



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**I VE KUTU KESİTLİ ÇELİK-BETONARME
KOMPOZİT KÖPRÜ KİRİŞLERİNİN
ANALİTİK İNCELENMESİ**

**İnş.Müh. Alican TÖREN
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yapı Programı**


**Danışman
Yrd.Doç.Dr. Turgay ÇOŞGUN**


Kasım, 2011

İSTANBUL


Bu çalışma 15/11/2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.


Tez Jürisi


Yard. Doç. Dr. Turgay ÇOŞGUN (Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi


Prof. Dr. Mustafa KARASHAHİN
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi


Prof. Dr. Namık Kemal ÖZTORUN
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi


Doç. Dr. Güray ARSLAN
Yıldız Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi


Yard. Doç. Dr. Ömer Faruk KÜLTÜR
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

ÖNSÖZ

Tez çalışmam süresince çok değerli bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım danışman hocam Yrd.Doç.Dr. Turgay ÇOŞGUN başta olmak üzere Araş.Gör. Barış GÜNEŞ'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma boyunca yardımlarını esirgemeyen çalışma arkadaşlarıma ve bana her türlü maddi ve manevi desteği sağlayan aileme ve sevdiğime teşekkürü borç bilirim.

Kasım, 2011

Alican TÖREN

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|-----------|
| ÖNSÖZ..... | i |
| İÇİNDEKİLER | ii |
| ŞEKİL LİSTESİ..... | vi |
| TABLO LİSTESİ..... | viii |
| SEMBOL LİSTESİ..... | xi |
| ÖZET | xvi |
| SUMMARY | xvii |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 2. GENEL KISIMLAR..... | 4 |
| 3. MALZEME VE YÖNTEM..... | 11 |
| 3.1. YÜKLER, YÜKLEME DURUMLARI ve KOMBİNASYONLAR..... | 11 |
| 3.1.1. Yükler | 11 |
| 3.1.2. Yükleme Durumