluşmuştur.

$M_{y,Sd} = 474{,}28\,kN.m \quad V_{y,Sd} = 100{,}3\ kN \quad N_{Sd} = 83{,}11 + 18.1{,}87 = 116{,}77\,kN$

Gövdede buruşma kontrolü:

$\frac{d}{t_w} = \frac{390}{14{,}5} = 26{,}9 \le 69.\varepsilon = 69 \rightarrow$ gövdede buruşma kontrolüne gerek yoktur.

Enkesit dayanım kontrolü:

$V_{y,Sd} = 100{,}3\,kN < 0{,}5.V_{y,pl,Rd} = 0{,}5.930 = 465\,kN \rightarrow$ moment indirgenmez.

$$M_{V,Rd} = M_{y,pl,Rd} = 102866\,kN.cm$$

$$\frac{M_{y,Sd}}{M_{V,Rd}} = \frac{47428}{102866} = 0,46 < 1,00 \ \surd$$

Eğilmeli burkulma kontrolü:

$\frac{h}{b} = \frac{500}{300} = 1,67 > 1,2 \rightarrow$ y-y eksenine dik burkulmada "a" eğrisi kullanılacak.

$t_f = 28\,mm < 40\,mm \rightarrow$ z-z eksenine dik burkulmada "b" eğrisi kullanılacak.

$$\lambda_1 = \pi\sqrt{\frac{21000}{23,5}} = 93,91$$

y-y eksenine dik burkulma:

$$\lambda_{ky} = 1800\,cm \quad \lambda_y = \frac{1800}{\sqrt{107200/238,6}} = 84,9$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{84,9}{93,91} = 0,9 \rightarrow \alpha = 0,21$$

$$\phi = \frac{1}{2}\left[1 + 0,21.(0,9 - 0,2) + (0,9)^2\right] = 0,98$$

$$\chi = \frac{1}{0,98 + \sqrt{0,98^2 - 0,9^2}} = 0,7311 < 1,0$$

z-z eksenine dik burkulma:

$$\lambda_{kz} = 600\,cm \quad \lambda_z = \frac{600}{\sqrt{12620/238,6}} = 82,5$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{82,5}{93,91} = 0,88 \rightarrow \alpha = 0,34$$

$$\phi = \frac{1}{2}\left[1 + 0,34(0,88 - 0,2) + (0,88)^2\right] = 1,0$$

$$\chi = \frac{1}{1{,}0 + \sqrt{1{,}0^2 - 0{,}88^2}} = 0{,}6780 < 1{,}0$$

$$\chi_{min} = \left(0{,}7311;\ 0{,}6780\right)_{min} = 0{,}6780$$

$k_y = 1{,}50$ alınmıştır.

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{min}.A.f_y/\gamma_{M1}} + \frac{k_y.M_{y,Sd}}{W_{y.pl}.f_y/\gamma_{M1}} = \frac{116{,}77}{0{,}6780.5097{,}4} + \frac{1{,}5.47428}{102866} = 0{,}73 < 1{,}0 \ \surd$$

Eğilmeli burulmalı burkulma kontrolü:

$k_{LT} = 1{,}00$ alınmıştır. $\quad k = k_w = 1{,}0$

$\psi = 39332/47428 \rightarrow C_1 = 1{,}1 \quad \lambda_{LT} = 1{,}0.600 = 600\,cm$

$$M_{cr} = \frac{\pi^2.21000.12620}{600^2}\sqrt{\frac{(1{,}0/1{,}0)^2.7018.10^{-3} + 0{,}039.600^2.538{,}4}{12620}} = 177821\,kN.cm$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{\pi^2.21000.4815}{177821}} = 74{,}9$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{74{,}9}{93{,}91} = 0{,}80 \ \rightarrow \ \alpha = 0{,}21 \text{ (a eğrisi)}$$

$$\phi = \frac{1}{2}\left[1 + 0{,}21(0{,}80 - 0{,}2) + (0{,}80)^2\right] = 0{,}88$$

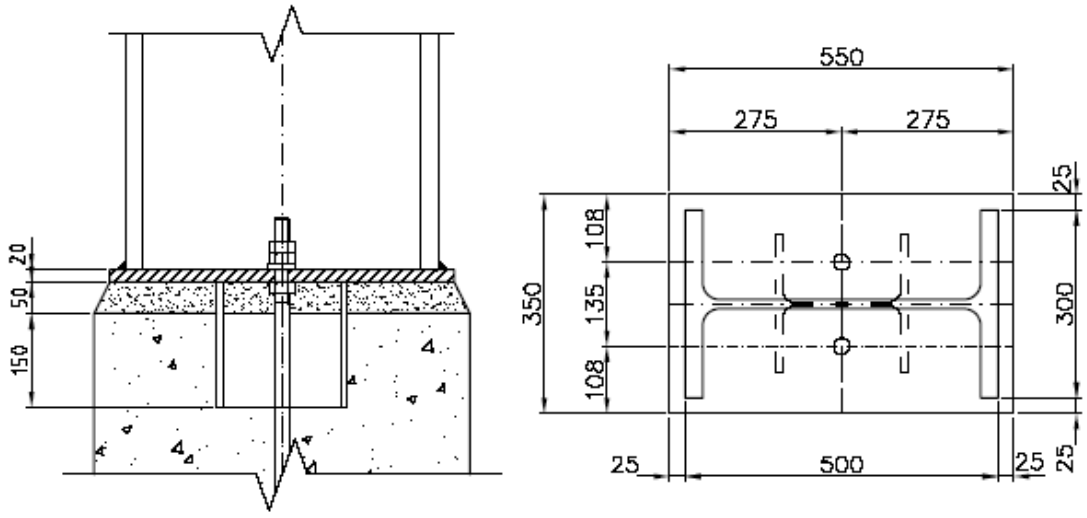
$$\chi = \frac{1}{0{,}88 + \sqrt{0{,}88^2 - 0{,}80^2}} = 0{,}8022 < 1{,}0$$

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_z.A.f_y/\gamma_{M1}} + \frac{k_{LT}.M_{y,Sd}}{\chi_{LT}.W_{y.pl}.f_y/\gamma_{M1}} = \frac{116{,}77}{0{,}678.5097{,}4} + \frac{1{,}0.47428}{0{,}8022.102866} = 0{,}61 < 1{,}0 \ \surd$$

Sehim kontrolü:

$$\delta_{z.max} = 4{,}6\,cm < \frac{1800}{250} = 7{,}2\,cm \ \surd$$

Dikme ayağı tasarımı:



Şekil 4.17: Dikme ayağı

Dikmeyi taban levhasına bağlayan kaynakların kontrolü:

$$f_w = \frac{f_u}{\sqrt{3}.\beta_w.\gamma_{Mw}} = \frac{36,0}{\sqrt{3}.0,8.1,25} = 20,8\,kN/cm^2$$

$$\sigma_{w,f} = \frac{N_{Sd}}{A}.t_f.\frac{1}{2.a_f} = \frac{116,77}{236,8}.2,8.\frac{1}{2.0,3} = 2,3\,kN/cm^2 < 20,8\,kN/cm^2 \;\surd$$

$$\left.\begin{aligned}\sigma_{w,w} &= \frac{N_{Sd}}{A}t_w\frac{1}{2a_w} = \frac{116,77}{236,8}1,45\frac{1}{2.0,3} = 1,2\\ \tau_{w,w} &= \frac{V_{Sd}}{2a_w d} = \frac{100,3}{2.0,3.39,0} = 4,3\end{aligned}\right\} \sigma_{w,r} = \sqrt{\sigma_{w,w}{}^2 + \tau_{w,w}{}^2}$$

$$\sigma_{w,r} = \sqrt{1,2^2 + 4,3^2} = 4,5 < 20,8\,kN/cm^2 \;\surd$$

Taban levhası temas yüzeyi alanı (çıkmalar ihmal edilmiştir) hesabı:

$$A_{eff} = b.h = 50.30 = 1500\,cm^2$$

Beton basınç gerilmesi tasarım değeri:

$$\sigma_c = \frac{N_{Sd}}{A_{eff}} \le f_{cd} = \frac{116,77}{1500} = 0,08 < 1,67\,kN/cm^2 \;\surd\,(C25)$$

Taban levhası kalınlığının belirlenmesi:

$\frac{b}{2h} = 0,30 \rightarrow m_e = 8,1$ (üç kenarından mesnetli bir plağın moment katsayısı)

$$t_p \geq \sqrt{\frac{3.N_{Sd}}{m_e.f_y/\gamma_{M0}}} = \sqrt{\frac{3.116,77}{8,1.23,5/1,10}} = 1,42\,cm \rightarrow t_p = 20\,mm$$

Kama elemanı olarak farklı malzeme kullanmamak için aşık profili olarak kullanılan HE 220A profili kullanılmıştır.

Beton basınç gerilmesi tasarım değeri:

$$\sigma_c = \frac{V_{Sd}}{A} \leq f_{cd} = \frac{100,3}{22.15} = 0,30 < 1,67\,kN/cm^2 \quad \surd \text{ (C25)}$$

Profilde kontrol:

$$M = 0,30.22.15^2/2 = 743\,kN.cm << M_{y,pl,Rd} = 12145\,kN.cm \quad \surd$$

Kamayı taban levhasına bağlayan kaynaklarda kontrol:

$$I_w = 2.0,4.\frac{(15-2.0,4)^3}{12} + 2.0,4.22.10,5^2 = 2131\,cm^4,$$

$$A_w = 2.0,4.(15-2.0,4) = 11,36\,cm^2$$

$$M = 100,3.20/2 = 1003\,kN.cm$$

$$\sigma_{w,f} = \frac{1003}{2131}.(\frac{21}{2} + 0,4) = 5,1\,kN/cm^2 < 20,8\,kN/cm^2 \quad \surd$$

$$\tau_{w,w} = \frac{100,3}{11,36} = 8,8 < 20,8\,kN/cm^2 \quad \surd$$

Stabilite bağlantı elemanlarının tasarımı; seçilen kesit: ϕ165,1x6,0 $i = 5,73\,cm$

$$L = \sqrt{6,0^2 + 11,4^2} = 12,88\,m \quad \lambda = \frac{1288}{5,62} = 229 \leq 250 \quad \surd$$

4.5 Yan Duvarın Boyutlandırılması

Yan duvar kuşakları $\lambda/3$'lerden gergili, sürekli kiriş olarak tasarlanacaktır. Yan duvarın yüksek olması nedeniyle kuşaklara farklı rüzgar kuvvetleri etkimektedir. Kalkan duvarda olduğu gibi kuşaklarda farklı iki kesit kullanmak yerine en elverişsiz rüzgar yüküne hesap yapılıp tek kesit seçilmiştir.

Yük analizi:

Dikme aralığı: $\lambda = 25{,}0\,\text{m}$ Kuşak aralığı: $t = 2{,}0\,\text{m}$

$g_{kus.} = 0{,}72\,\text{kN/m}$ $w = 0{,}80\,\text{kN/m}^2$

$W = 1{,}25.C.q.t = 1{,}25.0{,}80.0{,}80.2{,}0 = 1{,}60\,\text{kN/m}$

$P_g = g_{kus.} + g_{kap}.t = 0{,}75 + 0{,}15.2{,}0 = 1{,}05\,\text{kN/m}$

$q_{z,Sd} = 1{,}50.W = 2{,}4\,\text{kN/m}$ $q_{y,Sd} = 1{,}35.P_g = 1{,}42\,\text{kN/m}$

Kesit: UPN 400

$h = 400\,\text{mm}$ $t_w = 14\,\text{mm}$ $d = 324\,\text{mm}$ $I_y = 20350\,\text{cm}^4$ $W_{y,pl} = 1240\,\text{cm}^3$

$b = 110\,\text{mm}$ $t_f = 18\,\text{mm}$ $A = 91{,}5\,\text{cm}^2$ $I_z = 846\,\text{cm}^4$ $W_{z,pl} = 190\,\text{cm}^3$

$r_1 = 18\,\text{mm}$ $r_2 = 9\,\text{mm}$ $I_t = 81{,}6\,\text{cm}^4$ $I_w = 221.10^{-3}\,\text{cm}^6$ $G = 71{,}8\,\text{kg/m}$

Sınıflandırma: $\text{Fe360} \rightarrow \varepsilon = \left\{\frac{235}{235}\right\}^{1/2} = 1{,}0$

Başlık : $\frac{c}{t_f} = \frac{110}{18} = 6{,}11 \le 10.\varepsilon = 10{,}0 \rightarrow \text{Sınıf } 1$

Gövde : $\frac{d}{t_w} = \frac{324}{14} = 23{,}1 \le 72.\varepsilon = 72 \rightarrow$ Sınıf 1 $\rightarrow$ tüm kesit Sınıf 1'e aittir.

Kesit dayanımı:

$$M_{y,pl,Rd} = \frac{1240.23{,}5}{1{,}1} = 26490\,\text{kNcm} \quad V_{y,pl,Rd} = \frac{(1{,}04.400.14).235}{\sqrt{3}.1{,}1.1000} = 718\ \text{kN}$$

$$M_{z,pl,Rd} = \frac{190.23{,}5}{1{,}1} = 4060\,\text{kNcm}$$

$$V_{z,pl,Rd} = \frac{[2.110.18 + (14+18).14].235}{\sqrt{3}.1{,}1.1000} = 544\,\text{kN}$$

Kesit tesirleri:

İç açıklıklarda:

$$M_{y,Sd} = \frac{2{,}4.25^2}{16} = 93{,}75\,\text{kN.m} \quad V_{y,Sd} = 0{,}5.25.2{,}4 = 30\,\text{kN}$$

$$M_{z,Sd} = \frac{1{,}42.(25/3)^2}{16} = 6{,}2\ \text{kN.m} \quad V_{z,Sd} = 0{,}5.1{,}42.25/3 = 5{,}92\,\text{kN}$$

Kenar açıklıklarda:

$$M_{y,Sd} = \frac{2{,}4.25^2}{11} = 136{,}4\ \text{kN.m} \quad M_{z,Sd} = \frac{1{,}42.(25/3)^2}{11} = 9{,}0\,\text{kN.m}$$

Enkesit dayanım kontrolü:

$V_{y,Sd} = 30\ \text{kN} << 0{,}5.V_{y,pl,Rd} = 0{,}5.718 = 359\,\text{kN} \rightarrow$ Moment indirgenmez.

$V_{z,Sd} = 5{,}92\,\text{kN} << 0{,}5.V_{z,pl,Rd} = 0{,}5.544 = 272\,\text{kN} \rightarrow$ Moment indirgenmez.

İç açıklıklarda:

$$\left(\frac{9375}{26490}\right)^2 + \left(\frac{620}{4060}\right)^1 = 0{,}28 < 1{,}00 \ \surd$$

Kenar açıklıklarda:

$$\left(\frac{13640}{26490}\right)^2+\left(\frac{900}{4060}\right)^1=0,49<1,00\ \surd$$

Sehim kontrolü:

Kullanma yükleri :

$$q_{z,Sd}=0,9.W=0,9.1,6=1,44\,kN/m$$

$$\delta_{z.max}=\frac{1}{k}.\frac{q_{z,Sd}.L^2}{EI}=\frac{1,44.10^{-2}.2500^4}{155.21000.20350}=8,49\,cm$$

$$\delta_{y.max}=\frac{1}{k}.\frac{q_{y,Sd}.(L/3)^2}{EI}=\frac{1,05.10^{-2}.(2500/3)^4}{155.21000.846}=1,83\,cm$$

$$\delta_{max}=\sqrt{8,49^2+1,83^2}=8,68\,cm<\frac{2500}{250}=10,0\,cm\ \surd$$

Gergi çubuklarının tasarımı:

$$\beta=\tan^{-1}[3,2/(25/3)]=21^o$$

Kullanma yükleri :

$$\Sigma q_y.L_z=1,05.5.25/3=43,75\,kN \qquad Z=\frac{43,75}{Sin\,21}=122,1\,kN$$

Seçilen kesit: $\phi 30 \rightarrow F_{t,Rd}=0,85.202=171,7>122,1 kN\ \surd$

Eurocode'a göre standart dışı açılan dişlerde çekme dayanımı %15 azaltılır.

4.6 Kapı Makasının Boyutlandırılması

Hangar giriş kapılarına kılavuzluk eden ray sistemini taşıması, kapıdan gelen rüzgarı yapıya aktarması ve ana makasların birlikte hareketini sağlaması için ana makasın uç tarafına kapı makası yerleştirilmiştir. Kafes sistemler konsol makasa rijit şekilde bağlanmıştır. Kapı makasının olduğu kısma ayrıca tali kiriş konmamış olup kapı makasının aşıklara mesnet etmeside sağlanmıştır. Kapı makası aynı zamanda düşey zati ve kar yükleri ile yatay rüzgar kuvvetlerini taşıyabilecek şekilde tasarlanmıştır.

Statik sistem olarak üç boyutlu kafes sistem seçilmiştir. Tüm sistem 150m. boyunca sürekli olacak şekilde hesaplanmıştır. İmalat ve montaj kolaylığı açısından kapı makası 25'er metrelik modüller halinde tasarlanmıştır. Eleman birleşimleri tamamen atelye kaynaklı olarak yapılmıştır. Eleman ekleri ise montaj için bulonlu olarak teşkil edilmiştir. Ayrıca malzeme tasarrufu açısından da mümkün mertebe aynı profiller kullanılmıştır. Kafes sistemde profil olarak üst ve alt başlıklarda HE160A, dikme ve diyagonallerde HE120A, eğik elemanlarda ise L60x6 korniyerler kullanılmıştır. Sözkonusu profiller Fe360 malzemeden imal edilmiştir.

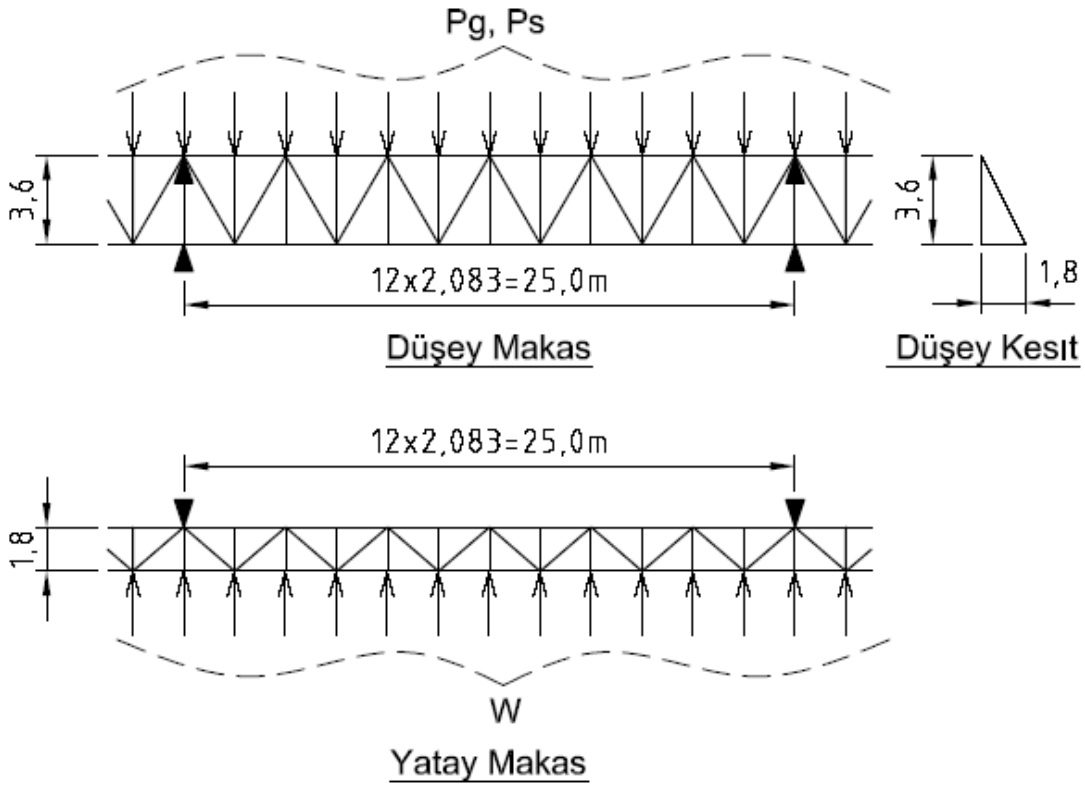
Sisteme ait statik tesirler bilgisayar programında bulunmuştur. Eleman özağırlıkları program tarafından otomatik olarak alınmaktadır.

Yük analizi:

$$W = 7{,}35x25/12 = 15{,}31\,\text{kN}$$

$$P_g = (0{,}15 + 0{,}15 + 0{,}05).4{,}167.11{,}4/2 = 8{,}31\ \text{kN}$$

$$P_S = 0{,}75.4{,}167.11{,}4/2 = 17{,}823\,\text{kN}$$



Şekil 4.18: Kapı makası statik sistemi

Sistemin statik hesabında kullanılacak olan kombinasyonlar aşağıda açıklanmıştır.

A) Boyutlandırmada esas olan kombinasyonlar:

I) Sabit + Kar: $1,35G + 1,5P_S$ (Komb_1)

II) Sabit + Rüzgar: $1,35G + 1,5W$ (Komb_2)

III) Sabit + Kar + Rüzgar: $1,35G + 1,35P_S + 1,35W$ (Komb_3)

B) Sehimde esas olan kombinasyonlar:

I) Sabit + Kar: $G + P_S$ (Komb_4)

II) Sabit + Kar + Rüzgar: $G + 0,9(P_S + W)$ (Komb_5)

Yukarıda açıklanan kombinasyonlara göre elemanlarda oluşan en olumsuz kesit tesirleri:

üst başlıkta;

maksimum çekme kuvveti: $N_{Sd} = 130kN$ (Komb_3)

maksimum basınç kuvveti: $N_{Sd} = 86kN$ (Komb_1)

alt başlıkta;

maksimum çekme kuvveti: $N_{Sd} = 346,6kN$ (Komb_2)

maksimum basınç kuvveti: $N_{Sd} = 398kN$ (Komb_3)

düşey dikmelerde;

maksimum çekme kuvveti: $N_{Sd} = 3,0kN$ (Komb_1)

maksimum basınç kuvveti: $N_{Sd} = 73kN$ (Komb_3)

düşey diyagonallerde;

maksimum çekme kuvveti: $N_{Sd} = 200kN$ (Komb_1)

maksimum basınç kuvveti: $N_{Sd} = 152kN$ (Komb_1)

yatay diyagonallerde;

maksimum çekme kuvveti: $N_{Sd} = 199kN$ (Komb_2)

maksimum basınç kuvveti: $N_{Sd} = 236kN$ (Komb_2)

yatay dikmelerde;

maksimum çekme kuvveti: $N_{Sd} \cong 0kN$

maksimum basınç kuvveti: $N_{Sd} = 24kN$ (Komb_2)

eğik elemanlarda;

maksimum çekme kuvveti: $N_{Sd} \cong 2,6kN$ (Komb_1)

maksimum basınç kuvveti: $N_{Sd} \cong 0kN$ şeklinde oluşmuştur.

HE160A profilinde kontrol:

$h = 152mm \quad b = 160mm \quad d = 104mm \quad t_w = 6,0mm \quad t_f = 9,0mm \quad A = 38,77cm^2$

$i_y = 6,57cm \;\; i_z = 3,98cm$

$N_{Sd,max} = 346,6kN$ en büyük çekme kuvvetine göre kontrol edilecek olursa;

$N_{t,Rd} = 38,77x\dfrac{23,5}{1,10} = 828kN > N_{Sd} = 346,6kN$ kesit yeterlidir.

$N_{Sd,max} = 398kN$ en büyük basınç kuvvetine göre kontrol edilecek olursa;

Enkesit sınıflandırlması:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{235} = 1,0}$$

Gövde kısmı: $\dfrac{d}{t_w} = \dfrac{104}{6} = 17,38 < 33.1,0 = 33$ → Sınıf-1

Başlık kısmı: $\dfrac{c}{t_f} = \dfrac{80}{9} = 8,9 < 10.1,0 = 10$ → Sınıf-1, tüm enkesit Sınıf-1'e aittir.

Yanal burkulma kontrolü:

$\dfrac{h}{b} = \dfrac{152}{160} = 0,95 < 1,2$ → $y - y$ ekseni etrafında "b" burkulma eğrisi

$t_f = 9,0mm < 100$ → $z - z$ ekseni etrafında "c" burkulma eğrisi kullanılacak.

$y - y$ ekseni etrafında burkulma; $\beta_y = 1,0$

$$\lambda_y = \frac{1,0x208}{6,57} = 31,7 \; ; \; \lambda_1 = \pi\sqrt{\frac{210000}{235} = 93,9} \rightarrow \bar{\lambda}y = \frac{31,7}{93,9} = 0,34$$

$$\phi = \frac{1}{2}\left[1 + 0,34(0,34 - 0,2) + 0,34^2\right] = 0,58$$

$$\chi_y = \frac{1}{0,58 + \sqrt{0,58^2 - 0,34^2}} = 0,952$$

$z-z$ ekseni etrafında burkulma; $\beta_y = 1,0$

$$\lambda_z = \frac{1,0x208}{3,98} = 52,3 \quad \bar{\lambda}_z = \frac{52,3}{93,9} = 0,56$$

$$\phi = \frac{1}{2}\left[1 + 0,34(0,56 - 0,2) + 0,56^2\right] = 0,72$$

$$\chi_y = \frac{1}{0,72 + \sqrt{0,72^2 - 0,56^2}} = 0,853 \rightarrow \chi = (0,952;0,853)_{min} = 0,853$$

$N_{Sd,max} = 398kN < 0,853x828 = 706kN$ kesit yeterlidir.

HE120A profilinde kontrol:

$h = 114mm \quad b = 120mm \quad d = 74mm \quad t_w = 5,0mm \quad t_f = 8,0mm \quad A = 25,34cm^2$

$i_y = 4,89cm \quad i_z = 3,02cm$

$N_{Sd,max} = 200kN$ en büyük çekme kuvvetine göre kontrol edilecek olursa;

$N_{t,Rd} = 25,34x\frac{23,5}{1,10} = 541kN > N_{Sd} = 200kN$ kesit yeterlidir.

$N_{Sd,max} = 236kN$ en büyük basınç kuvvetine göre kontrol edilecek olursa;

Enkesit sınıflandırlması:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{235} = 1,0}$$

Gövde kısmı: $\frac{d}{t_w} = \frac{74}{5} = 14,8 < 33.1,0 = 33 \rightarrow$ Sınıf-1

Başlık kısmı: $\frac{c}{t_f} = \frac{60}{8} = 7,5 < 10.1,0 = 10 \rightarrow$ Sınıf-1, tüm enkesit Sınıf-1'e aittir.

Yanal burkulma kontrolü:

$\frac{h}{b} = \frac{114}{120} = 0,95 < 1,2$ → $y - y$ ekseni etrafında "b" burkulma eğrisi

$t_f = 8,0mm < 100$ → $z - z$ ekseni etrafında "c" burkulma eğrisi kullanılacak.

$y - y$ ekseni etrafında burkulma; $\beta_y = 1,0$

$\lambda_y = \frac{1,0x360}{4,89} = 73,6$; $\lambda_1 = \pi\sqrt{\frac{210000}{235}} = 93,9$ → $\bar{\lambda}y = \frac{73,6}{93,9} = 0,78$

$\phi = \frac{1}{2}\left[1 + 0,34(0,78 - 0,2) + 0,78^2\right] = 0,9$

$\chi_y = \frac{1}{0,9 + \sqrt{0,9^2 - 0,78^2}} = 0,741$

$z - z$ ekseni etrafında burkulma; $\beta_y = 1,0$

$\lambda_z = \frac{1,0x30}{3,02} = 119$ $\bar{\lambda}_z = \frac{119}{93,9} = 1,27$

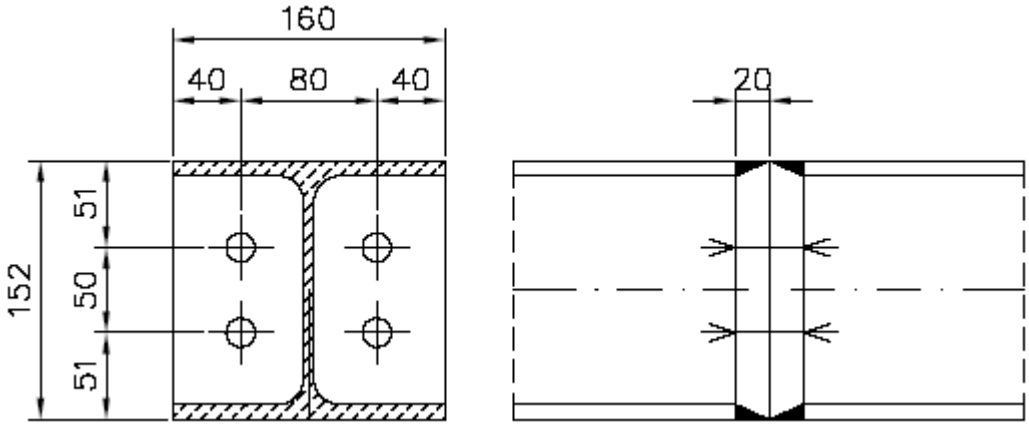
$\phi = \frac{1}{2}\left[1 + 0,34(1,27 - 0,2) + 1,27^2\right] = 1,49$

$\chi_y = \frac{1}{1,49 + \sqrt{1,49^2 - 1,27^2}} = 0,45$ → $\chi = (0,741;0,45)_{min} = 0,853$

$N_{Sd,max} = 236kN < 0,45x541 = 243kN$ kesit yeterlidir.

L60x6 korniyer elemanlarda eksenel yükün şiddetinin küçük olması nedeniyle kontrole gerek yoktur.

Alt ve üst başlık ekinin tasarımı:



Şekil 4.19: Alt ve üst başlık eki

10.9 kalitedeki M16 bulonlarda kontrol:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9x1000x157}{1,25x1000} = 113,0kN$$

$$\sum F_{t,Rd} = 4x113 = 452kN < N_{Sd,max} = 346,6kN \ \surd$$

Sistemde sehim kontrolü:

$$\delta_{max} = 2,9cm < \frac{2500}{250} = 10cm \ \surd$$

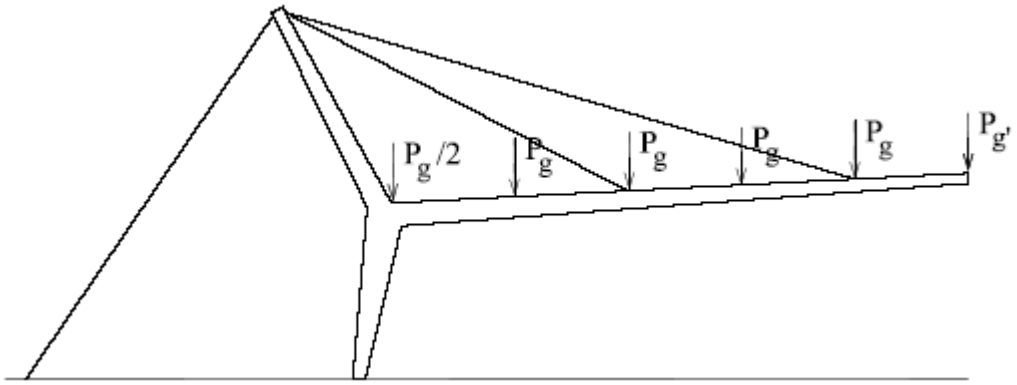
4.7 Ana Makasın Boyutlandırılması

4.7.1 Yük Analizi

Özağırlık yüklemesi Şekil 4.18'de gösterildiği gibidir.

$$P_g = (0{,}15+0{,}15+0{,}05+0{,}20)x11{,}4x25 = 156{,}75kN,\ P_g/2 = 78{,}375\,kN$$

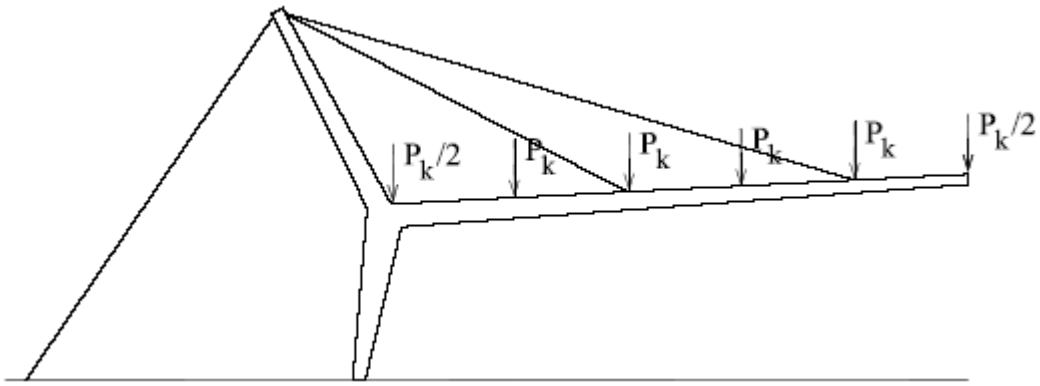
$$P_g^{'} = (0{,}15+0{,}15+0{,}05)x\frac{11{,}4}{2}x25 + 0{,}60x25 = 93{,}375\ kN$$



Şekil 4.20: Özağırlık yükleri

Kar yüklemesi Şekil 4.19'de gösterildiği gibidir.

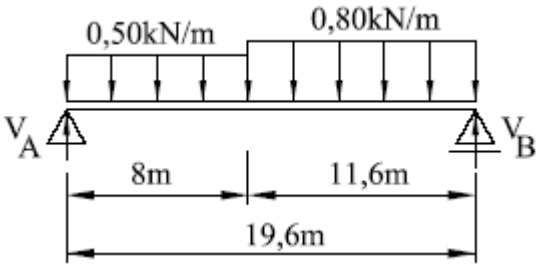
$$P_k = 0{,}75x11{,}4x25 = 213{,}75kN,\ P_k/2 = 106{,}875\,kN$$



Şekil 4.21: Kar yükleri

Rüzgar:

Kapının kapalı olması durumunda rüzgar yükü için birim boyda hesap yapılarak toplam tesir bulunacaktır. Birim boy için statik sistem Şekil 4.20'de gösterilmiştir.

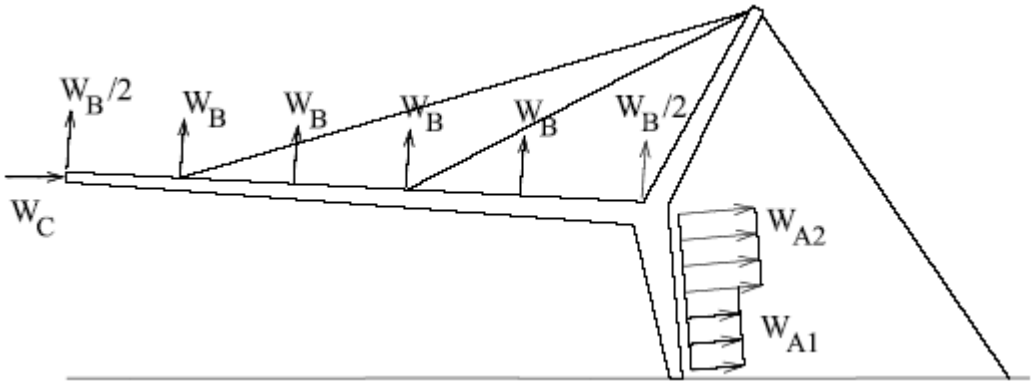


Şekil 4.22: Kapı rüzgar yüklemesi

$$\Sigma F_y = 0 \rightarrow V_A + V_B = 0{,}50.8 + 0{,}80.11{,}6 = 13{,}28\,\text{kN}$$

$$\Sigma M_A = 0 \rightarrow V_B = \frac{0{,}50.8^2/2 + 0{,}80.11{,}6.(11{,}6/2+8)}{19{,}6} = 7{,}35\,\text{kN};\ V_A = 5{,}93\,\text{kN}$$

Rüzgar yüklerinin değerleri kapı ve rüzgar yönüne bağlı olarak ayrı ayrı hesaplanmıştır. Genel olarak rüzgar yükleri Şekil 4.21'de gösterilmiştir.



Şekil 4.23: Rüzgar yükleri

Kapının kapalı ve rüzgarın soldan etkimesi durumunda rüzgar yükleri:

$$W_C = 0{,}8.5{,}93.25 = 118{,}6\,\text{kN}$$

$$W_{A1} = -0{,}4.0{,}50.25 = -5{,}0\,\text{kN/m};\quad W_{A2} = -0{,}4.0{,}80.25 = -8{,}0\,\text{kN/m}$$

$W_B = -0,4.0,80.25.11,4 = -91,2\,kN$

Kapının kapalı ve rüzgarın sağdan etkimesi durumunda rüzgar yükleri:

$W_C = -0,4.5,93.25 = 59,3\,kN$

$W_{A1} = 0,8.0,50.25 = 10,0\,kN/m;\quad W_{A2} = 0,8.0,80.25 = 16,0\,kN/m$

$W_B = -0,32.0,80.25.11,4 = -72,96\,kN$

Kapının açık ve rüzgarın soldan etkimesi durumu rüzgar yükleri:

$W_{A1} = -1,2.0,50.25 = -15,0\,kN/m;\quad W_{A2} = -1,2.0,80.25 = -24,0\,kN/m$

$W_B = -1,2.0,80.25.11,4 = -273,6\,kN$

Kapının açık ve rüzgarın sağdan etkimesi durumu rüzgar yükleri:

$W_{A1} = 1,2.0,50.25 = 15,0\,kN/m;\quad W_{A2} = 1,2.0,80.25 = 24,0\,kN/m$

$W_B = -0,72.0,80.25.11,4 = 164,2\,kN$

4.7.2 Kombinasyonlar

Sistemin statik hesabında kullanılacak olan kombinasyonlar boyutlandırma ve sehime göre aşağıdaki gibi düzenlenmiştir.

A) Boyutlandırmada esas olan kombinasyonlar:

I) Sabit + Kar: $1,35G + 1,5P_S$ (Komb_1)

II) Sabit + Rüzgar

a. Rüzgar sol ve kapı kapalı: $1,35G + 1,5W_{1a}$ (Komb_2)

b. Rüzgar sağ ve kapı açık: $1,35G + 1,5W_{1b}$ (Komb_3)

c. Rüzgar sol ve kapı kapalı: $1,35G + 1,5W_{1c}$ (Komb_4)

d. Rüzgar sağ ve kapı açık: $1,35G + 1,5W_{1d}$ (Komb_5)

III) Sabit + Kar + Rüzgar:

a. Rüzgar sol ve kapı açık: $1,35G + 1,35P_S + 1,35W_{1a}$ (Komb_6)

b. Rüzgar sol ve kapı kapalı: $1,35G + 1,35P_S + 1,35W_{1b}$ (Komb_7)

c. Rüzgar sağ ve kapı açık: $1,35G + 1,35P_S + 1,35W_{1c}$ (Komb_8)

d. Rüzgar solda ve kapı kapalı: $1,35G + 1,35P_S + 1,35W_{1d}$ (Komb_9)

IV) Sabit + Kar + Deprem

a. Mod Birleştirme Yöntemi

i. X yönünde deprem: $G + P_S$ + Spek_X (Komb_10)

ii. Y yönünde deprem: $G + P_S$ + Spek_Y (Komb_11)

b. Zaman tanım alanında ivme yöntemi

i. X yönünde deprem

1. $G + P_S$ + L_X (Komb_12)

2. $G + P_S$ + T_X (Komb_13)

ii. Y yönünde deprem

1. $G + P_S$ + L_Y (Komb_14)

2. $G + P_S$ + T_Y (Komb_15)

iii. Düşey yönde deprem: $G + P_S$ + V (Komb_16)

V) Kombinasyonların zarfı: (Max_Tesir)

B) Sehimde esas olan kombinasyonlar:

I) Sabit + Kar: $G + P_S$ (Komb_17)

II) Sabit + Kar + Rüzgar

a. Rüzgar sol ve kapı kapalı: $G + 0,9(P_S + W_{1a})$ (Komb_18)

b. Rüzgar sağ ve kapı açık: $G + 0,9(P_S + W_{1b})$ (Komb_19)

c. Rüzgar sol ve kapı kapalı: G + 0,9(P_S + W_{1c}) (Komb_20)

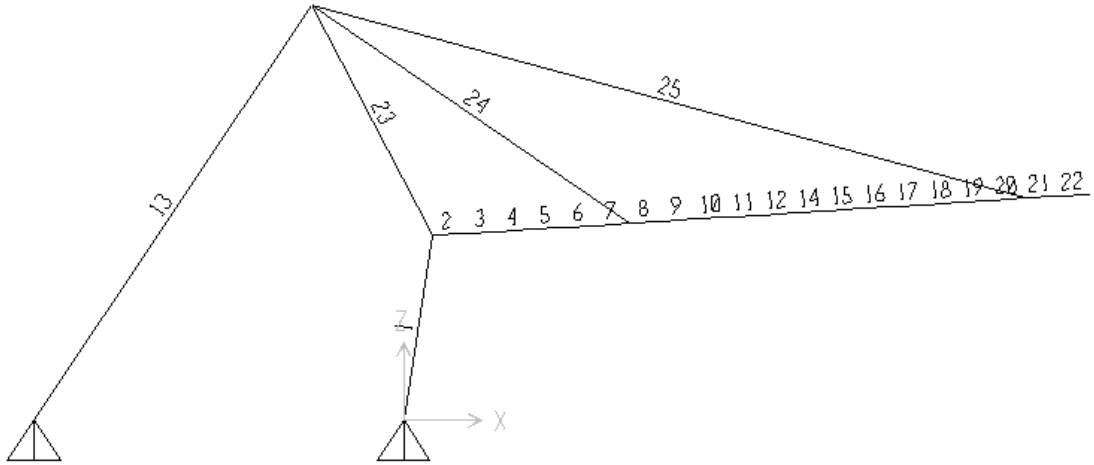
d. Rüzgar sağ ve kapı açık: G + 0,9(P_S + W_{1d}) (Komb_21)

III) Komb_10; ... ; Komb_16

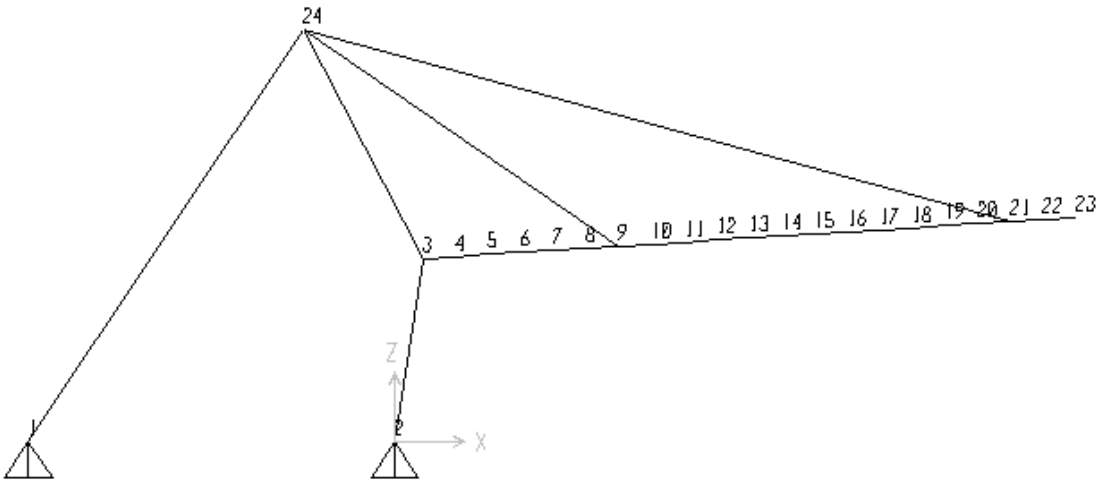
IV) Kombinasyoların zarfı: (Max_Sehim)

4.7.3 Kesit Tesirleri

Ana makas iki ve üç boyutlu olarak modellenmiştir; boyutlandırma iki boyutlu sisteme göre yapılacaktır. Aşağıda boyutlandırmada kullanılan modele ait bilgiler Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'de, en elverişsiz değerlerin oluştuğu Komb_9 kombinasyonuna ait kesit tesirleri diyagramları Tablo 4.1'de ve mesnet reaksiyonları değerleri ise Şekil 4.24'de verilmiştir. Kesitler ve ilgili detaylar bu değerlere göre boyutlandırılacaktır.



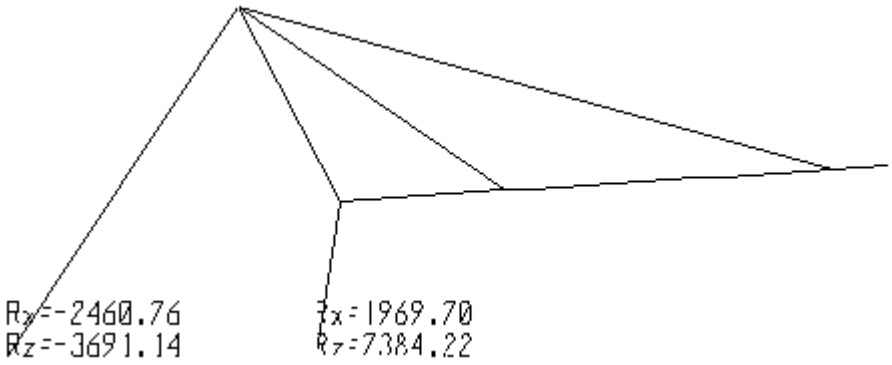
Şekil 4.24: Modeldeki eleman numaraları



Şekil 4.25: Modeldeki düğüm noktası numaraları

Tablo 4.1: Komb_9 kesit tesirleri

TABLE: Element Forces - Frames									
Frame	**Station**	**P**	**V2**	**M3**	**Frame**	**Station**	**P**	**V2**	**M3**
Text	m	KN	KN	KN-m	Text	m	KN	KN	KN-m
1	0.0	-7600	806	0	13	43.3	4436	0	0
1	16.2	**-7600**	**1232**	**-16108**	14	0.0	-2362	-1046	-6619
2	0.0	**-2932**	**-2091**	**-57390**	14	2.9	-2362	-1046	-3632
2	2.9	-2932	-2091	-51418	15	0.0	-2330	-325	-3632
3	0.0	-2932	-2091	-51418	15	2.9	-2330	-325	-2702
3	2.9	-2932	-2091	-45446	16	0.0	-2330	-325	-2702
4	0.0	-2932	-2091	-45446	16	2.9	-2330	-325	-1773
4	2.9	-2932	-2091	-39474	17	0.0	-2330	-325	-1773
5	0.0	-2932	-2091	-39474	17	2.9	-2330	-325	-844
5	2.9	-2932	-2091	-33502	18	0.0	-2330	-325	-844
6	0.0	-2900	-1370	-33502	18	2.9	-2330	-325	85
6	2.9	-2900	-1370	-29589	19	0.0	-2298	395	85
7	0.0	-2900	-1370	-29589	19	2.9	-2298	395	-1045
7	2.9	-2900	-1370	-25675	20	0.0	-2298	395	-1045
8	0.0	-2393	-1767	-25675	20	2.9	-2298	395	-2174
8	2.9	-2393	-1767	-20629	21	0.0	-17	-381	-2174
9	0.0	-2393	-1767	-20629	21	2.9	-17	-381	-1087
9	2.9	-2393	-1767	-15583	22	0.0	-17	-381	-1087
10	0.0	-2362	-1046	-15582	22	2.9	-17	-381	0
10	2.9	-2362	-1046	-12595	23	0.0	-4333	-1828	-41281
11	0.0	-2362	-1046	-12595	23	22.6	-4333	-1828	0
11	2.9	-2362	-1046	-9607	24	0.0	644	0	0
12	0.0	-2362	-1046	-9607	24	33.5	**644**	0	0
12	2.9	-2362	-1046	-6619	25	0.0	2410	0	0
13	0.0	**4436**	0	0	25	64.0	**2410**	0	0
Not: Kalın karakterde yazılan değerler boyutlandırmada kullanılan değerlerdir.									



Şekil 4.26: Komb_9 mesnet tepkileri

4.7.4 Kirişin Boyutlandırılması

4.7.4.1 Kesitin Belirlenmesi

Kesit tesirleri en elverişsiz değerlerin elde edildiği Komb_9'dan ($1,35G + 1,35P_S + 1,35W_{1d}$) alınmıştır.

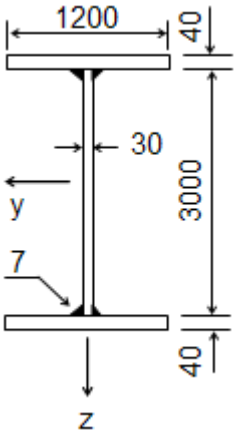
Eğilme momenti tasarım değeri (y-y): $M_{y,Sd} = 57390\,kN.m$

Yanal doğrultuda tutulu noktalardaki momentin küçük değeri: $M_{1,y,Sd} = 51418\,kN.m$

Kesme kuvveti tasarım değeri: $V_{y,Sd} = 2091\,kN$

Normal kuvvet tasarım değeri: $N_{Sd} = 2932\,kN$

Kesit özellikleri:



Malzeme: Fe510 → $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$

$$A = \frac{2x40x1200 + 30x3000}{100} = 1860\,cm^2$$

$$I_y = \frac{2x\left[1200x\frac{40^3}{12} + 1200x40x(\frac{3000+80}{2})^2\right] + 30x\frac{3000^3}{12}}{10000} = 28931120\,cm^4$$

$$W_{y,pl} = \frac{\frac{30x3080^2}{4} + (1200-30)x(3080-40)x40}{1000} = 213420\,cm^3$$

$$W_{y,el} = \frac{2x28931120}{3080/10} = 187864\,cm^3$$

$$I_z = \frac{\frac{1}{12}x\left[2x40x1200^3 + (3080 - 2x40)x30^3\right]}{10000} = 1152675\,cm^4$$

$$W_{z,pl} = \frac{\frac{1200^2 x40}{2} + \frac{3080 - 2x40}{4}x30^2}{1000} = 29475\,cm^3$$

$$W_{z,el} = \frac{2x1152675}{1200/10} = 19211\,cm^3$$

$$i_y = \sqrt{\frac{28931120}{1860}} = 124,7\,cm;\ i_z = \sqrt{\frac{115267528931120}{1860}} = 24,9\ cm$$

$$I_t = \frac{\frac{2}{3}x(1200 - 0,63x40)x40^3 + \frac{1}{3}x(3080 - 2x40)x30^3 + 0,290x\frac{30}{40}x(\frac{\frac{30^2}{4} + 40^2}{40})^4}{10000} = 78067cm^4$$

$$I_w = \frac{40x1200^3 x(3080 - 40)^2}{1000000} = 26615808.10^{-3}\,cm^6$$

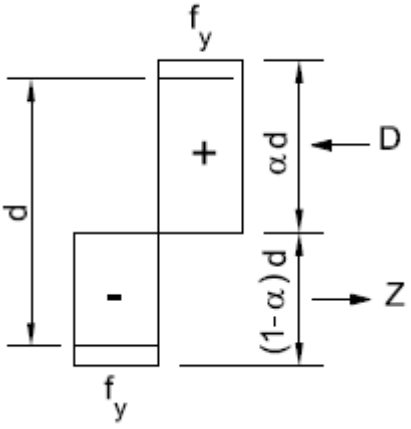
Kesitin Sınıflandırılması:

$$N_{pl,Rd} = \frac{1860x355}{1,1x10} = 60027\ kN\ \ \frac{N_{Sd}}{N_{pl,Rd}} = \frac{2932}{60027} = 0,05$$

Başlığın sınıflandırılması: Başlık üniform basınca maruzdur.

$$\frac{c}{t_f} = \frac{\frac{1200 - 30}{2} - 7\sqrt{2}}{40} = \frac{575}{40} = 14,4 > 14.\varepsilon = 14.0,81 = 11,34$$ → Başlık Sınıf-4'e aittir.

Gövdenin sınıflandırılması: Bir plastik gerilme dağılımında gövdenin Sınıf-1 ve Sınıf-2'ye ait olup olmadığı kontrolü:



$$N = D - Z$$

$$0,05.A.f_y = (A_f + \alpha.d.t_w).f_y - \left[A_f + (1-\alpha).d.t_w\right]f_y$$

$$0,05.A.f_y = (2.\alpha. - 1)d.t_w f_y;$$

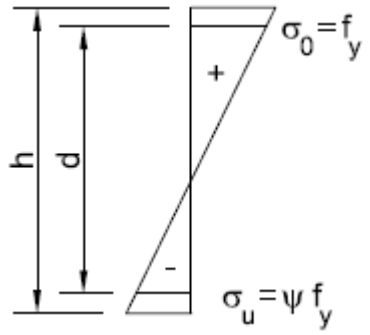
$$d = 3000 - 2x7x\sqrt{2} = 2980\,mm$$

$$\alpha = \frac{0,05A}{2.d.t_w} + \frac{1}{2} = \frac{0,05x1860x100}{2.2980.30} + \frac{1}{2} = 0,55 > 0,50$$

$$\frac{d}{t_w}=\frac{2980}{30}=99,3>\frac{396x0,81}{13x0,55-1}=52,2 \rightarrow \text{Sınıf-1'e ait değildir.}$$

$$\frac{d}{t_w}=\frac{2980}{30}=99,3>\frac{456x0,81}{13x0,55-1}=60,1 \rightarrow \text{Sınıf-2'ye ait değildir.}$$

Elastik gerilme dağılımında gövdenin Sınıf-3 ve Sınıf-4'e ait olup olmadığı araştırılırsa;



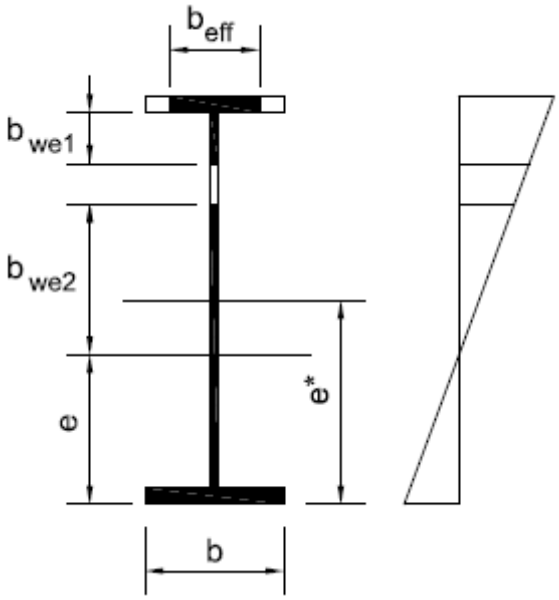
$$\frac{N_{Sd}}{N_{pl,Rd}}=\frac{2932}{60027}=0,05\,;\ \sigma=\frac{N}{A}+\frac{M}{I}z$$

$$\sigma_0=0,05f_y+\frac{M}{I}z=f_y \rightarrow \frac{M}{I}z=0,95f_y$$

$$\sigma_u=0,05f_y-\frac{M}{I}z=0,05f_y-0,95f_y=-0,90f_y$$

$$\psi=\frac{-0,90f_y}{f_y}=-0,90\,;\ \frac{d}{t_w}=\frac{2980}{30}=99,3>\frac{42x0,81}{0,67+0,33(-0,90)}=91,2$$

→ Enkesit Sınıf-4'e aittir.



Başlığın etkili genişliğinin bulunması:

Başlık üniform basınç gerilmesine maruzdur, dolayısıyla $\psi=+1$ ve buruşma değeri $k_\sigma=0,43$ olur.

Başlık levhasının narinliği:

$$\bar{\lambda}_p=\frac{14,4}{28,4.0,81\sqrt{0,43}}=0,95>0,673$$

$$\rho=\frac{0,95-0,22}{0,95^2}=0,81$$

$$\rightarrow b'_{eff}=\rho.c=0,81x575=466\,mm$$

Başlığın toplam etkili genişliği $b_{eff}=2x466+30+2x7\sqrt{2}=982$ mm olur.

Gövdede gerilme dağılışı:

Gövdenin etkili genişliğinin tayini için basınç başlığının etkili alanı ve gövdenin brüt alanı esas alınır.

$$e^{*} = \frac{982x40x(3080 - \frac{40}{2}) + 3000x30x\frac{3080}{2} + 1200x40x\frac{40}{2}}{1200x40 + 3000x30 + 982x40} = 1465\,mm$$

$$\psi = -\frac{1465 - 40}{3000 - (1465 - 40)} = -0,90 \rightarrow$$

$$k_{\sigma} = 7,81 - 6,29x(-0,90) + 9,78x(-0,90)^{2} = 21,4 \quad \bar{\lambda}_{p} = \frac{\frac{300 - 2x0,7\sqrt{2}}{3,0}}{28,4.0,81\sqrt{21,4}} = 0,93$$

$$k_{\sigma} > 0,673 \rightarrow \rho = \frac{0,93 - 0,22}{0,93^{2}} = 0,824$$

$$b_{eff} = \frac{\rho.\bar{b}}{1 - \psi} = \frac{0,824x3000 - 2x7\sqrt{2}}{1 - (-0,90)} = 1290\,mm$$

$$b_{w,e1} = 0,4x1290 = 516\,mm; \; b_{w,e2} = 0,6x1290 = 774\,mm$$

Etkili enkesit değerlerinin bulunması:

$$e = \frac{\begin{array}{l} 982.40.3060 + 516.30.(3040 - \frac{516}{2}) + (774 + \\ 1465 - 40).30.(\frac{774 + 1465 - 40}{2} + 40) + 1200.40.20 \end{array}}{982x40 + (1290 + 1465)x30 + 1200x40} = 1419\,mm$$

$$I_{y,eff} = \frac{\begin{array}{l} 982x40x(3060 - 1419)^{2} + 516x30x(3080 - 40 - \frac{516}{2} - 1419)^{2} + ... \\ ...(774 + 1465 - 40)x30x(\frac{774 + 1465 - 40}{2} - 1419)^{2} + 1200x40x(1419 - \frac{40}{2})^{2} + \\ (1200 + 982)x\frac{40^{3}}{12} + 30x\frac{516^{3}}{12} + 30x\frac{(774 + 1465 - 40)^{3}}{12} \end{array}}{10000}$$

$$I_{y,eff} = 36213418\,cm^4,\ W_{y,eff} = \frac{36213418}{308,0-141,9} = 218022\,cm^3,$$

$$A_{eff} = \frac{[40(982+1200)+30x(1290+1465-40)]}{100} = 1688\,cm^2$$

$$I_{z,eff} = \frac{40x(\frac{982^3}{12}+\frac{1200^3}{12})+(1290+1465)x\frac{30^3}{12}}{10000} = 892275\,cm^4,$$

$$W_{z,eff} = \frac{892275}{120/2} = 14871\,cm^3$$

$$i_{y,eff} = \sqrt{\frac{36213418}{1688}} = 146,5\,cm;\ i_{z,eff} = \sqrt{\frac{892275}{1688}} = 23,0\,cm;$$

Etkili enkesit dayanım değerleri:

$$N_{pl,Rd} = \frac{1688x35,5}{1,10} = 54476\,kN$$

$$M_{y,pl,Rd} = \frac{218022.35,5}{1,10x1000} = 70362\,kN.m$$

$$V_{y,pl,Rd} = \frac{(1290+1465-40)x30x355}{\sqrt{3}x1,10x1000} = 15176kN$$

Eğilmeli burkulma kontrolü:

$V_{y,Sd} = 2091\,kN < 0,5.V_{y,pl,Rd} = 0,5x15176 = 7588\,kN$ → moment indirgenmez.

$$N_{Sd} = 2932kN < \begin{cases} 0,25.N_{pl,Rd} = 0,25x54476 = 13619kN \\ \frac{d.t_w.f_y}{2.\gamma_{M0}} = \frac{3000x30x355}{2x1,10x1000} = 14523kN \end{cases}$$ → moment indirgenmez.

$y-y$ eksenine dik burkulma:

$t_f = 40\,mm$ → b eğrisi kullanılacak; $\alpha = 0,34$

$$\lambda_1 = \pi\sqrt{\frac{210000}{355}} = 76{,}41$$

$$\lambda_{ky} = 3427\text{cm} \rightarrow \lambda_y = \frac{3427}{146{,}5} = 23{,}4 \rightarrow \bar{\lambda}_y = \frac{23{,}4}{76{,}41} = 0{,}31$$

$$\phi = \frac{1}{2}\left[1 + 0{,}34(0{,}31 - 0{,}2) + 0{,}31^2\right] = 0{,}57$$

$$\chi_y = \frac{1}{0{,}57 + \sqrt{0{,}57^2 - 0{,}31^2}} = 0{,}95$$

$$\psi = \frac{51418}{57390} = 0{,}90 \rightarrow \beta_{\mu y} = 1{,}8 - 0{,}7\text{x}0{,}9 = 1{,}17$$

$$\mu_y = 0{,}31(2\text{x}1{,}17 - 4) + 0{,}15 = -0{,}36 < 0{,}90 \quad n_y = \frac{2932}{0{,}95\text{x}54476} = 0{,}06$$

$$k_y = 1 - \frac{(-0{,}36)\text{x}0{,}06}{1{,}10} = 1{,}02$$

$z - z$ eksenine dik burkulma:

$t_f = 40\,\text{mm} \rightarrow$ c eğrisi kullanılacak; $\alpha = 0{,}49$

$$\lambda_{kz} = 285\text{cm} \rightarrow \lambda_z = \frac{285}{23} = 12{,}4 \rightarrow \bar{\lambda}_z = \frac{12{,}4}{76{,}41} = 0{,}16$$

$$\phi = \frac{1}{2}\left[1 + 0{,}49(0{,}16 - 0{,}2) + 0{,}16^2\right] = 0{,}50$$

$$\chi_z = \frac{1}{0{,}50 + \sqrt{0{,}50^2 - 0{,}16^2}} = 1{,}02 > 1{,}0 \rightarrow \chi_z = 1{,}0 \quad \chi_{min} = (0{,}95;1{,}0)$$

$$\frac{2932}{0{,}95\text{x}54476} + \frac{1{,}02\text{x}57390 + 2932\text{x}(1{,}540 - 1{,}419)}{70362} = 0{,}89 < 1{,}00 \ \surd$$

Eğilmeli burulmalı burkulma kontrolü:

$$k = k_w = 1{,}00,\ l_{LT} = 1{,}0x285 = 285cm,\ \psi = \frac{51418}{57390} = 0{,}90 \rightarrow \text{tablodan } C_1 = 1{,}056$$

$$M_{cr} = 1{,}056\frac{\pi^2 x21000x1152675}{285^2}\sqrt{\frac{1{,}0^2 x26615808x10^{-3} + 0{,}039x285^2 x78067}{152675}}$$

$$M_{cr} == 15168587kN.cm$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{\pi^2 x21000x213420}{15168587}} = 54,\ \bar{\lambda}_{LT} = \frac{54}{76{,}41} = 0{,}71,\ \alpha = 0{,}49$$

$$\phi = \frac{1}{2}\left[1 + 0{,}49(0{,}71 - 0{,}2) + 0{,}71^2\right] = 0{,}87$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{0{,}87 + \sqrt{0{,}87^2 - 0{,}71^2}} = 0{,}88 < 1{,}0$$

$$\beta_{\mu LT} = 1{,}8 - 0{,}7x0{,}88 = 1{,}18$$

$$\mu_{LT} = 0{,}15x0{,}16x1{,}18 - 0{,}15 = -0{,}12 < 0{,}9,\ n_z = \frac{2932}{1{,}0x54476} = 0{,}05$$

$$k_{LT} = 1 - \frac{(-0{,}12)x0{,}05}{1{,}10} = 1{,}00$$

$$\frac{2932}{1{,}0x54476} + \frac{1{,}0x57390 + 2932x(1{,}540 - 1{,}419)}{0{,}88x70362} = 0{,}99 < 1{,}00\ \surd$$

Gövdede buruşma kontrolü:

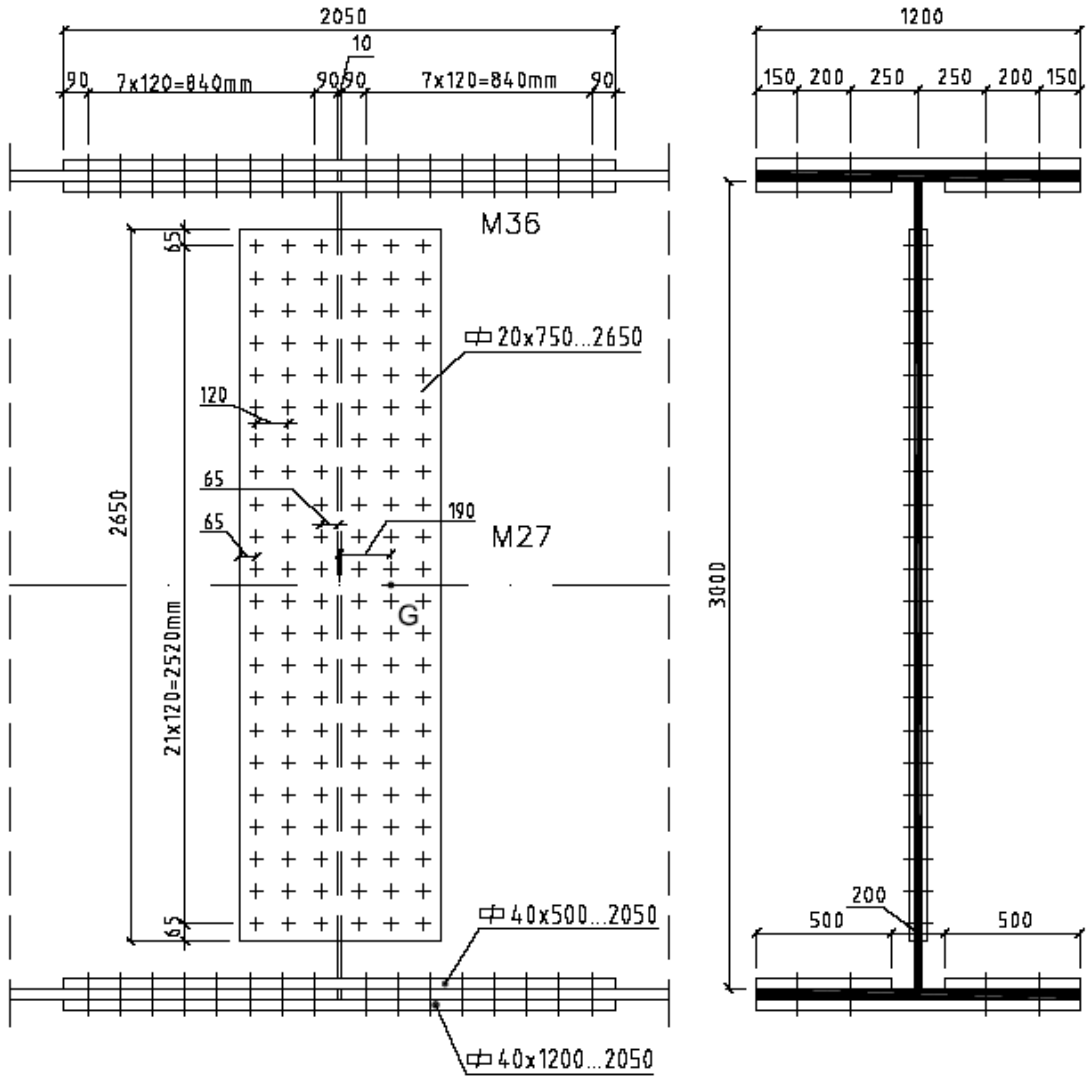
$$\frac{a}{d} = \frac{11400}{3600} = 3{,}2 \rightarrow k_\tau = 5{,}34 + \frac{4}{3{,}2^2} = 5{,}73;\ \frac{d}{t} = \frac{3600}{30} = 120 > 30.0{,}81.\sqrt{5{,}73} = 58{,}2$$

$$\bar{\lambda}_w = \frac{3600/30}{37{,}4x0{,}81x\sqrt{5{,}73}} = 1{,}65 > 1{,}2\ \tau_{ba} = \frac{0{,}9x355}{1{,}65x\sqrt{3}} = 111{,}8N/mm^2$$

$$V_{ba,Rd} = \frac{3600x30x111{,}8}{1{,}1x1000} = 10976kN > V_{Sd} = 2091kN\ \surd$$

4.7.4.2 Kiriş Eklerinin Tasarımı

Kiriş ekleri uygulama kolaylığı açısından bulonlu ek olarak teşkil edilmiştir. Birleşimde yüksek mukavemetli 10.9 kalitede bulon kullanılmış, bulonlara $\geq F_p$ 'lik hesapsız öngerme verilmiştir. Ayrıca birleşimde Fe510 kalitede levhalar kullanılmıştır. Kiriş ekleri kolon-kiriş birleşiminden en az kiriş yüksekliği kadar uzaklıkta yapılacaktır.



Şekil 4.27: Kiriş eki detayı-1

Ek-1: Birinci ek kolon kiriş birleşim bölgesine yakın olan birleşimdir. Birleşim; ek yerinin değişme ihtimaline karşı kolon-kiriş birleşim bölgesindeki daha olumsuz tesirlere göre boyutlandırılacaktır.

Kesit etkileri: $N_{Sd} = 2932\,kN,\ M_{y,Sd} = 57390\,kN.m,\ V_{Sd} = 2091\,kN$'dur.

Başlık bulonlarında kontrol:

$$\Sigma I = 2x\frac{2,0x265^3}{12} + 2x2x50,0x4,0x148,5^2 + 2x4,0x120x151,5^2$$
$$\Sigma I = 6203208 + 39675960 = 45879168cm^4$$

$$M_f = 5739000x\frac{39675960}{45879168} = 4963044\,kN.cm$$

$$\Sigma A = 2x2,0x265 + 2x2x50,0x4,0 + 2x4,0x120$$
$$\Sigma A = 1060 + 1760 = 2820cm^2$$

$$N_f = 2932x\frac{1760}{2820} = 1830\,kN$$

$$Z = -D = \frac{4963044}{308,0 - 4,0} + \frac{1830}{2} = 17241\,kN$$

Başlık bulonları çift etkili olup bir makaslama alanına gelen kuvvet: $F_{v,Sd}$

$$F_{v,Sd} = \frac{17241}{2x4x8} = 270\,kN$$

Bir M36 bulonu için bir makaslama alanının makaslama dayanımı hesap değeri:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,5x1000x817}{1,25x1000} = 326kN > 270kN\ \surd$$

40mm'lik levha için delik cidarında ezilme dayanımı hesap değeri;

$$\alpha = \left(\frac{90}{3x39}; \frac{100}{3x39} - \frac{1}{4}; \frac{100}{51}; 1,0\right)_{min} = (0,77;0,61;1,96;1,0)_{min} = 0,61 \text{ ile}$$

başlık ek levhasında;

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5x0,61x51,0x3,6x4,0}{1,25} = 896kN > 270kN\ \surd$$

ve profil başlığında

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5x0,61x51,0x3,6x4,0}{1,25} = 896kN > \frac{17241}{4x8} = 539kN \ \surd$$

olarak hesaplanır.

Gövde bulonlarında kontrol:

$$M_w = 5739000x\frac{6203208}{45879168} = 775956\,kN.cm$$

$$N_w = 2932x\frac{1060}{2820} = 1102\,kN$$

$$M_G = 775956 + 2091x19,0 = 815685\,kN.cm$$

$$I_p = 44x12^2 + 6x(6^2 + 18^2 + 30^2 + 42^2 + 54^2 + 66^2 + 78^2 + 90^2 + 102^2 + 114^2 + 126^2)$$
$$I_p = 388872\,cm^2$$

$$N_H = \frac{1102}{66} + \frac{815685}{388872}x126 = 281\,kN$$

$$N_V = \frac{2091}{66} + \frac{815685}{388872}x12 = 57\,kN$$

$$N_R = \sqrt{281^2 + 57^2} = 288\,kN$$

Gövde bulonları çift etkili bulonlardır; bir makaslama alanına gelen kuvvet

$$\frac{288}{2} = 144\,kN$$

olur. Bir M27 bulonu için bir makaslama alanının makaslama dayanımı hesap değeri:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,5x1000x459}{1,25x1000} = 183,6kN > 144kN \ \surd$$

20mm'lik levha için delik cidarında ezilme dayanımı hesap değeri;

$$\alpha = \left(\frac{65}{3x30}; \frac{100}{3x30} - \frac{1}{4}; \frac{100}{51}; 1,0 \right)_{min} = (0,72; 0,86; 1,96; 1,0)_{min} = 0,72 \text{ ile}$$

gövde ek levhasında;

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5x0,72x51,0x2,7x2,0}{1,25} = 397kN > 144kN \ \surd$$

ve profil gövdesinde

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5x0,72x51,0x2,7x3,0}{1,25} = 595kN > 144kN \ \surd$$

olarak hesaplanır.

Başlık ek levhalarında kontol:

$$Z = 17241kN$$

$$Z_1 = \frac{50,0x4,0}{2x50,0x4,0 + 120,0x4,0} x17241 = 3918kN$$

$$Z_2 = 17241 - 3918 = 13323kN$$

$$A_{1,net} = (50,0 - 2x3,9)x4,0 = 168,8cm^2$$

$$N_{1,t,Rd} = \begin{cases} 50,0x4,0x\dfrac{35,5}{1,10} = 6455kN \\ 0,9x168,8x\dfrac{51,0}{1,25} = 6198kN \end{cases}$$

$$N_{1,t,Rd} = 6198kN > 3918kN \ \surd$$

$$A_{2,net} = (120,0 - 4x3,9)x4,0 = 417,6cm^2$$

$$N_{2,t,Rd} = \begin{cases} 120,0x4,0x\dfrac{35,5}{1,10} = 15491kN \\ 0,9x417,6x\dfrac{51,0}{1,25} = 17425kN \end{cases}$$

$N_{2,t,Rd} = 15491kN > 13323kN$ √

Gövde ek levhalarında kontrol:

$M_w = 775956\,kN.cm,\ V_{Sd} = 2091\,kN$

$A_{3,net} = (265{,}0 - 22x3{,}0)x2{,}0 = 398cm^2$

$\frac{2x398}{2x265{,}0x2{,}0} = 0{,}75 > \frac{35{,}5}{51{,}0} = 0{,}696$ olduğundan enkesit kesme kuvveti alanında indirgemeye gerek yoktur.

$V_{pl,Rd} = \frac{2x265{,}0x2{,}0x51{,}0}{\sqrt{3}x1{,}10} = 28374kN$

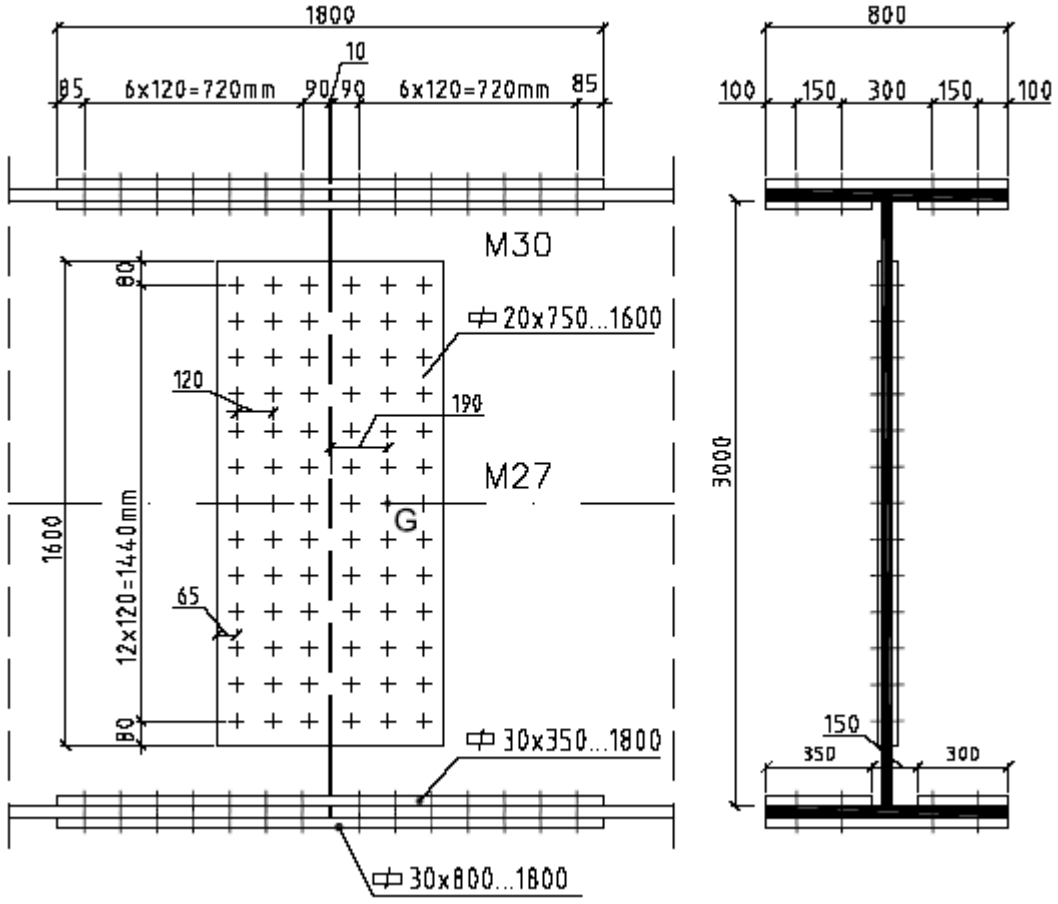
$V_w = 2091kN < 0{,}5x28374 = 14187kN$ olduğundan plastik moment dayanımının indirgenmesine gerek yoktur.

$A_{t,net} = \left(\frac{265{,}0}{2} - 11x3{,}0\right)x2{,}0 = 199cm^2$

$0{,}9x\frac{2x199}{2x265x2{,}0} = 0{,}338 < \frac{35{,}5}{51{,}0}x\frac{1{,}25}{1{,}0} = 0{,}791$ olduğundan çekme bölgesinde enkesit zayıflaması dikkate alınacaktır.

$$M_{pl,Rd} = 2x\left[\begin{array}{l} 2x2{,}0x\frac{265}{2}x\frac{132{,}5}{2} - ... \\ ...3{,}0x2{,}0x(6+18+30+42+54+66+78+90+102+114+126) \end{array}\right]x\frac{35{,}5}{1{,}10}$$

$M_{pl,Rd} = 1985192kNcm > 775956kNcm$ √



Şekil 4.28: Kiriş eki detayı-2

Ek-2: İkinci kiriş eki nakliye, imalat ve montaj kolaylığı açısından kiriş orta bölgesinde yapılmıştır.

Kesit etkileri: $N_{Sd} = 2362\,kN,\ M_{y,Sd} = 15578\,kN.m,\ V_{Sd} = 1046\,kN$'dur.

Başlık bulonlarında kontrol:

$$\Sigma I = 2x\frac{2{,}0x160^3}{12} + 2x2x35{,}0x3{,}0x98{,}5^2 + 2x3{,}0x80x105{,}5^2$$

$$\Sigma I = 1365333 + 9417465 = 10782798 cm^4$$

$$\Sigma A = 2x2{,}0x160 + 2x2x35{,}0x3{,}0 + 2x3{,}0x80$$

$$\Sigma A = 640 + 900 = 1540 cm^2$$

$$M_f = 1557800x\frac{9417465}{10782798} = 1360549\,kN.cm$$

$$N_f = 2362x\frac{900}{1540} = 1380\,kN;\ Z = -D = \frac{1360549}{208,0-4,0} + \frac{1380}{2} = 7360\,kN$$

Başlık bulonları çift etkili olup bir makaslama alanına gelen kuvvet

$$F_{v,Sd} = \frac{7360}{2x4x7} = 132\,kN$$

Bir M30 bulonu için bir makaslama alanının makaslama dayanımı hesap değeri:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,5x1000x567}{1,25x1000} = 226,8kN > 132kN\ \surd$$

30mm'lik levha için delik cidarında ezilme dayanımı hesap değeri;

$$\alpha = \left(\frac{85}{3x33}; \frac{100}{3x33} - \frac{1}{4}; \frac{100}{51}; 1,0\right)_{min} = (0,86; 0,76; 1,96; 1,0)_{min} = 0,76 \text{ ile}$$

başlık ek levhasında;

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5x0,76x51,0x3,0x3,0}{1,25} = 698kN > 132kN\ \surd$$

ve profil başlığında

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5x0,76x51,0x3,0x4,0}{1,25} = 930kN > \frac{7360}{4x7} = 263kN\ \surd \text{ olarak hesaplanır.}$$

Gövde bulonlarında kontrol:

$$M_w = 1557800x\frac{1365333}{10782798} = 197251\,kN.cm\ ;\ N_w = 2362x\frac{640}{1540} = 982\,kN$$

$$M_G = 197251 + 982x19,0 = 215909\,kN.cm$$

$$I_p = 26x12^2 + 6x(12^2 + 24^2 + 36^2 + 48^2 + 60^2 + 72^2) = 82368\,cm^2$$

$$N_H = \frac{982}{39} + \frac{215909}{82368}x72 = 214\,kN,\ N_V = \frac{1046}{39} + \frac{215909}{82368}x12 = 58\,kN$$

$$N_R = \sqrt{214^2 + 58^2} = 222\,kN$$

Gövde bulonları çift etkili bulonlardır; bir makaslama alanına gelen kuvvet

$$\frac{222}{2} = 111kN$$

olur. Bir M27 bulonu için bir makaslama alanının makaslama dayanımı hesap değeri:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,5x1000x459}{1,25x1000} = 183,6kN > 111kN \;\surd$$

20mm'lik levha için delik cidarında ezilme dayanımı hesap değeri;

$$\alpha = \left(\frac{65}{3x30}; \frac{100}{3x30} - \frac{1}{4}; \frac{100}{51}; 1,0\right)_{min} = (0,72; 0,86; 1,96; 1,0)_{min} = 0,72 \text{ ile}$$

gövde ek levhasında;

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5x0,72x51,0x2,7x2,0}{1,25} = 397kN > 111kN \;\surd$$

ve profil gövdesinde

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5x0,72x51,0x2,7x3,0}{1,25} = 595kN > 111kN \;\surd \text{ olarak hesaplanır.}$$

Başlık ek levhalarında kontol:

$$Z = 7360\,kN$$

$$Z_1 = \frac{35,0x3,0}{2x35,0x3,0 + 80,0x3,0} x7360 = 1717kN\,;\; Z_2 = 7360 - 1717 = 5643kN$$

$$A_{1,net} = (35,0 - 2x3,3)x3,0 = 85,2cm^2$$

$$N_{1,t,Rd} = \begin{cases} 35,0x3,0x\dfrac{35,5}{1,10} = 3389kN \\ 0,9x85,2x\dfrac{51,0}{1,25} = 3129kN \end{cases}$$

$N_{1,t,Rd} = 3129kN > 1717kN$ √ ; $A_{2,net} = (80,0 - 4x3,3)x3,0 = 200,4cm^2$

$$N_{2,t,Rd} = \begin{cases} 80,0x3,0x\dfrac{35,5}{1,10} = 7745kN \\ 0,9x200,4x\dfrac{51,0}{1,25} = 7359kN \end{cases}$$

$N_{2,t,Rd} = 7359kN > 5643kN$ √

Gövde ek levhalarında kontrol:

$M_w = 197251\,kN.cm,\ V_{Sd} = 1046\,kN$

$A_{3,net} = (160,0 - 13x3,0)x2,0 = 242cm^2$

$\dfrac{2x242}{2x160,0x2,0} = 0,76 > \dfrac{35,5}{51,0} = 0,696$ olduğundan enkesit kesme kuvveti alanında indirgemeye gerek yoktur.

$$V_{pl,Rd} = \frac{2x160,0x2,0x51,0}{\sqrt{3}x1,10} = 17132kN$$

$V_w = 1046kN < 0,5x17132 = 8566kN$ olduğundan plastik moment dayanımının indirgenmesine gerek yoktur.

$$A_{t,net} = \left(\frac{16,0}{2} - 6,5x3,0\right)x2,0 = 121cm^2$$

$0,9x\dfrac{2x121}{2x160x2,0} = 0,378 < \dfrac{35,5}{51,0}x\dfrac{1,25}{1,0} = 0,791$ olduğundan çekme bölgesinde enkesit zayıflaması dikkate alınacaktır.

$$M_{pl,Rd} = 2x\left[\begin{array}{l} 2x2,0x\dfrac{160}{2}x\dfrac{80}{2} - ... \\ ...3,0x2,0x(12 + 24 + 36 + 48 + 60 + 72) \end{array}\right]x\frac{35,5}{1,10}$$

$M_{pl,Rd} = 923775kNcm > 197251kNcm$ √

4.7.5 Kolonların Boyutlandırılması

4.7.5.1 Kesitin Belirlenmesi

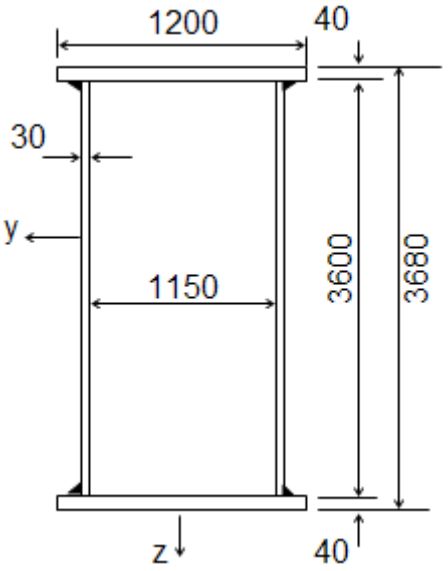
Kesit tesirleri en elverişsiz değerlerin elde edildiği Komb_9'dan (1,35G + 1,35P_S + 1,35W_{1d}) alınmıştır.

Eğilme momenti tasarım değeri (y-y): $M_{y,Sd} = 16108\,kN.m$

Yanal doğrultuda tutulu noktalardaki momentin küçük değeri: $M_{1,y,Sd} = 0\,kN.m$

Kesme kuvveti tasarım değeri: $V_{y,Sd} = 1232\,kN$

Normal kuvvet tasarım değeri: $N_{Sd} = 7600\,kN$



Malzeme: Fe510

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0{,}81$$

$$A = \frac{2x40x1200 + 2x30x3600}{100} = 3120\,cm^2$$

$$Iy = 2x4{,}0x120x182^2 + 2x3{,}0x\frac{360^3}{12} = 55127040cm^4$$

$$I_z = 2x4{,}0x\frac{120^3}{12} + 2x360x3{,}0x(\frac{115{,}0+3{,}0}{2})^2 + 2x360x\frac{3{,}0^3}{12} = 8672580cm^4$$

$$W_{z,pl} = 2.\left[4{,}0.\frac{120{,}0^2}{8} + 360.3{,}0.(\frac{115{,}0+3{,}0}{2}) + 4{,}0.\frac{120{,}0^2}{8}\right]$$

$$z_{pl} = \frac{40x1200 + 2x30x(3680-40-40) - 40x1200}{4x30} = 1800mm$$

$$z_1 = \frac{40x1200x(1800-\frac{40}{2}) + 2x30x\frac{(1800-40)^2}{2}}{40x1200 + 2x30x(1800-40)} = 1161$$

$$z_2 = \frac{40x1200x(3680-1800-\frac{40}{2}) + 2x30x\frac{(3680-1800-40)^2}{2}}{40x1200 + 2x30x(3680-1800-40)} = 1204mm$$

$$W_{y,pl} = [40x1200 + 2x30x(1800-40)]x1161 + 1204x[40x1200 + 2x30x(3680-1800-40)]$$

$$W_{y,pl} = 369120cm^3$$

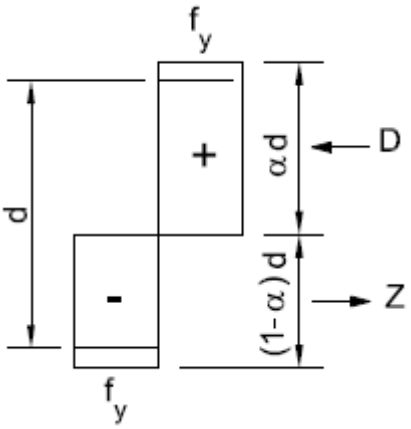
Kesitin sınıflandırılması:

$$N_{pl,Rd} = \frac{3120x355}{1,1x10} = 100691kN;\ \frac{N_{Sd}}{N_{pl,Rd}} = \frac{7600}{100691} = 0,08$$

Başlığın sınıflandırılması: Başlık üniform basınca maruzdur.

$$\frac{c}{t_f} = \frac{1150}{40} = 28,8 < 42.\varepsilon = 42x0,81 = 34,0$$ → Başlık Sınıf-1'e aittir.

Gövdenin sınıflandırılması: Bir plastik gerilme dağılımında gövdenin Sınıf-1 ve Sınıf-2'ye ait olup olmadığı kontrolü:



$$N = D - Z$$

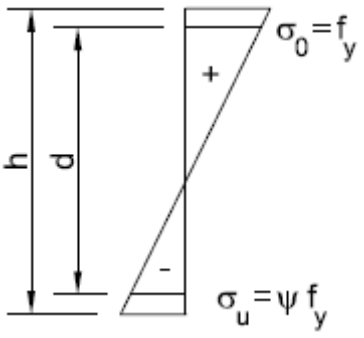
$$0,08.A.f_y = (A_f + 2\alpha.d.t_w).f_y - [A_f + 2(1-\alpha).d.t_w]f_y$$

$$0,08.A.f_y = (4.\alpha. - 2)d.t_w;\ d = 3600\,mm$$

$$\alpha = \frac{0,08A}{4.d.t_w} + \frac{1}{2} = \frac{0,08x3120x100}{4.3600.30} + \frac{1}{2} = 0,55 > 0,50$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{3600}{30} = 120 > \frac{396x0,81}{13x0,55-1} = 52,2$$ → Sınıf-1'e ait değildir.

$$\frac{d}{t_w} = \frac{3600}{30} = 120 > \frac{456x0,81}{13x0,55-1} = 60,1$$ → Sınıf-2'ye ait değildir.



Elastik gerilme dağılımında gövdenin Sınıf-3 ve Sınıf-4'e ait olup olmadığı araştırılırsa;

$$\frac{N_{Sd}}{N_{pl,Rd}} = \frac{7600}{100691} = 0,08;\ \sigma = \frac{N}{A} + \frac{M}{I}z$$

$$\sigma_0 = 0{,}08f_y + \frac{M}{I}z = f_y \rightarrow \frac{M}{I}z = 0{,}92f_y$$

$$\sigma_u = 0{,}08f_y - \frac{M}{I}z = 0{,}08f_y - 0{,}92f_y = -0{,}84f_y \quad \psi = \frac{-0{,}84f_y}{f_y} = -0{,}84\,;$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{3600}{30} = 120 > \frac{42x0{,}81}{0{,}67 + 0{,}33(-0{,}84)} = 86{,}6$$

→ Enkesit Sınıf-4'e aittir.

Başlığın etkili genişliğinin bulunması: Başlık üniform basınç gerilmesine maruzdur, dolayısıyla $\psi = +1$ ve buruşma değeri $k_\sigma = 4{,}0$ olur.

Başlık levhasının narinliği: $\bar{\lambda}_p = \frac{28{,}8}{28{,}4.0{,}81\sqrt{4{,}0}} = 0{,}63 < 0{,}673$

$\rho = 1{,}0 \rightarrow b_{eff} = \rho.c = 1{,}0x1200 = 12000\,mm$

Gövdede gerilme dağılışı:

Gövdenin etkili genişliğinin tayini için basınç başlığının etkili alanı ve gövdenin brüt alanı esas alınır.

$$e^* = \frac{3600}{2} = 1800\,mm$$

$\psi = -0{,}84 \rightarrow k_\sigma = 7{,}81 - 6{,}29x(-0{,}85) + 9{,}78x(-0{,}85)^2 = 20{,}2$

$$\bar{\lambda}_p = \frac{120}{28{,}4.0{,}81\sqrt{20{,}2}} = 1{,}16$$

$k_\sigma > 0{,}673 \rightarrow \rho = \frac{1{,}16 - 0{,}22}{1{,}16^2} = 0{,}70$

$$b_{eff} = \frac{\rho.\bar{b}}{1-\psi} = \frac{0{,}70x3600}{1-(-0{,}84)} = 1370\,mm$$

$b_{w,e1} = 0{,}4x1370 = 548\,mm;\ b_{w,e2} = 0{,}6x1370 = 822\,mm$

Etkili enkesit değerlerinin bulunması:

$$e = \frac{40x1200x3660 + 2x30x2622x(40 + \frac{2622}{2}) + 2x30x548x(3640 - \frac{548}{2}) + 40x1200x20}{2x40x1200 + 2x30x(1800 + 1370)}$$

$$e = 1747 mm$$

$$I_{y,eff} = 40x1200x(1747 - 20)^2 + 2x30x(1800 + 822)x\left(\frac{1800 + 822}{2} + 40 - 1747\right)^2 +$$

$$2x30x548x\left(3640 - \frac{548}{2} - 1747\right)^2 + 2x40x1200x(3660 - 1747)^2 +$$

$$2x1200x\frac{40^3}{2} + 2x30x\frac{548^3}{12} + \frac{2x30x(1800 + 822)^3}{12}$$

$$I_{y,eff} = 69629945\,cm^4,$$

$$W_{y,eff} = \frac{69629945}{368,0 - 174,7} = 360217\,cm^3,$$

$$A_{eff} = \frac{2x30x(1800 + 1370) + 2x40x1200}{100} = 2862\,cm^2$$

$$I_{z,eff} = \frac{2x40x\frac{1200^3}{12} + 2x\frac{30^3}{12}x(1800 + 1370) + 2x30x(1800 + 1370)x(\frac{1150}{2} + 15)^2}{10000}$$

$$I_{z,eff} = 7774289\,cm^4,\ W_{z,eff} = \frac{7774289}{120/2} = 129571\,cm^3$$

$$i_{y,eff} = \sqrt{\frac{69629945}{2862}} = 156\,cm;\ i_{z,eff} = \sqrt{\frac{7774289}{2862}} = 52,1\,cm;$$

Etkili enkesit dayanım değerleri:

$$N_{pl,Rd} = \frac{2862x35,5}{1,10} = 92365\,kN$$

$$M_{y,pl,Rd} = \frac{360217.35,5}{1,10x100} = 116252\,kN.m$$

$$V_{y,pl,Rd} = \frac{2x30x(1800 + 1370)355}{\sqrt{3}x1,10x1000} = 35439kN$$

Eğilmeli burkulma kontrolü:

$V_{y,Sd} = 1232\,kN < 0,5.V_{y,pl,Rd} = 0,5x35439 = 17720\,kN$ → moment indirgenmez.

$$N_{Sd} = 7600kN < \begin{cases} 0,25.N_{pl,Rd} = 0,25x92365 = 23091kN \\ \dfrac{d.t_w.f_y}{2.\gamma_{M0}} = \dfrac{3600x30x355}{2x1,10x1000} = 17427kN \end{cases}$$ → moment indirgenmez.

$y - y$ eksenine dik burkulma:

$t_f = 40\,mm$ → b eğrisi kullanılacak; $\alpha = 0,34$

$$\lambda_1 = \pi\sqrt{\frac{210000}{355}} = 76,41$$

$n_1 = 1,0$ (mafsallı)

$$n_2 = \frac{\dfrac{55127040}{1620}}{\dfrac{55127040}{1620} + \dfrac{28931120}{5900}} = 0,88$$

$$k = \left[\frac{1 - 0,2(1,0 + 0,88) - 0,12x0,88x1,0}{1 - 0,8(0,88 + 1,0) + 0,6x0,88x1,0}\right]^{0,5} = 4,65$$

$$\lambda_{ky} = 4,65x1620 = 7533m \rightarrow \lambda_y = \frac{7533}{156} = 48,3 \rightarrow \bar{\lambda}_y = \frac{48,3}{76,41} = 0,63$$

$$\phi = \frac{1}{2}\left[1 + 0,34(0,63 - 0,2) + 0,63^2\right] = 0,78$$

$$\chi' = \frac{1}{0,78 + \sqrt{0,78^2 - 0,63^2}} = 0,81 < 1,0 \rightarrow \chi_y = 0,81$$

$$\psi = \frac{7195}{16108} = 0,45 \rightarrow \beta_{\mu y} = 1,8 - 0,7x0,45 = 1,485$$

$$\mu_y = 0,63(2x1,485 - 4) + 0,15 = -0,5 < 0,90 \quad n_y = \frac{7600}{1,0x92365} = 0,08$$

$$k_y = 1 - \frac{(-0,5)x0,08}{1,10} = 1,04$$

$z - z$ eksenine dik burkulma:

$t_f = 40\,mm \rightarrow$ c eğrisi kullanılacak; $\alpha = 0,34$

$$\lambda_{kz} = 1620cm \rightarrow \lambda_z = \frac{1620}{52,1} = 31,1 \rightarrow \bar{\lambda}_z = \frac{31,1}{76,41} = 0,40$$

$$\phi = \frac{1}{2}\left[1 + 0,49(0,40 - 0,2) + 0,40^2\right] = 0,63$$

$$\chi_z = \frac{1}{0,52 + \sqrt{0,63^2 - 0,40^2}} = 1,0$$

$$\frac{7600}{0,81x92365} + \frac{1,04x16108 + 7600x(1,840 - 1,747)}{116252} = 0,31 < 1,00 \ \surd$$

Eğilmeli burulmalı burkulma kontrolü:

$k = k_w = 1,00$, $\lambda_{LT} = 1,0x1620 = 1620cm$, $\psi = 0,45 \rightarrow$

$$C_1 = 1,88 - 1,4x0,45 + 0,52x0,45^2 = 1,355$$

$$I_t = \frac{2x(1150x3600)^2 x40x30}{40x1150 + 3600x30} = 26711065cm^4;\ I_w = 0$$

$$M_{cr} = 1,355\frac{\pi^2 x21000x8672580}{1620^2}\sqrt{\frac{0,039x1620^2 x26711065}{8672580}}$$

$$M_{cr} = 521069177kN.cm$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{\pi^2 x21000x369120}{521069177}} = 12,1,\ \bar{\lambda}_{LT} = \frac{12,1}{76,41} = 0,16,\ \alpha = 0,34$$

$$\phi = \frac{1}{2}\left[1 + 0,34(0,16 - 0,2) + 0,16^2\right] = 0,51$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{0,49 + \sqrt{0,51^2 - 0,16^2}} = 1,03 > 1,0 \rightarrow \chi_{LT} = 1,0$$

$$\beta_{\mu LT} = 1{,}8 - 0{,}7x0{,}45 = 1{,}49$$

$$\mu_{LT} = 0{,}15x1{,}49x0{,}20 - 0{,}15 = -0{,}11 < 0{,}9\,,\ n_z = \frac{2932}{1{,}0x54476} = 0{,}05$$

$$k_{LT} = 1 - \frac{(-0{,}11)x0{,}05}{1{,}10} = 1{,}00$$

$$\frac{7600}{1{,}0x92365} + \frac{1{,}0x16108 + 7600x(1{,}840 - 1{,}747)}{116252} = 0{,}23 < 1{,}00\ \surd$$

4.7.5.2 Kolon Ekinin Tasarımı

Kolon eki uygulama kolaylığı açısından bulonlu ek olarak teşkil edilmiştir. Birleşimde yüksek mukavemetli 10.9 kalitede bulon kullanılmış, bulonlara $\geq F_p$'lik hesapsız öngerme verilmiştir. Ayrıca birleşimde Fe510 kalitede levhalar kullanılmıştır.

Kesit etkileri: $N_{Sd} = 4333\,kN,\ M_{y,Sd} = 41281\,kN.m,\ V_{Sd} = 1828\,kN$'dur.

Başlık bulonlarında kontrol:

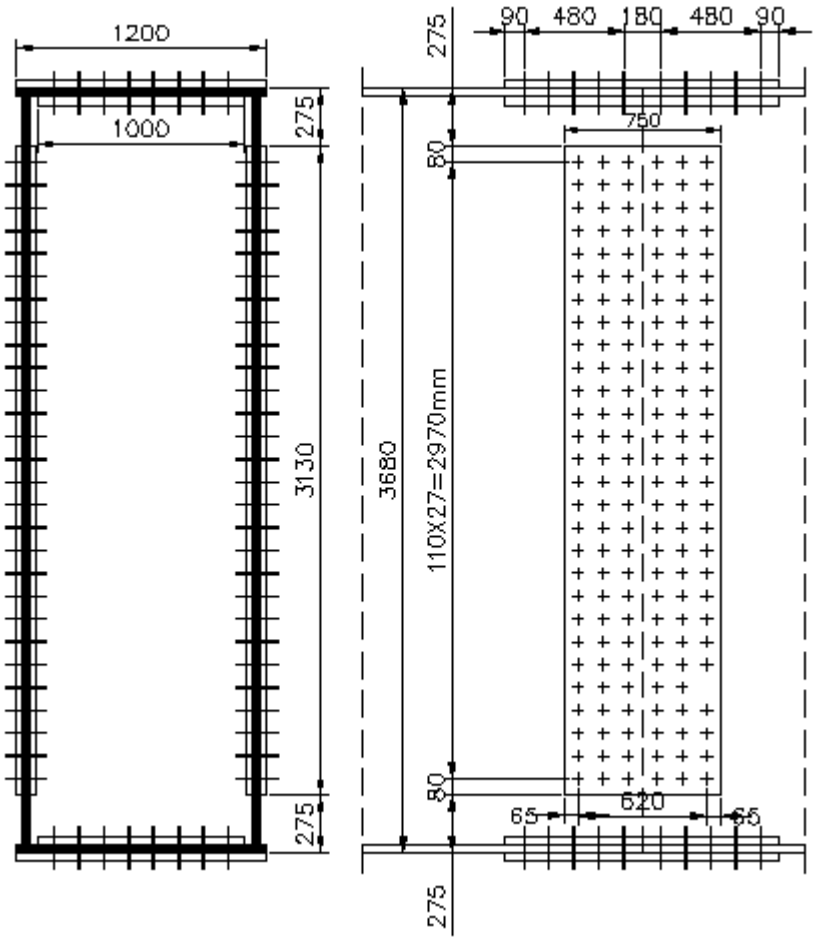
$$\Sigma I = 4x2{,}0x\frac{313^3}{12} + 2x4{,}0x120{,}0x186{,}0^2 + 2x4{,}0x100{,}0x170^2$$
$$\Sigma I = 20442865 + 56332160 = 76775025cm^4$$

$$M_f = 4128100x\frac{56332160}{76775025} = 3028912\,kN.cm$$

$$\Sigma A = 4x2{,}0x313 + 2x4{,}0x(100 + 120)$$
$$\Sigma A = 2504 + 1760 = 4264cm^2$$

$$N_f = 4333x\frac{1760}{4264} = 1789\,kN$$

$$Z = -D = \frac{3028912}{368{,}0 - 4{,}0} + \frac{1789}{2} = 9216\,kN$$



Şekil 4.29: Kolon eki detayı

Başlık bulonları çift etkili olup bir makaslama alanına gelen kuvvet: $F_{v,Sd}$

$$F_{v,Sd} = \frac{9216}{2x5x8} = 115\,kN$$

Bir M36 bulonu için bir makaslama alanının makaslama dayanımı hesap değeri:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,5x1000x817}{1,25x1000} = 326kN > 115kN \;\surd$$

40mm'lik levha için delik cidarında ezilme dayanımı hesap değeri;

$$\alpha = \left(\frac{90}{3x39}; \frac{100}{3x39} - \frac{1}{4}; \frac{100}{51}; 1,0\right)_{min} = (0,77; 0,61; 1,96; 1,0)_{min} = 0,61 \text{ ile}$$

başlık ek levhasında;

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5x0,61x51,0x3,6x4,0}{1,25} = 896kN > 115kN \ \surd$$

ve profil başlığında

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5x0,61x51,0x3,6x4,0}{1,25} = 896kN > \frac{9216}{5x8} = 230kN \ \surd$$

olarak hesaplanır.

Gövde bulonlarında kontrol:

$$M_w = 4128100x\frac{20442865}{76775025} = 1099188\,kN.cm$$

$$N_w = 4333x\frac{2504}{4264} = 2545\,kN$$

$$M_G = 1099188 + 1828x19,0 = 1133920\,kN.cm$$

$$I_p = 56x12^2 + 6x(5,5^2 + 16,5^2 + 27,5^2 + 38,5^2 + 49,5^2 + 60,5^2 + 71,5^2 + 82,5^2 + 93,5^2 + 104,5^2 + 115,5^2 + 126,5^2 + 137,5^2 + 148,5^2)$$

$$I_p = 671265\,cm^2$$

$$N_H = \frac{2545}{84} + \frac{1133920}{671265}x148,5 = 281\,kN$$

$$N_V = \frac{1828}{84} + \frac{1133920}{671265}x12 = 42\,kN$$

$$N_R = \sqrt{281^2 + 42^2} = 284\,kN$$

Gövde bulonları çift etkili bulonlardır; bir makaslama alanına gelen kuvvet

$$\frac{284}{2} = 142\,kN$$

olur. Bir M27 bulonu için bir makaslama alanının makaslama dayanımı hesap değeri:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,5x1000x459}{1,25x1000} = 183,6kN > 142kN \ \surd$$

20mm'lik levha için delik cidarında ezilme dayanımı hesap değeri;

$$\alpha = \left(\frac{65}{3x30}; \frac{100}{3x30} - \frac{1}{4}; \frac{100}{51}; 1,0 \right)_{min} = (0,72;0,86;1,96;1,0)_{min} = 0,72 \text{ ile}$$

gövde ek levhasında;

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5x0,72x51,0x2,7x2,0}{1,25} = 397kN > 142kN \ \surd$$

ve profil gövdesinde

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5x0,72x51,0x2,7x3,0}{1,25} = 595kN > 142kN \ \surd \text{ olarak hesaplanır.}$$

Başlık ek levhalarında kontrol:

$$Z = 9216\,kN$$

$$Z_1 = \frac{100,0x4,0}{100,0x4,0 + 120,0x4,0} x9216 = 4189kN \,;\ Z_2 = 9216 - 4189 = 5027kN$$

$$A_{1,net} = (100,0 - 5x3,9)x4,0 = 322cm^2$$

$$N_{1,t,Rd} = \begin{cases} 100,0x4,0x\dfrac{35,5}{1,10} = 12909kN \\ 0,9x322x\dfrac{51,0}{1,25} = 11824kN \end{cases}$$

$$N_{1,t,Rd} = 11824kN > 4189kN \ \surd$$

$$A_{2,net} = (120,0 - 5x3,9)x4,0 = 402cm^2$$

$$N_{2,t,Rd} = \begin{cases} 120,0x4,0x\dfrac{35,5}{1,10} = 15491kN \\ 0,9x402x\dfrac{51,0}{1,25} = 14761kN \end{cases}$$

$N_{2,t,Rd} = 14761kN > 5027kN \ \surd$

Gövde ek levhalarında kontrol:

$M_w = 1099188\,kN.cm,\ V_{Sd} = 1828\,kN$

$A_{3,net} = (313,0 - 56x3,0)x2,0 = 290cm^2$

$\dfrac{2x290}{2x313,0x2,0} = 0,46 < \dfrac{35,5}{51,0} = 0,696$ olduğundan enkesit kesme kuvveti alanında indirgeme yapılır.

$V_{pl,Rd} = \dfrac{2x290x51,0}{\sqrt{3}x1,10} = 15525kN$

$V_w = 1828kN < 0,5x1525 = 7762kN$ olduğundan plastik moment dayanımının indirgenmesine gerek yoktur.

$A_{t,net} = \left(\dfrac{313,0}{2} - 14x3,0\right)x2,0 = 229cm^2$

$0,9x\dfrac{2x229}{2x313x2,0} = 0,329 < \dfrac{35,5}{51,0}x\dfrac{1,25}{1,0} = 0,791$ olduğundan çekme bölgesinde enkesit zayıflaması dikkate alınacaktır.

$$M_{pl,Rd} = 2x\left[\begin{array}{l} 2x2,0x\dfrac{313}{2}x\dfrac{156,5}{2} - ... \\ ...3,0x2,0x(5,5+16,5+27,5+38,5+49,5+60,5+71,5+82,5+93,5 \\ +104,5+115,5+126,5+137,5+148,5) \end{array}\right]x\frac{35,5}{1,10}$$

$M_{pl,Rd} = 32744247kNcm > 1099188kNcm \ \surd$

4.7.6 Kabloların Boyutlandırılması

Kesit tesirleri en elverişsiz değerlerin elde edildiği Komb_9'dan (1,35G + 1,35P_S + 1,35W_{1d}) alınmıştır.

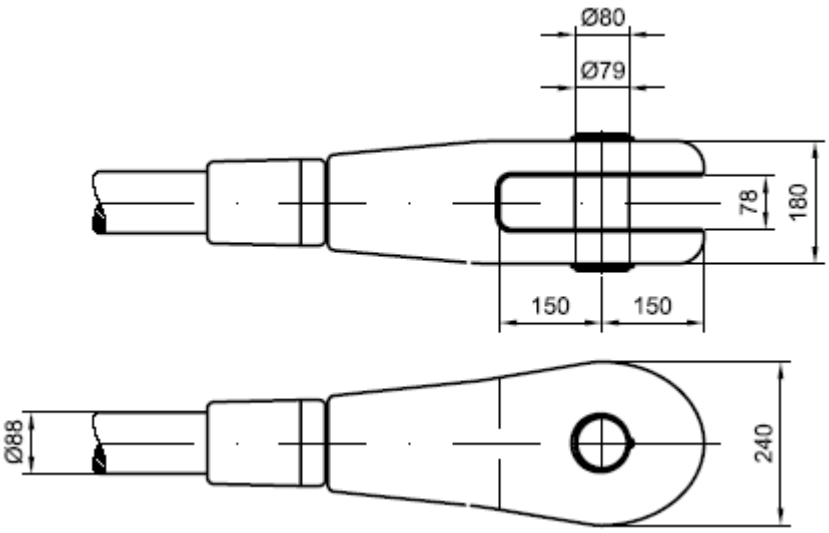
$\phi = 88\text{mm}$ 'lik kablolarda kontrol:

Normal kuvvet tasarım değeri: $N_{Sd} = 4436\,\text{kN}$

Normal kuvvet dayanım değeri: $N_{t,Rd} = 7090\,\text{kN}$

$N_{Sd} = 4436 < N_{t,Rd} = 7090\,\text{kN}$ √

$\phi 88$ kabloların bağlantılarında Şekil 4.30'da gösterilen soketler kullanılacaktır. Sözkonusu soketler; kablo çapına göre üretici firma tarafından tavsiye edilen soketlerdir.

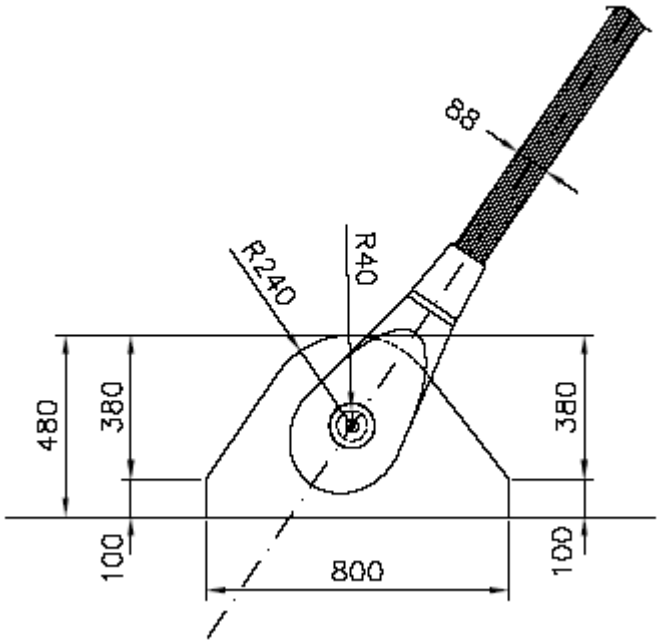


Şekil 4.30: $\phi 88$ kablo soketi

$\phi = 64\text{mm}$ 'lik kablolarda kontrol:

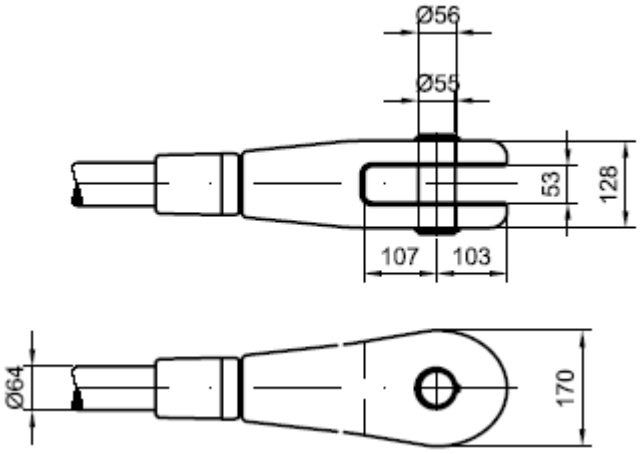
$N_{Sd} = 2410 < N_{t,Rd} = 3815\,\text{kN}$ √

$\phi = 88\text{mm}$ 'lik kabloların birleşiminde sadece levhalarda kontrol yapılacaktır. Levhaların kiriş üst başlığına ve kolon başlığına bağlantıları derin penetrasyonlu küt kaynakla yapılacağından kaynaklarda kontrole gerek yoktur.



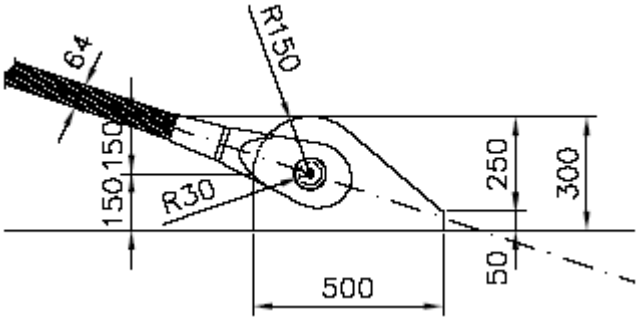
$$N_{t,Rd} = \frac{2x20,0x4,0x35,5}{1,1} = 5164kN > 4436kN$$

$\phi 64$ kabloların bağlantılarında Şekil 4.31'de gösterilen soket tipi kullanılacaktır.



Şekil 4.31: $\phi 64$ kablo soketi

$\phi = 64mm$'lik kabloların birleşiminde sadece levhalarda kontrol yapılacaktır. Levhaların kiriş üst başlığına ve kolon başlığına bağlantıları derin penetrasyonlu küt kaynakla yapılacağından kaynaklarda kontrole gerek yoktur.

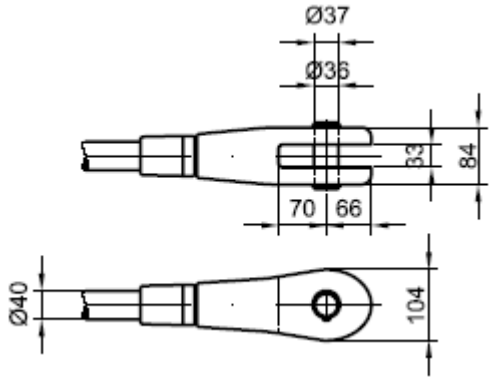


$$N_{t,Rd} = \frac{2x12,0x4,0x35,5}{1,1} = 3098kN > 2410kN$$

$\phi = 40mm$ 'lik kablolarda kontrol:

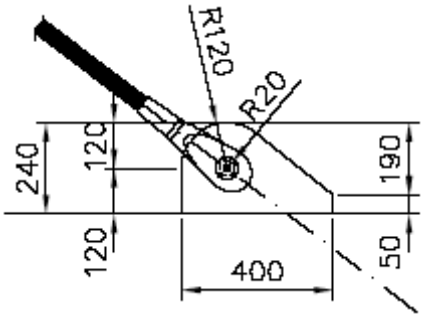
$$N_{Sd} = 643 < N_{t,Rd} = 1520\,kN \surd$$

$\phi 40$ kabloların bağlantılarında Şekil 4.32'de gösterilen soket tipi kullanılacaktır.



Şekil 4.32: $\phi 40$ kablo soketi

$\phi = 40mm$ 'lik kabloların birleşiminde sadece levhalarda kontrol yapılacaktır. Levhaların kiriş üst başlığına ve kolon başlığına bağlantıları derin penetrasyonlu küt kaynakla yapılacağından kaynaklarda kontrole gerek yoktur.



$$N_{t,Rd} = \frac{2x10,0x3,0x35,5}{1,1} = 1937kN > 643kN$$

4.8 Stabilite Bağlantılarının Boyutlandırılması

4.8.1 Düşey Stabilite Bağlantıları

Düşey stabilite bağlantıları deprem yüklerine boyutlandırılacaktır.

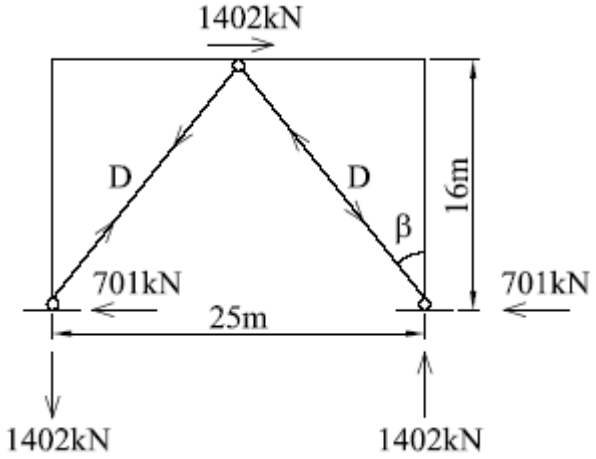
$$V_t = \frac{W.A(T1)}{R_a(T1)}$$

$$W = (0{,}15 + 0{,}15 + 0{,}05 + 0{,}20 + 0{,}10 + 0{,}75x0{,}3)x150x60 + 0{,}10x\frac{16{,}0}{2}x150 + 7x60 = 8415kN$$

$$V_t = \frac{8415x0{,}40x2{,}5x1{,}5}{3} = 4207kN$$

Yapıda üç aralıkta düşey çapraz mevcuttur. Bir adet çapra düzenine gelen yatay deprem kuvveti:;

$V_t = \frac{4207}{3} = 1402kN$ 'dur.



$$\tan\beta = \frac{25/2}{16} = 0{,}781 \rightarrow \beta = 38{,}0^0;\ D = \frac{1402}{2xSin\,38} = 1140kN$$

Diyagonalde kontrol:

Seçilen kesit: Kutu 500x500x12 $i = 19{,}9cm$ $A = 234{,}2cm^2$ Fe360 $\rightarrow$ $\varepsilon = 1{,}0$

$$\lambda_D = \sqrt{16^2 + (\frac{25}{2})^2} = 20{,}3m$$

$$\lambda = \frac{2030}{19{,}9} = 102;\ \bar{\lambda} = \frac{102}{93{,}9} = 1{,}09 \rightarrow \text{b" eğrisi } \alpha = 0{,}34$$

$$\phi = \frac{1}{2}\left[1 + 0{,}34(1{,}09 - 0{,}2) + 1{,}09^2\right] = 1{,}25$$

$$\chi = \frac{1}{1{,}25 + \sqrt{1{,}25^2 - 1{,}09^2}} = 0{,}537$$

Enkesit sınıfı: $\frac{500 - 2x12}{12} = 39{,}67 < 42.\varepsilon = 42$ → Sınıf-1

$$N_{b,Rd} = 0{,}537x234{,}2x\frac{23{,}5}{1{,}10} = 2687kN > D = 1140kN \ \surd$$

Dikmelerde kontrol:

Seçilen kesit: Kutu 600x600x15 $i = 23{,}9cm$ $A = 351cm^2$ Fe360 → $\varepsilon = 1{,}0$

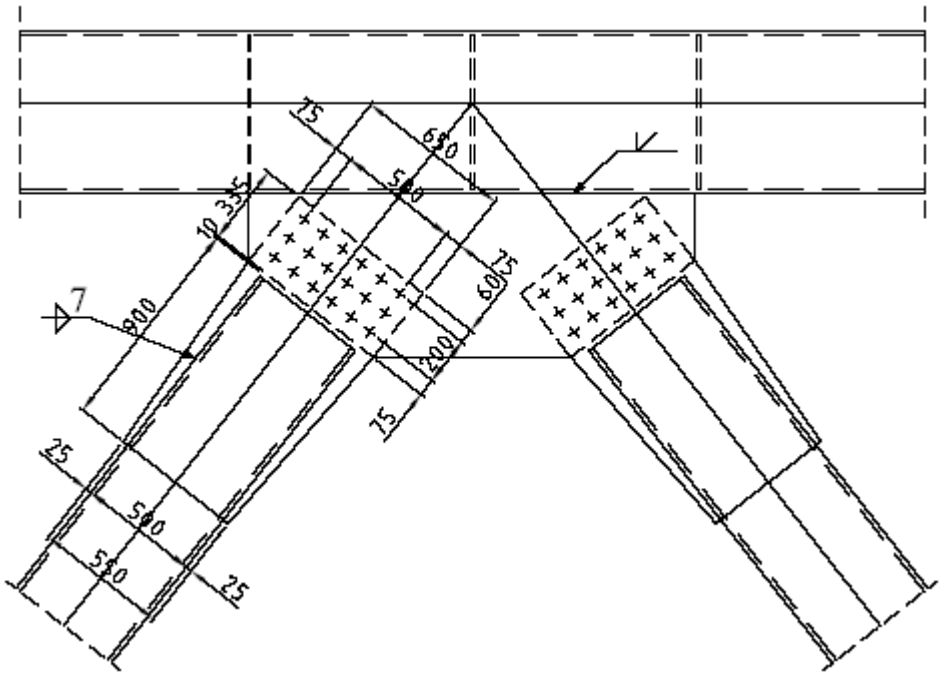
$$\lambda = \frac{2500}{23{,}9} = 105;\ \bar{\lambda} = \frac{105}{93{,}9} = 1{,}12$$ → b" eğrisi $\alpha = 0{,}34$

$$\phi = \frac{1}{2}\left[1 + 0{,}34(1{,}12 - 0{,}2) + 1{,}12^2\right] = 1{,}28$$

$$\chi = \frac{1}{1{,}28 + \sqrt{1{,}28^2 - 1{,}12^2}} = 0{,}526$$

Enkesit sınıfı: $\frac{600 - 2x15}{15} = 38 < 42.\varepsilon = 42$ → Sınıf-1

$$N_{b,Rd} = 0{,}526x351x\frac{23{,}5}{1{,}10} = 3944kN > 1402kN \ \surd$$



Şekil 4.33: Düşey çapraz birleşim detayı

Birleşimde kontrol:

Diyagonalin kirişe birleşimi:

Köşe kaynaklı ve bulonlu birleşimde birleşimin dayanımı, birleştirilen parçanın plastik dayanımından %20 daha fazla olmalıdır.

$$R_d \geq 1{,}20.R_{fy}$$

$$R_{fy} = 234{,}2x23{,}5 = 5504kN;\ R_d = 1{,}20x5504 = 6605kN$$

Kaynaklarda kontrol:

$$R_{wd} = 4x90x0{,}09x\frac{36{,}0}{\sqrt{3}x0{,}8x1{,}25} = 6740kN < 6605kN\ \surd$$

Bulonlarda kontrol: M30 (10.9)

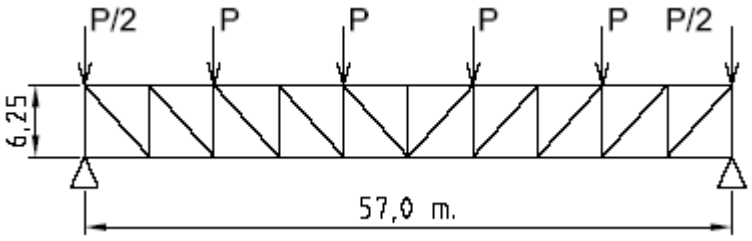
$$F_{v,Rd} = 18x2x\frac{280{,}5}{1{,}25} = 8078kN < 6605kN$$

$$\alpha = \left(\frac{75}{3x33}; \frac{100}{3x33} - \frac{1}{4}; \frac{100}{36}; 1{,}0\right)_{min} = 0{,}76$$

$$F_{b,Rd} = 18x0{,}76x2{,}5x36{,}0x3{,}0x3{,}0/1{,}25 = 8865kN > 6605kN\ \surd$$

4.8.2 Çatı Stabilite Bağlantıları

Çatı stabilite bağlantıları rüzgar ve deprem yüklerini düşey stabilite bağlantılarına iletecek şekilde tasarlanacaktır.

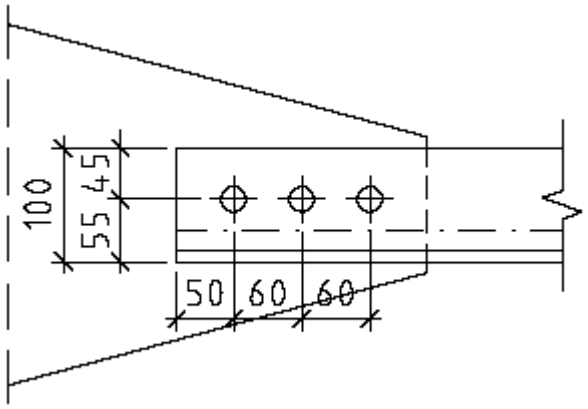


Şekil 4.34: Çatı çaprazı statik sistemi

$$P_w = 11{,}4x\frac{\left[10x0{,}80x(8+\frac{10}{2})+0{,}50x\frac{8^2}{2}\right]}{18} = 76kN$$

$$P_E = \frac{3195}{7}x\frac{1}{5} = 91{,}3kN$$

Çapraz elemanlarda oluşan en büyük eksenel çekme kuvveti: $N_{Sd} = 247kN$



Şekil 4.35: Çatı çaprazı birleşimi

Bulon aralıklarının kontrolü:

$$e_1 = 50mm \begin{cases} < 1{,}2x22 = 26{,}4mm \\ < 12x10 = 120mm \\ < 150mm \end{cases}$$

$$p_1 = 60mm \begin{cases} > 2,2x22 = 48,4mm \\ < 14x10 = 140mm \\ < 200mm \end{cases}$$

$e_2 = 45mm$

L100x10 korniyerde kontrol:

Enkesit dayanımı kontrolü:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A.f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{19,2x23,5}{1,10} = 410kN > N_{Sd} = 247kN \ \surd$$

Net enkesitte sınır tasarım dayanım kontrolü:

$d_0 = 20 + 2 = 22mm$

$A_{net} = 19,2 - 2,2x1,0 = 17cm^2$

$$\beta = \frac{p_1}{d_0} = \frac{60}{22} = 2,73 \rightarrow \beta_3 = 0,52$$

$$N_{Rd} = \frac{\beta_3.A_{net}.f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,52x17x36,0}{1,25} = 255kN > 247kN \ \surd$$

$$\lambda = \frac{425}{3,04} = 141 < 250 \ \surd$$

Bulonlarda kontrol:

M20, (8.8; SL) $A_s = 2,45cm^2$

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6x80x2,45}{1,25} = 94kN$$

$$\alpha = \left(\frac{50}{22x3}; \frac{60}{22x3} - \frac{1}{4}; \frac{80}{36}; 1,0 \right)_{min} = 0,66 ,$$

$F_{b,Rd} = 2,5x0,66x36,0x2,0x1,0 = 118,8kN$

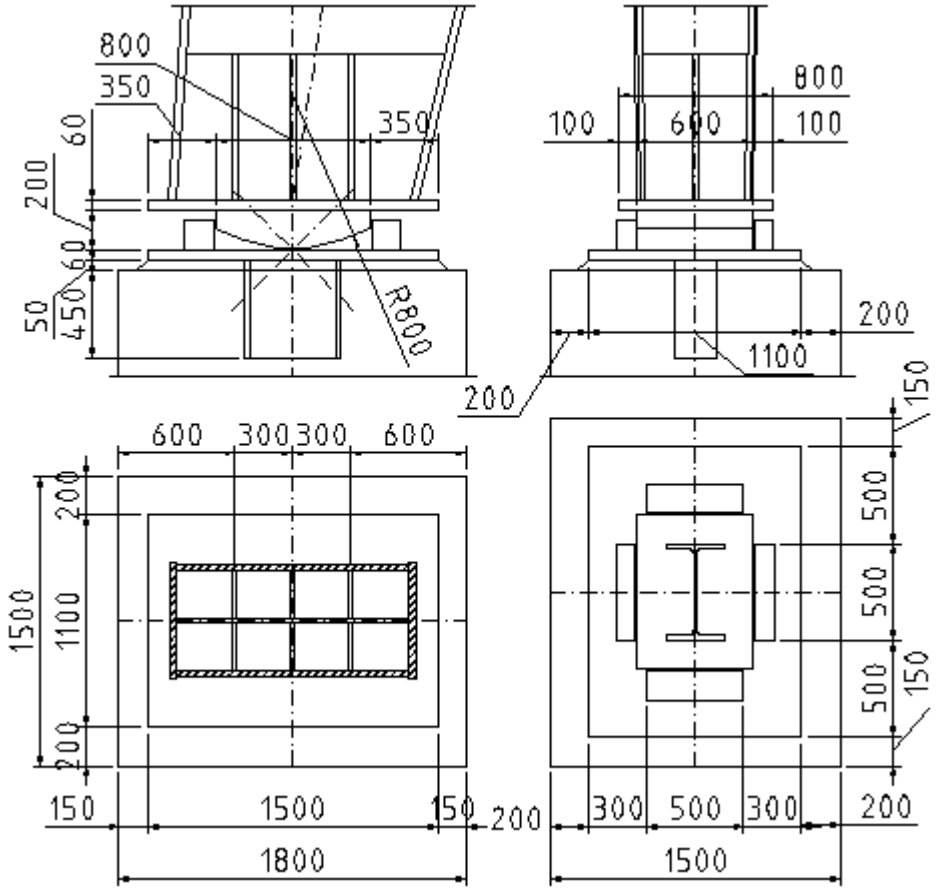
$N_{t,Rd} = (118,8;94,0)_{min} = 94,0kN$

$n = \frac{247}{94,0} = 2,6 \rightarrow$ çaprazlarının bağlantılarında 3'er adet M20 bulon kullanılacaktır.

4.9 Kolon, Kablo Temel Bağlantıları ve Temel Tasarımı

4.9.1 Kolon Ayağı Tasarımı

Kolon ayakları Şekil 4.36'da gösterildiği gibi mafsallı, yani merkezilik parçası kullanılarak teşkil edilmiştir.



Şekil 4.36: Kolon ayağı detayı

Mesnet tepkileri Komb_9 (1,35G + 1,35P_S + 1,35W_{1d})'da oluşmuştur. Detay bu tesirlere göre boyutlandırılcaktır.

$N_{Sd} = 7385kN,\ V_{Sd} = 1970kN$

Hertz formülüne göre temas gerilmesi kontrolü:

$$\sigma_T = 0{,}418\sqrt{\frac{N_{Sd}.E}{\lambda r}} = 0{,}418\sqrt{\frac{7385.21000}{60.80}} = 75{,}1kN/cm^2 < 6{,}5.1{,}35 = 8{,}775kN/cm^2$$

$$\sigma_T = 75{,}1 kN/cm^2 < 65.1{,}35 = 87{,}75 kN/cm^2 \ \surd$$

Temas çizgisinden itibaren 45o'lik gerilme yayılışı kabulü ile; kolon profili ucunda gerilme kontrolü:

$$f = 3.3{,}0.52{,}0 + 3{,}0.25 = 543 cm^2 \ \rightarrow \ \sigma = \frac{7385}{543} = 13{,}6 \frac{355}{1{,}1.10} = 32{,}27 kN/cm^2 \ \surd$$

Kolon profili ucunda bir gövde takviye lamasına gelen kuvvet:

$$13{,}6.25{,}0.3{,}0 = 1020 kN$$

Bu kuvveti kolon gövdesine aktaran kaynaklarda kontrol:

$$\tau_w = \frac{1020}{2.75{,}0.0{,}7} = 9{,}7 < f_w = \frac{36{,}0}{\sqrt{3}.0{,}8.1{,}25} = 20{,}8 kN/cm^2 \ \surd$$

Taban levhası kalınlığı:

$$\sigma_c = \frac{N_{Sd}}{A} = \frac{7385x1000}{1500x1100} = 4{,}5 N/mm^2 < 16{,}7 N/mm^2 \ \surd \text{(C25)}$$

$$t_p \geq \frac{150}{2}\sqrt{\frac{3.45}{20800}} = 6{,}0 cm \ \rightarrow \ t_p = 60 mm$$

Kolonu uç levhasına bağlayan kaynakların kontrolü:

$$f_w = \frac{f_u}{\sqrt{3}.\beta_w.\gamma_{Mw}} = \frac{36{,}0}{\sqrt{3}.0{,}8.1{,}25} = 20{,}8 kN/cm^2$$

$$\sigma_{w,f} = \frac{N_{Sd}}{A}.t_f.\frac{1}{2.a_f} = \frac{7385}{3120}.4{,}0.\frac{1}{2.1{,}0} = 4{,}7 kN/cm^2 < 20{,}8 kN/cm^2 \ \surd$$

$$\left.\begin{aligned} \sigma_{w,w} &= \frac{N_{Sd}}{A} t_w \frac{1}{2a_w} = \frac{7385}{3120} x3{,}0x \frac{1}{2.1{,}0} = 3{,}55 \\ \tau_{w,w} &= \frac{V_{Sd}}{2a_w d} = \frac{1970}{2.1{,}0.120} = 8{,}2 \end{aligned}\right\} \ \sigma_{w,r} = \sqrt{\sigma_{w,w}{}^2 + \tau_{w,w}{}^2}$$

$$\sigma_{w,r} = \sqrt{3{,}55^2 + 8{,}2^2} = 8{,}9 \ < 20{,}8 kN/cm^2 \ \surd$$

Kama elemanı olarak farklı malzeme kullanmamak için dikme profili olarak kullanılan HE 450B profili kullanılmıştır.

Beton basınç gerilmesi tasarım değeri:

$$\sigma_c = \frac{V_{Sd}}{A} \le f_{cd} = \frac{1970}{40x45} = 1{,}1 < 1{,}67\,\text{kN/cm}^2 \quad \surd \text{(C25)}$$

Profilde kontrol:

$$M = 1{,}1.30.22{,}5^2 / 2 = 836\,\text{kN.cm} << M_{y,pl,Rd} = \frac{4815.23{,}5}{1{,}10} = 102866\,\text{kN.cm}$$

Kamayı taban levhasına bağlayan kaynaklarda kontrol:

$$I_w = 2.0{,}7.\frac{(39-2.0{,}7)^3}{12} + 2.0{,}7.30.25^2 = 32452\,\text{cm}^4$$

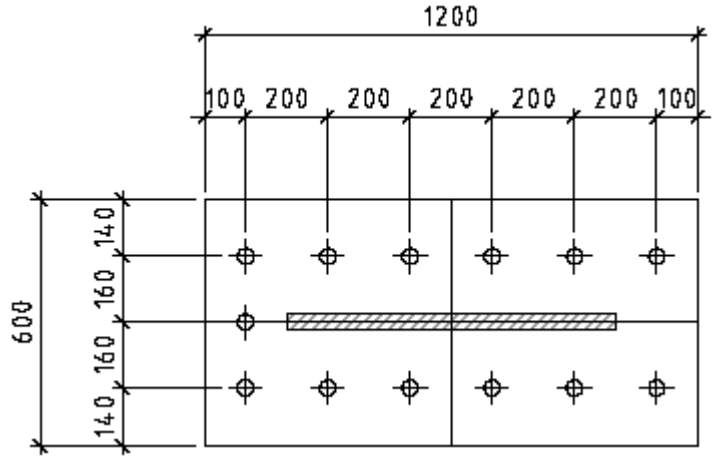
$$A_w = 2.0{,}7.(39-2.0{,}7) = 62{,}64\ \text{cm}^2$$

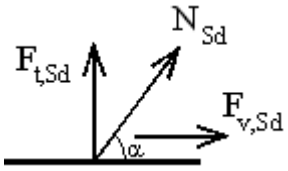
$$M = 1970.45/2 = 44325\,\text{kN.cm}$$

$$\sigma_{w,f} = \frac{836}{32452}.(\frac{50}{2} + 0{,}7) = 0{,}66\,\text{kN/cm}^2 < 20{,}8\,\text{kN/cm}^2 \quad \surd$$

$$\tau_{w,w} = \frac{100{,}3}{11{,}36} = 8{,}8 < 20{,}8\,\text{kN/cm}^2 \quad \surd$$

4.9.2 Kablo Temel Bağlantısı





$$\alpha = \tan^{-}\frac{36}{24} = 56{,}3^{0};\ F_{t,Sd} = 4436kN$$

$$F_{t,Sd} = 4436xSin\,56{,}3 = 3691kN$$

$$F_{v,Sd} = 4436xCos\,56{,}3 = 2461kN$$

Bulonlarda kontrol: M36 (10.9); $A_s = 817mm^2$

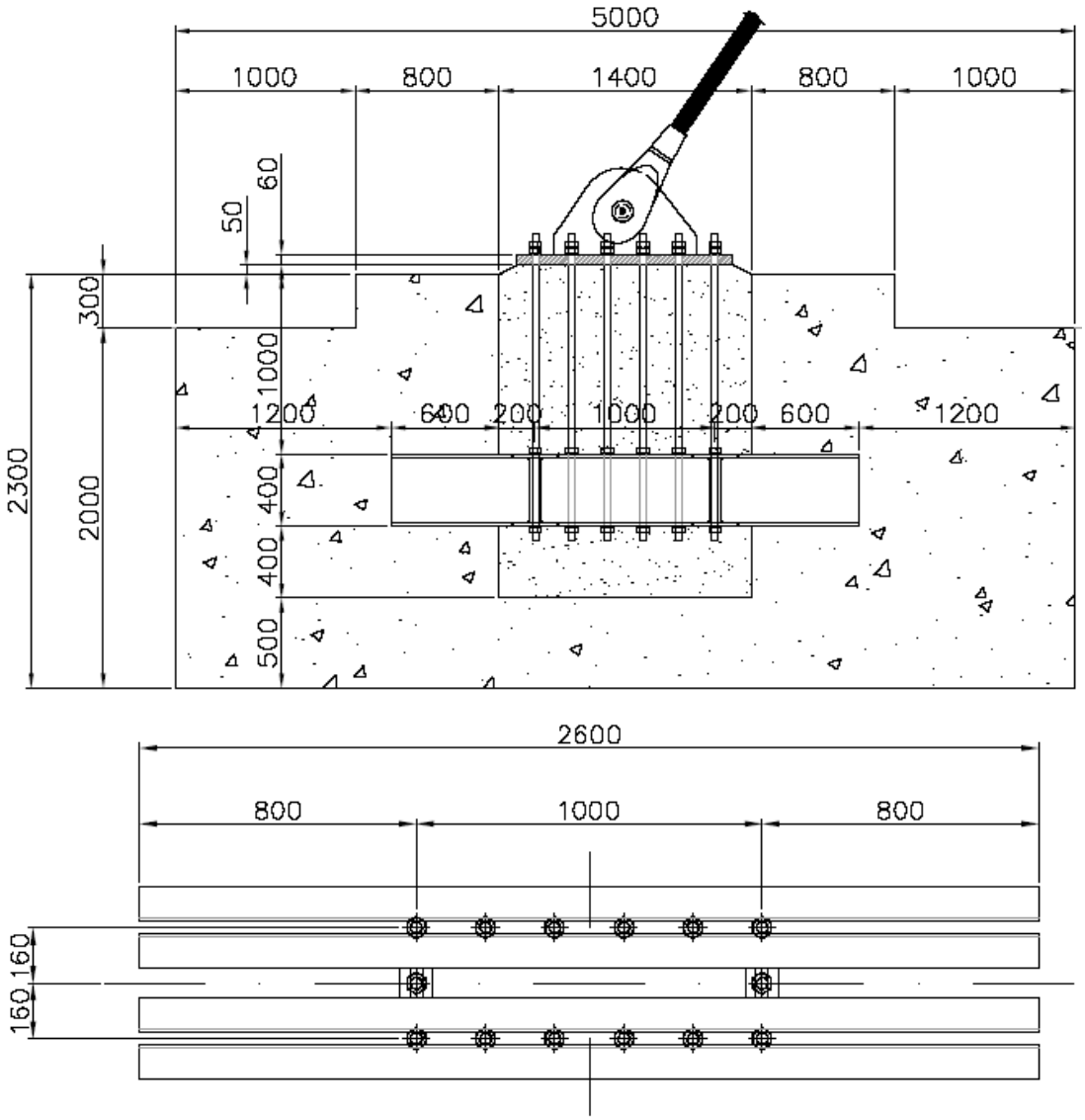
$$F_{1t,Rd} = \frac{0{,}9x1000x817}{1{,}25x1000} = 588{,}2kN;\ n = \frac{3691}{588{,}2} = 6{,}3\,adet$$

$$F_{1v,Rd} = \frac{0{,}5x1000x817}{1{,}25x1000} = 326{,}8kN;\ n = \frac{2461}{326{,}8} = 7{,}5\,adet$$

Bileşke kuvvete göre kontrol:

$$\frac{1}{n}.\left[\frac{F_{v,Sd}}{F_{1v,Rd}} + \frac{F_{t,Sd}}{1{,}4.F_{1t,Rd}}\right] \le 1{,}0 \text{ olmalıdır. } n = 14\,adet$$

$$\frac{1}{14}x\left[\frac{2461}{326{,}8} + \frac{3691}{1{,}4x588{,}2}\right] = 0{,}86 < 1{,}0\ \surd$$



Şekil 4.37: Kablo temel bağlantısı detayı

Betonda kontrol: $p = \frac{Z}{4.b.2.\lambda_k} = \frac{3691000}{4x100x2x600} = 7,7kN/mm^2 < 16,7N/cm^2 \surd$

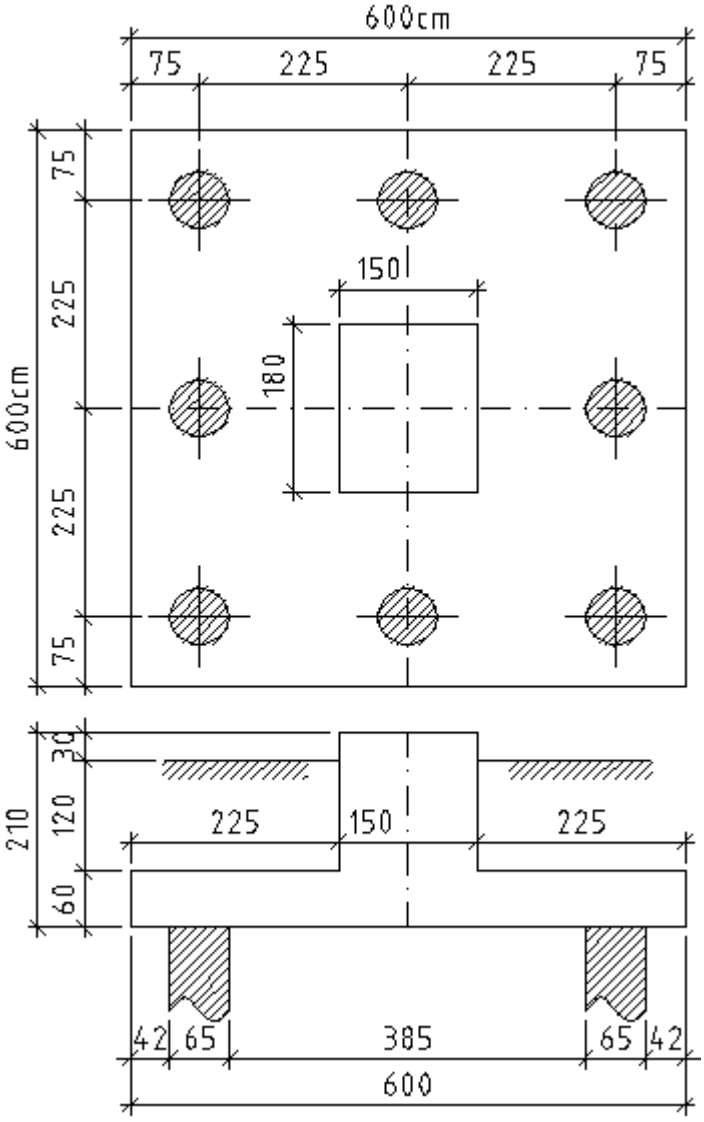
U400 profilde kontrol: $M = \frac{Z}{4}\left(e - \frac{\lambda_k}{2}\right) = \frac{3691000}{4}\left(800 - \frac{600}{2}\right) = 461375000N.mm$

$M_{Sd} = \frac{46137,5}{2} = 23069kN.cm$; $W_{y,pl} = 1240cm^3$; Sınıf-1

$M_{Sd} = \frac{1240x35,5}{1,1} = 40018kN.cm > 23069kN.cm \surd$

4.9.3 Kolon Temeli Tasarımı

Çelik kolonlara mesnetlik eden betonarme temeller; kolon aralaıklarının büyük olması nedeniyle tekil temel olarak tasarlanmak istenmiştir. Ancak eksenel yükün şiddetinin yüksek olması nedeniyle zeminde emniyet gerilmesi tekil temel durumunda aşılmaktadır. Bu nedenle kolon temelleri kazıklı olarak teşkil edilmiştir. Bu kazıklar yerinde dökme betonla imal edilen kazık olarak tasarlanmıştır. Kazıklar zemin ile beton arasındaki sürtünmeden yararlanarak kuvvet aktarmaktadır. Temeldeki beton C25, donatı ise S420 (BÇIII)'tür.



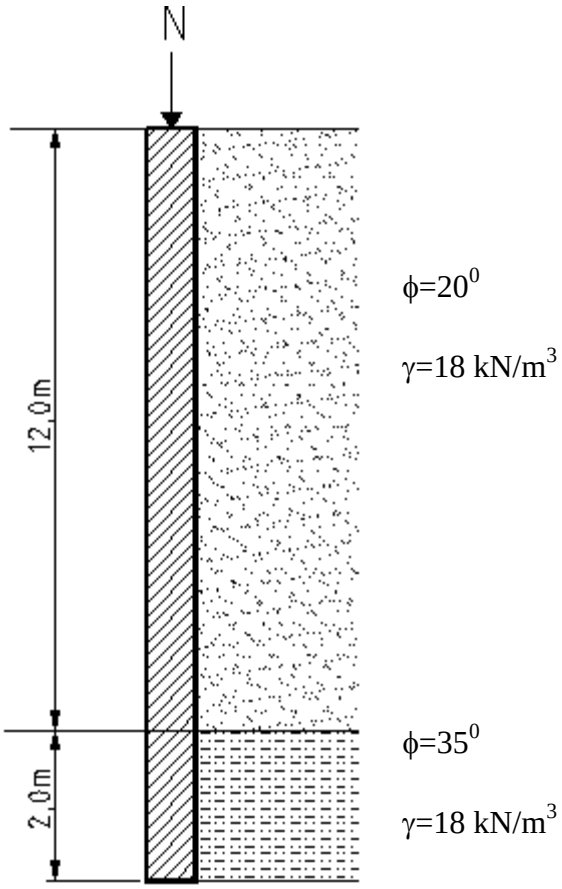
Şekil 4.38: Temel kalıp planı

Kazık hesabı:

1 adet kazığa gelen normal kuvvet;

$$N_Q = 2100/8 = 263kN,\ N_G = 3200/8 = 400t,\ W_1 = \pi x \frac{0,65^2}{4} x12x25 = 100kN$$

$$\sum W_1 = 263 + 400 + 100 = 763kN$$



Şekil 4.39: Betonarme kazık kesiti

Çevre sürtünmesi:

$$q_s = \sigma_0' \cdot k_s \cdot \tan\delta \qquad \sigma_0' = 5 \times 18 = 90kN/m^2$$

$$k_S = 1,0,\ \delta = \frac{3}{4} \cdot 20 = 15,\ \tan 15 = 0,268$$

$$q_s = 90x0,268x1 = 24,1kN/m^2$$

$$A_S = \pi x0,65x12 = 24,5m^2 \quad Q_S = A_S.q_S = 24,5x24,1 = 590kN$$

Uç direnci:

$$q_b = \sigma_0' \cdot N_q \quad \sigma_0' = 1 \times 18 = 18 kN/m^2$$

$$\phi = 33 \rightarrow N_q = 33,3 \quad q_b = 33,3x18 = 600 kN/m^2$$

$$A_b = \frac{\pi \times 0,65^2}{4} = 0,3318 m^2$$

$$Q_b = A_b . q_b = 0,3318x600 = 2000 kN$$

$$Q_a = \frac{2000 + 590}{2,5} = 1036 kN > 763 kN$$

$$A_c = \frac{\pi \times 0,65^2}{4} = 0,332 m^2, \; A_{ck} = \frac{\pi \times 0,50^2}{4} = 0,196 m^2$$

$$f_{cd} = 17 N/mm^2, \; f_{yd} = 365 N/mm^2$$

$$\rho s_{\geq} 0,45 \times \left(\frac{A_c}{A_{ck}} - 1 \right) \times \frac{f_{cd}}{f_{yd}}, \; \rho s_{\geq} 0,12 \times \frac{f_{cd}}{f_{yd}}, \; \rho s_{\geq} 0,008$$

$$\rho s_{\geq} 0,45 \times \left(\frac{0,332}{0,196} - 1 \right) \times \frac{13,3}{365} = 0,0114, \; \rho s_{\geq} 0,12 \times \frac{13,3}{365} = 0,00437$$

$$A_s = 0,0114x\pi x \frac{0,65^2}{4} = 3783 mm^2 \rightarrow$$ seçilen 15Φ18 (3810 mm^2)

Kazık başlığından 2 m aşağıya kadar Φ12/8 diğer kısımda Φ12/20 etriye kullanılacaktır.

Plak donatısının belirlenmesi:

$$P = \frac{1,6x263/8 + 1,4x(400/8 + 100)}{4,50} = 58,4 kN$$

$$M_d = 58,4x \frac{4,5^2}{8} = 147,8 kN.m$$

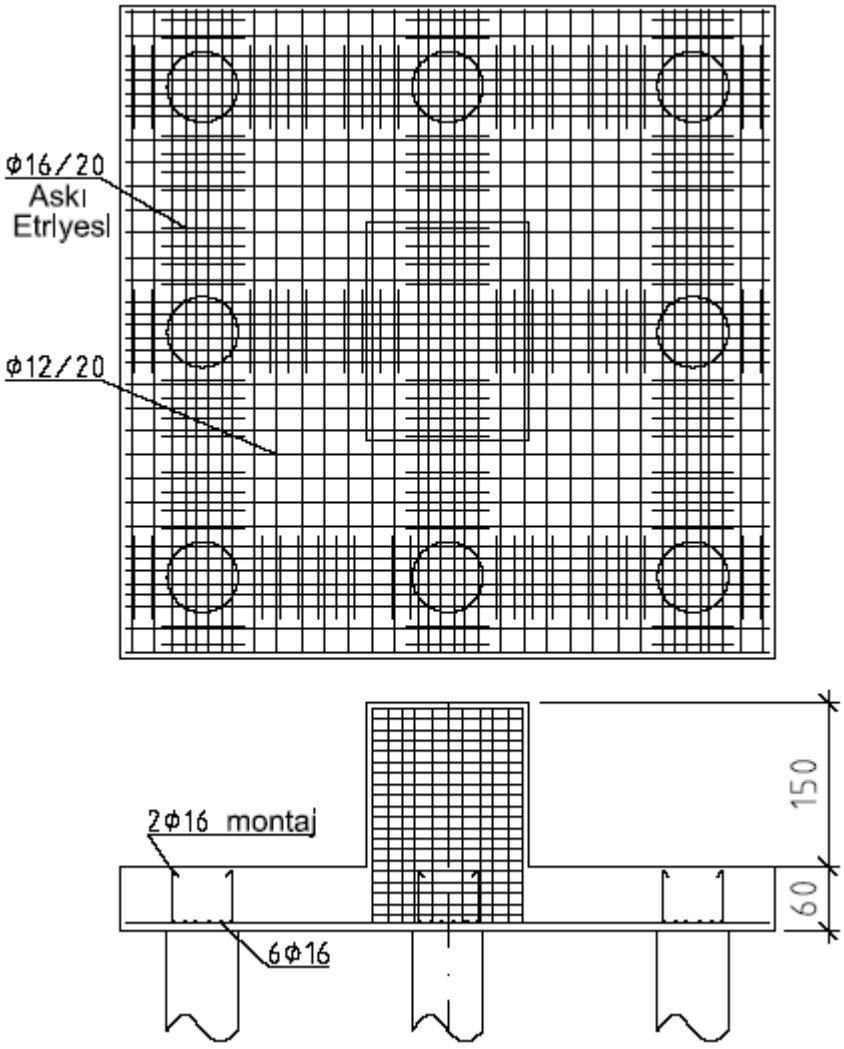
$\frac{3,85}{0,65} = 5,5 > 2$ olduğu halde güvenli tarafta kalınarak yüksek kiriş gibi hesaplanacaktır.

$$A_s = \frac{147,8}{0,60x0,60x36,5} = 11,25cm^2 \rightarrow \text{seçilen } 6\Phi16\ (12,3cm^2)$$

Gerekli askı donatısı:

$$A_{sw} = \frac{0,5x58,4}{36,5} = 1,0cm^2 \rightarrow \text{konstrüktif olarak seçilen } \Phi16/20$$

Kolon donatısı: $A_{s,min} = 0,01x150x200 = 300cm^2$



Şekil 4.40: Temel donatı planı

5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde öncelikle dinamik analiz sonuçları modal periyotlar ve katılım oranları, taban kesme kuvvetleri ve yerdeğiştirmeler açısından değerlendirilmiştir. Değerlendirmede yapının davranışının ABYYHY'de belirtilen sınırlara uyup uymadığı kontrol edilmiştir.

5.1 Modal Periyotlar ve Katılım Oranları

Tablo 4.2: Periyotlar ve frekanslar

TABLE: Modal Periods And Frequencies						
Output Case	Step Type	Step Num	Period	Frequency	Circ Freq	Eigenvalue
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
MODAL	Mode	1	0.683687	1.4627	9.1902	84.459
MODAL	Mode	2	0.479967	2.0835	13.091	171.37
MODAL	Mode	3	0.451946	2.2127	13.902	193.28
MODAL	Mode	4	0.442798	2.2584	14.19	201.35
MODAL	Mode	5	0.439304	2.2763	14.303	204.56
MODAL	Mode	6	0.435104	2.2983	14.441	208.53
MODAL	Mode	7	0.43377	2.3054	14.485	209.82
MODAL	Mode	8	0.433052	2.3092	14.509	210.51
MODAL	Mode	9	0.432703	2.3111	14.521	210.85
MODAL	Mode	10	0.432552	2.3119	14.526	211
MODAL	Mode	11	0.410302	2.4372	15.314	234.51
MODAL	Mode	12	0.363088	2.7542	17.305	299.46
MODAL	Mode	13	0.323555	3.0907	19.419	377.11
MODAL	Mode	14	0.298817	3.3465	21.027	442.13
MODAL	Mode	15	0.298132	3.3542	21.075	444.16
MODAL	Mode	16	0.290742	3.4395	21.611	467.03

ABYYHY'de 6.7.4.2'deki formüle göre yaklaşık periyot tahmini yapılırsa; $T1 = 0{,}08x16^{3/4} = 0{,}64sn$ bulunur. Tablo 4.2' de görüldüğü gibi bu değer ile birinci moda karşı gelen periyot değeri birbirine oldukça yakın değerlerdir.

Tablo 4.3: Kütle katılım oranları

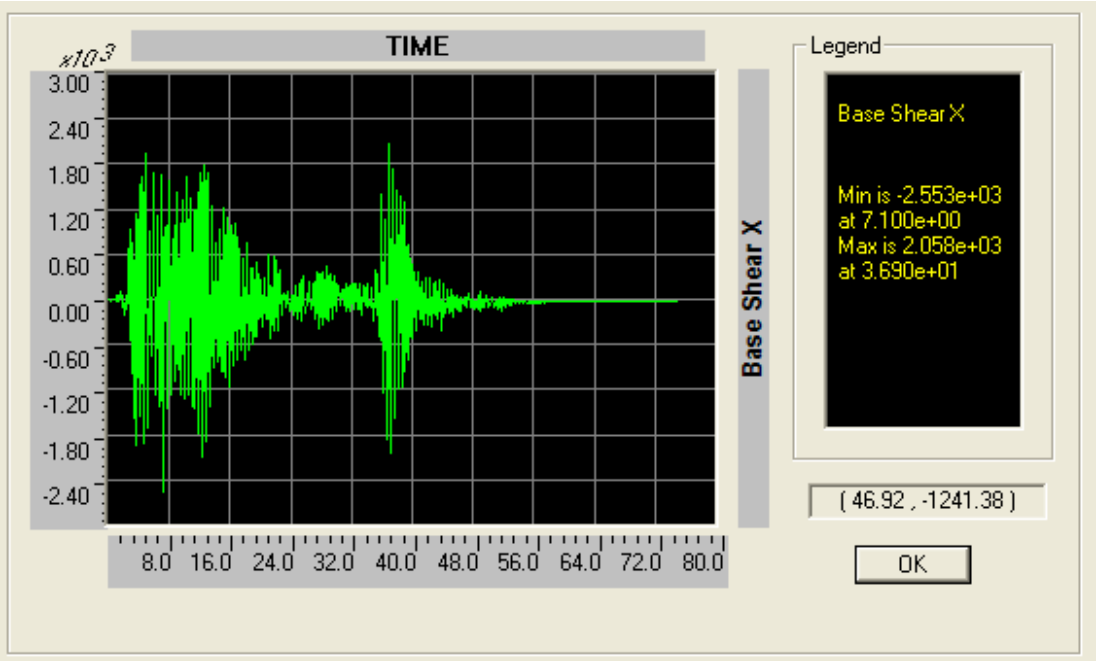
TABLE: Modal Participating Mass Ratios								
Output Case	Step Num	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ
Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	1	0.68369	0.00000	0.79975	0.00000	0.00000	0.79975	0.00000
MODAL	2	0.47997	0.89629	0.00016	0.04231	0.89629	0.79991	0.04231
MODAL	3	0.45195	0.01442	0.01933	0.00055	**0.91071**	0.81925	0.04286
MODAL	4	0.44280	0.00162	0.01899	0.00006	0.91234	0.83824	0.04292
MODAL	5	0.43930	0.00052	0.00063	0.00002	0.91286	0.83887	0.04294
MODAL	6	0.43510	0.00000	0.00006	0.00000	0.91286	0.83893	0.04294
MODAL	7	0.43377	0.00003	0.00004	0.00000	0.91289	0.83897	0.04294
MODAL	8	0.43305	0.00000	0.00000	0.00000	0.91289	0.83897	0.04294
MODAL	9	0.43270	0.00000	0.00001	0.00000	0.91289	0.83898	0.04294
MODAL	10	0.43255	0.00000	0.00001	0.00000	0.91289	0.83899	0.04294
MODAL	11	0.41030	0.03595	0.00002	0.00122	0.94885	0.83901	0.04416
MODAL	12	0.36309	0.00066	0.00211	0.00001	0.94950	0.84112	0.04417
MODAL	13	0.32356	0.00174	0.00033	0.00003	0.95125	0.84145	0.04419
MODAL	14	0.29882	0.02650	0.00007	0.34844	0.97775	0.84152	0.39264
MODAL	15	0.29813	0.00000	0.01390	0.00030	0.97775	0.85542	0.39294
MODAL	16	0.29074	0.00003	0.10461	0.00033	0.97778	**0.96004**	0.39327

Tablo 4.3'de de görüldüğü gibi X yönündeki kütle katılım oranı ABYYHY'de belirtilen %90 koşulunu 3. modda aşarken Y yönünde bu değer ancak 16. modda aşılmaktadır.

5.2 Taban Kesme Kuvvetleri

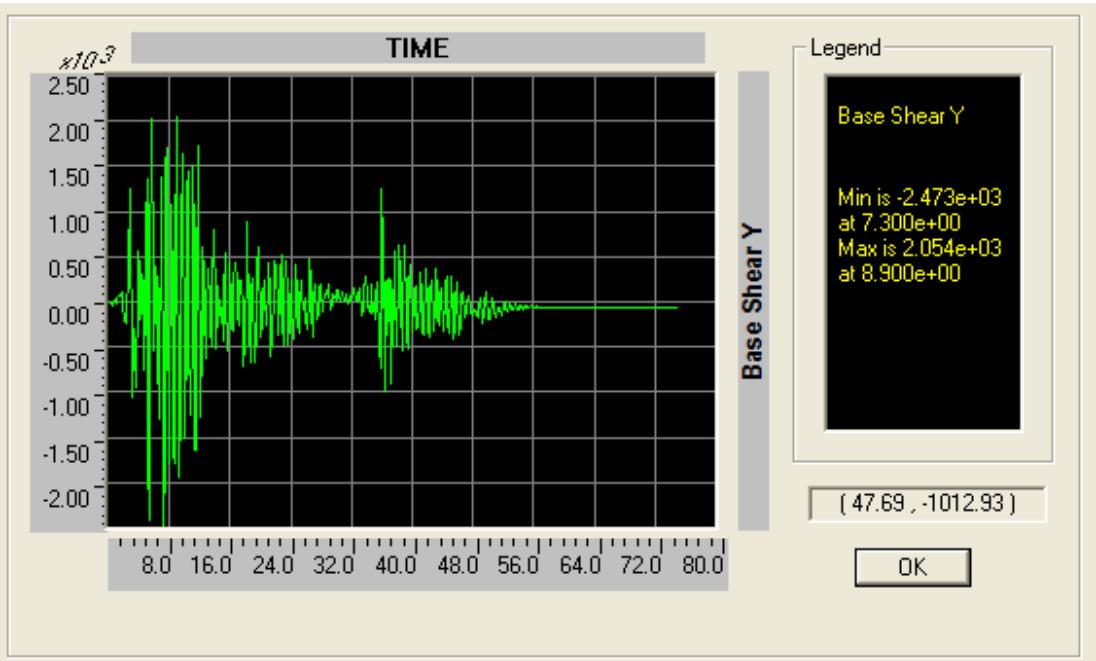
Tablo 4.4: Taban kesme kuvvetleri

TABLE: Base Reactions							
Output Case	**Step Num**	**Global FX**	**Global FY**	**Global FZ**	**Global MX**	**Global MY**	**Global MZ**
Text	Unitless	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
L_X		2058.3	23.3	614.9	50706.0	13246.1	196343.2
L_X		-2552.8	-20.0	-648.8	-55007.5	-16321.8	-157013.5
L_Y		38.7	2054.2	39.6	33867.6	246.0	27046.8
L_Y		-33.2	-2473.0	-50.0	-29211.7	-215.4	-29931.0
T_Y		27.9	2678.5	62.3	33688.5	160.6	27225.4
T_Y		-42.2	-2718.3	-109.7	-42670.5	-190.6	-28304.1
T_X		2058.3	23.3	614.9	50706.0	13246.1	196343.2
T_X		-2552.8	-20.0	-648.8	-55007.5	-16321.8	-157013.5
V		808.1	68.1	2128.8	187657.6	4757.1	81226.2
V		-940.0	-50.2	-2471.8	-218114.8	-5296.6	-66271.8



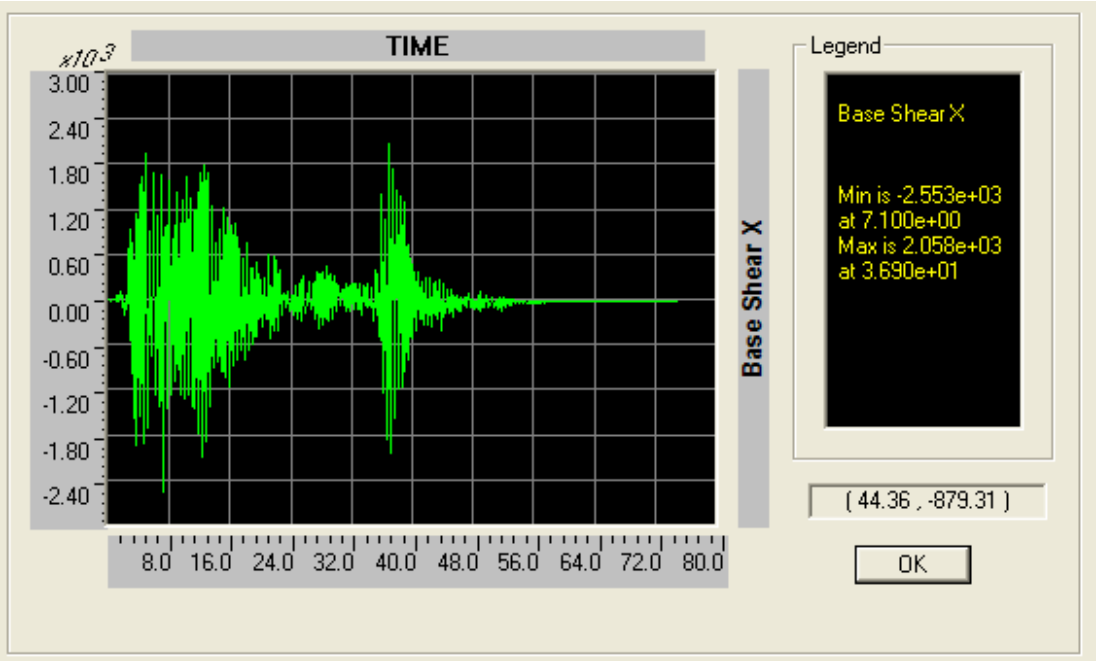
Şekil 4.41: L_X yönü taban kesme kuvveti

Kocaeli depreminin Kuzey-Güney bileşeninin X doğrultusunda oluşturduğu taban kesme kuvvetinin en büyük değeri Şekil 4.41'de görüldüğü gibi 7,1. saniyede oluşan 2553kN değeridir.



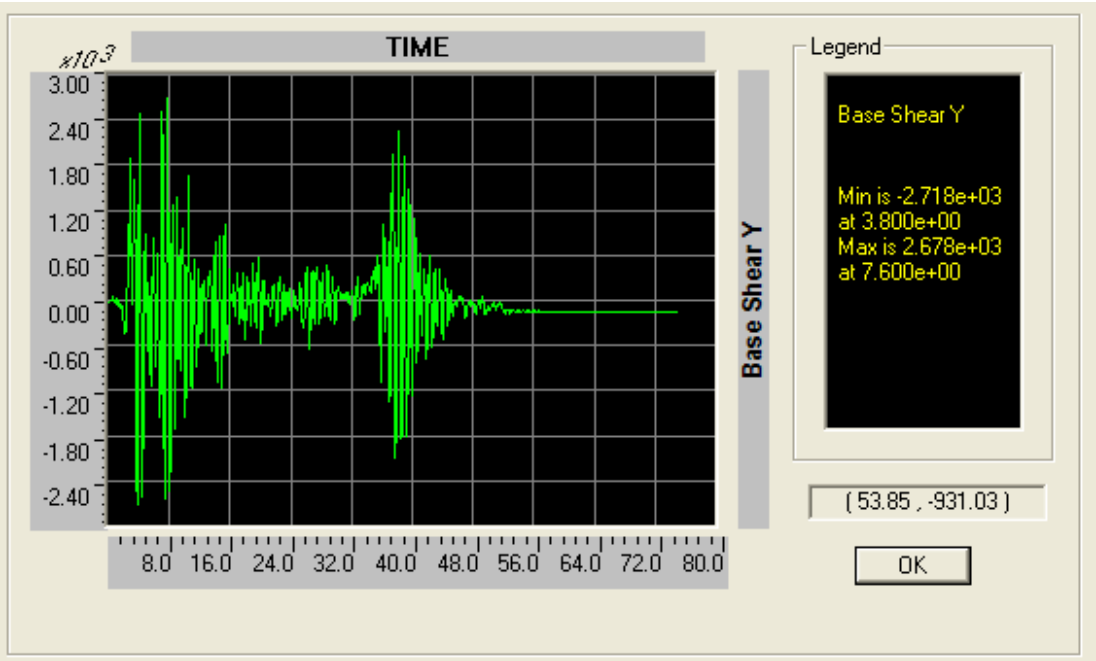
Şekil 4.42: L_Y yönü taban kesme kuvveti

Kocaeli depreminin Kuzey-Güney yönü bileşeninin Y doğrultusunda oluşturduğu taban kesme kuvvetinin en büyük değeri Şekil 4.42'de görüldüğü gibi 7,3. saniyede oluşan 2473kN değeridir.



Şekil 4.43: T_X yönü taban kesme kuvveti diyagramı

Kocaeli depreminin Doğu-Batı yönü bileşeninin X doğrultusunda oluşturduğu taban kesme kuvvetinin en büyük değeri Şekil 4.43'de görüldüğü gibi 7,1. saniyede oluşan 2553kN değeridir.



Şekil 4.44: T_Y yönü taban kesme kuvveti diyagramı

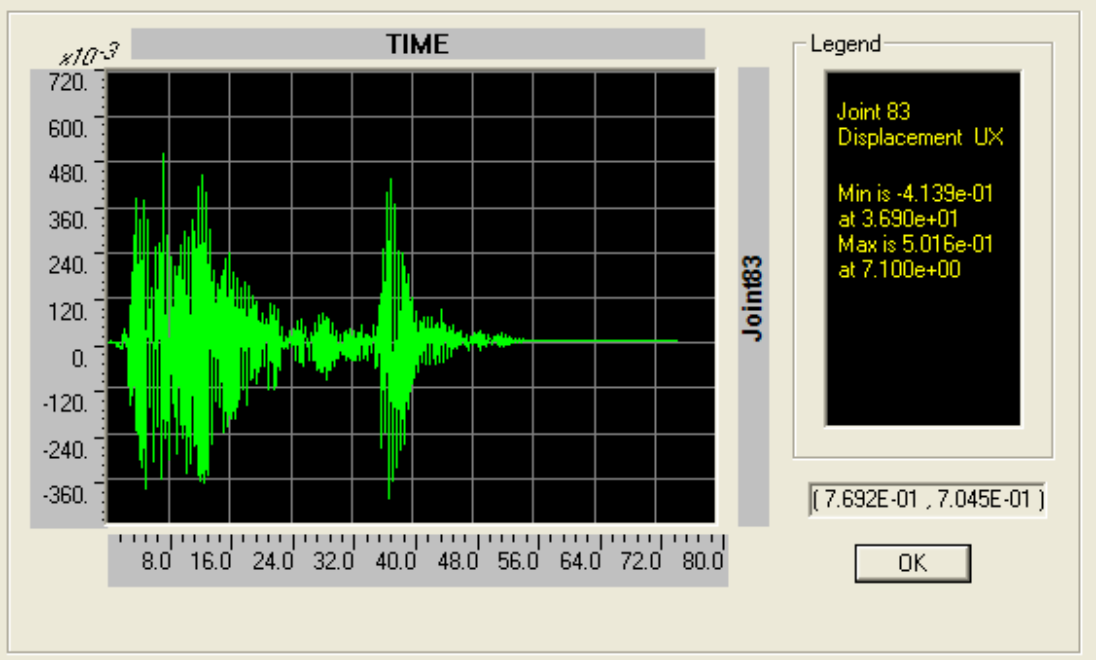
Kocaeli depreminin Doğu-Batı yönü bileşeninin Y doğrultusunda oluşturduğu taban kesme kuvvetinin en büyük değeri Şekil 4.44'de görüldüğü gibi 3,8. saniyede oluşan 2718kN değeridir.

- Eşdeğer çerçeve yöntemine göre bulunan taban kesme kuvveti değeri:

$$V_t = \frac{8415x(1,5x0,40x2,5)}{5} = 2525kN$$

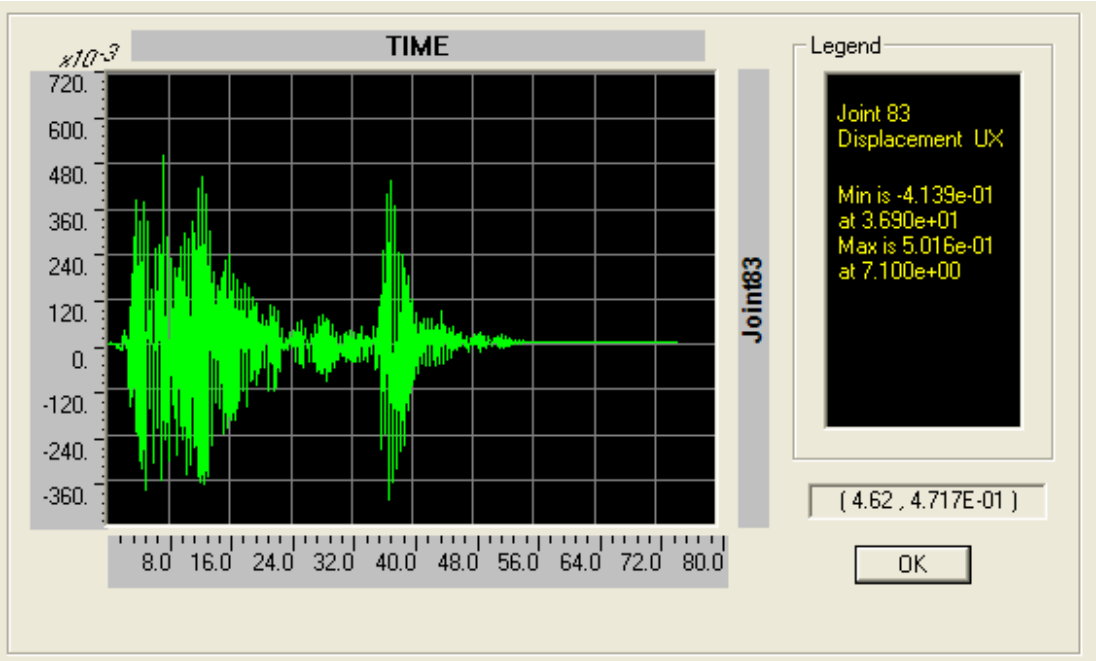
Zaman tanım alanında hesap yöntemine göre bulunan taban kesme kuvveti değerleri ile eşdeğer çerçeve yöntemine göre bulunan taban kesme kuvveti değerleri birbirlerine oldukça yakın değerlerdir.

5.3 Yerdeğiştirmeler



Şekil 4.45: L_X yönü X yerdeğiştirmesi

Kocaeli depreminin Kuzey-Güney bileşeninin X doğrultusunda oluşturduğu yerdeğiştirmenin en büyük değeri Şekil 4.45'de görüldüğü gibi 7,1. saniyede oluşan 0,51cm değeridir.



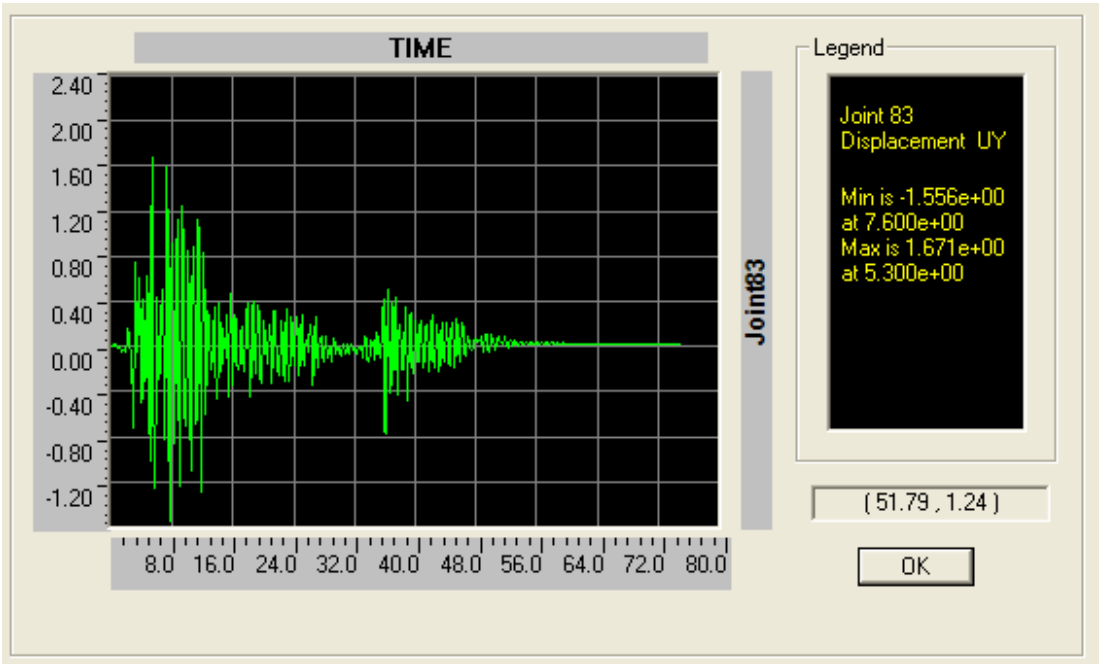
Şekil 4.46: T_X yönü X yerdeğiştirmesi

Kocaeli depreminin Doğu-Batı yönü bileşeninin X doğrultusunda oluşturduğu yerdeğiştirmenin en büyük değeri Şekil 4.46'da görüldüğü gibi 7,1. saniyede oluşan 0,51cm değeridir.

- Ana makas uç noktasının yatay yerdeğiştirmesinin en büyük değeri:

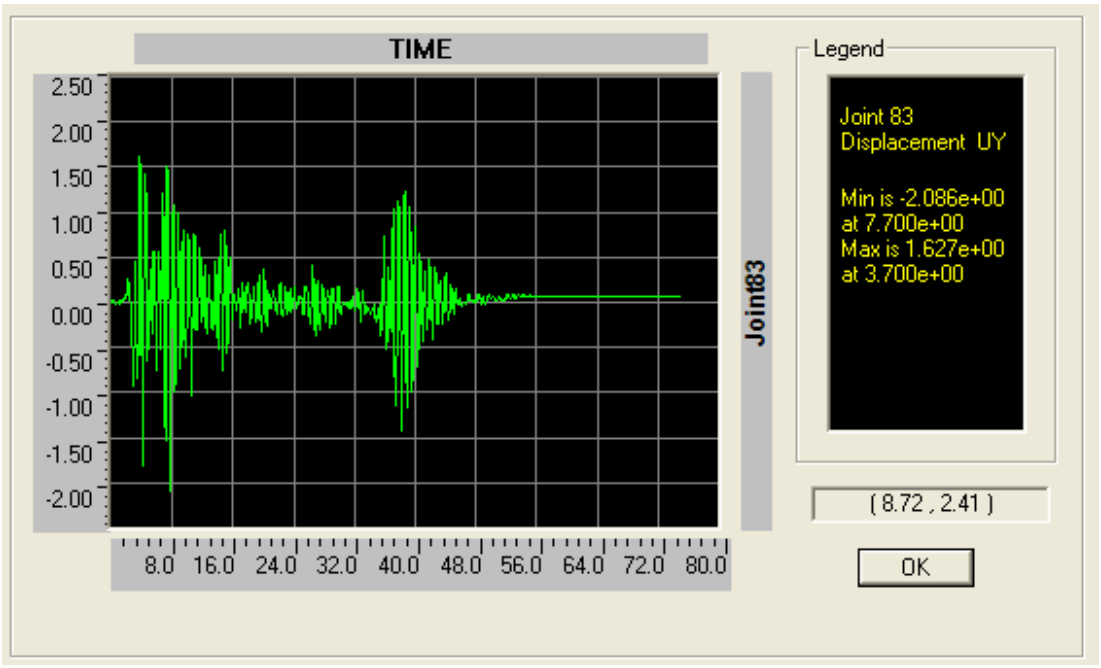
  $\delta_x = 0{,}51\text{cm} < 1900\text{x}0{,}0035 = 6{,}65\text{cm}$

  ABYYHY'deki sınır değerlerin içinde kalmaktadır.



Şekil 4.47: L_Y yönü Y yerdeğiştirmesi

Kocaeli depreminin Kuzey-Güney bileşeninin Y doğrultusunda oluşturduğu yerdeğiştirmenin en büyük değeri Şekil 4.47'de görüldüğü gibi 5,3. saniyede oluşan 1,671cm değeridir.



Şekil 4.48: T_Y yönü Y yerdeğiştirmesi

Kocaeli depreminin Doğu-Batı yönü bileşeninin Y doğrultusunda oluşturduğu yerdeğiştirmenin en büyük değeri Şekil 4.48'de görüldüğü gibi 3,7. saniyede oluşan 1,627cm değeridir.

- Ana makas uç noktasının Y yönü yerdeğiştirmesinin en büyük değeri: $\delta_x = 1{,}671\text{cm} < 1900\text{x}0{,}0035 = 6{,}65\text{cm}$ √

5.4 Sonuç

Statik sistem SAP2000 programında iki ve üç boyutlu olarak modellenmiştir. İki boyutlu modelin üç boyutlu modele göre daha olumsuz kesit tesirleri vermesi nedeniyle boyutlandırmada iki boyutlu model kullanılmıştır.

Üç boyutlu modelin iki boyutlu modelden farkı kapı makası, çatı ve düşey stabilite bağlantılarının da etkilerini dikkate almasıdır. Ayrıca üç boyutlu model sayesinde dinamik analizde özellikle yapının uzun doğrultudaki davranışının da dikkate alınmasıyla gerçeğe yakın sonuçlar elde edilmiştir. Bu nedenle yapının deprem etkisi altındaki davranışını incelerken üç boyutlu modelin sonuçları kullanılmıştır.

Statik hesaplar sonucunda yapı elemanları en ekonomik ve güvenli olacak şekilde boyutlandırılmıştır. Boyutlandırmada ekonomi ve güvenlik kadar imalat ve montajın kolay yapılabilmesi de önemli yer tutmuştur. Yapı elemanları en olumsuz tesirlerin oluştuğu; sabit yük, kar yükü, rüzgarın soldan esmesi ve kapının kapalı olması durumlarını birlikte içeren kombinasyon olan $1{,}35G + 1{,}35P_S + 1{,}35W_{1d}$ (Komb_9) kombinasyonuna göre boyutlandırılmıştır.

Yapı elemanlarında yük akışına bağlı olarak öncelikle çatı ve duvar kaplaması olarak, yapının geniş hacim örtmesi nedeniyle izolasyon probleminin etkisini en aza indirmek için izolasyonlu alüminyum sandviç panel kullanılmıştır. Ülkemizde bu yapıda kullanılan 4,167m.'lik aşık aralığına uygun izolasyonlu alüminyum sandviç panel bulmak oldukça zordur, ancak kaplama firmaları bu tarz büyük aralıklı yerlerde bu kaplamaları özel olarak üretmektedir.

Yapıda aşıklar her biri 11,4m. olan beş açıklıktan oluşan sürekli kiriş olarak teşkil edilmiştir. Aşık profili olarak yapı yüksekliğinin fazla artmaması için IPE cinsi profillere göre mukavemet değerleri daha yüksek olan geniş başlıklı HEA220 profili kullanılmıştır. Aşık kesiti Eurocode'a göre 1.Sınıf enkesit sınıfına girmektedir. Toplam boyun oldukça uzun olması nedeniyle (57,0m.) yaklaşık olarak açıklıkların ¼'lerine denk gelecek şekilde ekler düzenlenmiştir. Söz konusu aşık ekleri alın

levhalı olarak teşkil edilmiştir. Ekte dört adet M24, 10.9 kalitede öngermeli bulon kullanılmıştır. Burada öngerme hesapta dikkate alınıştır.

Aşıklardan gelen yükleri ana makaslara ileten tali makaslar geniş başlıklı HEB700 profillerinden teşkil edilmiştirler. Söz konusu makaslar her biri 25m. olan altı açıklıklı sürekli kiriş olarak tasarlanmıştır. Kiriş kesiti Eurocode'a göre 1.Sınıf enkesit sınıfına girmektedir. Aşıklarda olduğu gibi açıklığın fazla olması nedeniyle açıklıkların ¼'lerine denk gelecek şekilde başlıklarda M30 gövdede ise M27 yüksek kalitede bulonların kullanıldığı tam ekler düzenlenmiştir. Birleşimde kullanılan bulonlar hesapta öngermesiz olarak dikkate alınmıştır, ancak montajda bu bulonlara hesapsız (>0,5.Fp'lik) öngerme verilecektir.Tali makasların ana makaslarla kesiştiği kısımlarda sürekliliği sağlamak için üst başlıkta süreklilik levhaları kullanılmıştır. Kiriş alt başlığında ise basınç kuvvetini aktarmak için basınç elemanı konmuştur.

Yapını kısa doğrultudaki taşıyıcı sistemini oluşturan ana makas kablolar, kolonlar ve kirişlerden oluşturulmuştur. Yüksek çekme dayanımına sahip kablolarda sırasıyla $\phi 40$, $\phi 64$, $\phi 88$ çaplı kablolar kullanılmıştır. Söz konusu kablolara ait statik özellikler, birleşim elemanlarının geometrik özellikleri İspanyol kablo üreticisi Macolloy firmasından elde edilmiştir. Bu değerler firma tarafından Eurocode'a uygun olacak şekilde hesaplanmış değerlerdir.

Ana makas elemanlarından kirişlerde ise Fe510 kalitede değişken kesite sahip yapma I profil kullanılmıştır. Kiriş 2PL400x40/1000x30 kesitten başlayıp kesit tesirlerini karşılayacak şekilde büyültülerek 2PL1200x40/3000x30 kesitine ulaşmaktadır. Kiriş kesiti Eurocode'a göre 4.Sınıf enkesit sınıfına girmektedir. Söz konusu kiriş montaj açısından birincisi kolon-kiriş bölgesine yakın bölgede, ikincisi ise açıklık ortala bölgesinde eklerle birleştirilmiştir. Söz konusu ekler de tali makas elemanlarına benzer şekilde tam ek ve yüksek dayanımlı cıvatalı olarak tasarlanmıştır.

Ana makasının son elemanı kolonlarda Fe510 kalitede değişken, yapma sandık kesitler kullanılmıştır. Kolon kesitleri 600x40/1200x30'dan başlayıp 1200x40/3600x30 boyutuna ulaşmaktadır. Kolonlar belirli noktalarda buruşmayı engellemek için aradan bir işçinin geçmesine izin verecek şekilde berkitilmiştir. Montaj ve imalat kolaylığı açısından kolon-kiriş bölgesine yakın mesafede ekler düzenlenmiştir. Ayrıca kolon ayağında mafsallığı gerçeğe yakın biçimde sağlamak için merkezilik parçası kullanılmıştır.

Yapının uzun doğrultudaki taşıyıcı sistemini oluşturan düşey stabilitede bağlantıları merkezi olarak teşkil edilmiştir. Bu elemanlarda ABYYHY'de belirtilen $\lambda < 100$ koşulunu sağlamak için her iki yöndeki atalet yarıçapları büyük olan kutu kesitler kullanılmıştır.

Tali yapı elemanlarından kuşaklar $\lambda / 3$'lerden gergili, sürekli kiriş olarak teşkil edilmiştir. Kalkan duvardaki kuşaklar U200, yan duvardakiler ise U400 olarak seçilmiştir. Kalkan duvar dikmeleri ise basit kiriş olarak tasarlanmış ve profil olarakta HEB500 profillerden oluşturulmuştur.

Temellerde ise gerek kolon basınç kuvvetini gerekse kablo çekme kuvvetini aktarmak için kazıklı temel tipi kullanılmıştır. Kazıklar ϕ65cm çapında olup sürtünme kazıklarıdır.

Yapının dinamik analizinde daha önceden de belirtildiği gibi Mod Birleştirme ve Zaman Tanım Alanında Hesap yöntemleri kullanılmıştır. Mod birleştirme yöntemi kullanılırken spektrum değerleri olarak ABYYHY'de belirtilen Z2 sınıfına uygun spektrum değerleri R katsayısı ve g yerçekim ivmesinin etkisini de içerecek şekilde kullanılmıştır. Zaman Tanım Alanında hesap yapılırken ise 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi sırasında İzmit Meteoroloji İstasyonundaki ivme ölçerlerde kaydedilen ivme değerleri kullanılmıştır. Bu ivme değerleri R katsayısının etkisini içerecek şekilde kullanılmıştır. Dinamik analizde kütleler ayrıca hesaplanmamış olup program tarafından otomatik olarak hesaplanmıştır.

Dinamik analiz sonucunda yapının ABYYHY'de belirtilen sınırları sağladığı görülmüştür. Ayrıca kesit tesirleri açısından Zaman Tanım Alanı yönteminin gerek Mod Birleştirme gerekse Eşdeğer Çerçeve yöntemine göre daha olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu nedenle Zaman Tanım Alanı yönteminin yapıların ekonomik olarak teşkil edilebilmesinde en uygun dinamik analiz yöntemi olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada incelenen uçak hangarı en olumsuz tesirlerin oluştuğu; sabit yük, kar yükü, rüzgarın soldan esmesi ve kapının kapalı olması durumlarını birlikte içeren kombinasyon olan $1{,}35G + 1{,}35P_S + 1{,}35W_{1d}$ (Komb_9) kombinasyonuna göre boyutlandırılmıştır. Bu yapıda deprem yüklerinin etkisinin sabit, rüzgar ve kar yüklerinin birlikte etkimesi durumuna göre daha küçük olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

[1] **Özgen, A., Bayramoğlu, G.,** 2002. Çelik Yapılar, Ders Notları, İstanbul.

[2] **Çetmeli, E.,** 1982. Çubuk Sistemler, Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul.

[3] **Çetmeli, E.,**1986. Plaklar, İTÜ Vakfı, İstanbul.

[4] **Kın, H.**,1971. Çelik Yapıların Stabilite Problemleri, Arı Kitabevi, İstanbul.

[5] **Deren, H.,** 1995. Çelik Yapılar, İTÜ Yayınları, İstanbul.

[6] **Keyder, E.**,1989. Dolu Gövdeli Çelik Kirişler, Çelik-Bağlan Yayıncılık, Ankara.

[7] **Celep, Z. ve Kumbasar, N.**, 2000. Deprem Mühendisliğine Giriş, Beta Yayınevi, İstanbul.

[8] **Celep, Z. ve Kumbasar, N.**, 2000. Yapı Dinamiği, Beta Yayınevi, İstanbul.

[9] **Euro Inox and The Steel Construction Institue**, 2003. Design Manual for Structural Stainless Steel, SCI

[10] **Pulkkinen, P.,** 2003. Eurocodes Seminar Notes, Helsinki University of Technology, Helsinki

[11] **Höglung, T.,** 2004. Design of Members, Royal Institue of Technology, Stockholm

[12] **Wardenier, J.,** 2004. Hollow Sections in Structural Aplications, Comitė International pour le Dėveloppement et l'Etude de la Construction Tubularie

[13] **Comitė International Pour Le Dėveloppement Et L'etude De La Construction Tubularie**, 2002. Kutu ve Boru Profillerillerin Yapısal Stabilitesi, Borusan Boru, İstanbul.

[14] **Comitė International Pour Le Dėveloppement Et L'etude De La Construction Tubularie**, 2002. Statik Yük Altındaki Boru Profil Birleşimlerinin Tasarım el Kitabı, Borusan Boru, İstanbul.

[15] **Commission of The European Communities**, 1997. Frame Design Including Joint Behaviour, Universitė de Liegė, Liegė.

[16] **The Communication Network for Tensile Structures in Europe**, http://www.tensinet.com

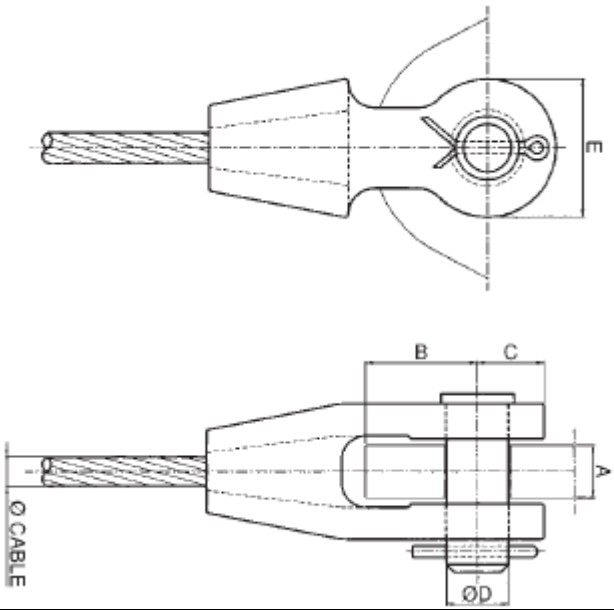
[17] **Macolloy Cable Manufacturer;** http://www.macolloy.com

EKLER

Tablo A.1: Open Spiral Strand Tipi Kablo Değerleri

Çap (mm)	Kesit Alanı A(mm^2)	Kopma Dayanımı (kN)	Elastik Rijitlik (MN)	Ağırlık (kg/m)
12	88	135	14,6	0,7
16	157	240	25,9	1,3
20	245	380	40,4	2,0
24	353	545	58,2	2,9
28	480	745	79,3	4,0
32	628	970	104	5,2
36	794	1230	131	6,5
40	981	1520	162	8,1
44	1186	1840	196	9,8
48	1412	2190	233	11,6
52	1657	2570	273	13,7
56	1922	2980	317	15,8
60	2206	3425	364	18,2
64	2477	3815	404	20,4
68	2796	4290	456	23
72	3135	4795	511	25,8
76	3493	5325	569	28,8
80	3870	5885	631	31,9
84	4267	6475	695	35,2
88	4683	7090	763	38,6

Tablo A.2: Soket Boyutları

Tip	Kopma Dayanımı (kN)	Kablo Çapı (mm)	D (mm)	A_{max} (mm)	B_{max} (mm)	C (mm)	E (mm)
							
F-196	165	10-12	25	22	41	25	49
F-198	250	13-16	31	29	52	29	57
F-104	440	17-20	41	40	73	45	90
F-108	680	21-25	51	47	82	60	120
F-111	980	26-28	57	53	93	65	130
F-115	1220	29-32	63	59	104	72	144
F-118	1470	33-36	70	65	137	80	160
F-120	1960	36-38	76	71	138	88	176
F-125	2550	39-44	89	84	145	100	200
F-128	2740	45-49	95	96	190	108	216
F-130	3530	50-52	108	108	207	118	236
F-132	4410	53-56	121	120	227	132	264
F-135	4700	57-64	127	126	231	138	276
F-138	5100	64-69	133	139	232	142	284
F-140	5880	70-76	140	151	240	148	296
F-142	6860	77-80	152	163	255	170	340
F-144	8580	81-88	178	183	272	181	362
F-146	10790	89-102	190	200	402	220	440
F-150	12260	103-111	250	200	424	280	560
F-160	13240	112-118	275	220	416	300	600
F-170	15690	119-128	290	240	507	325	650

ÖZGEÇMİŞ

Tuncay AYDOĞUŞ 1978 yılında Manisa Selendi'de doğmuştur. İlk ve orta öğrenimini Manisa'da tamamlamıştır. 1997 – 2002 yılları arası İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünde lisans öğrenimini tamamlamış ve 2002 yılında İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Mühendisliği Programı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başlamıştır. Halen yüksek lisans öğrenimini sürdürmektedir.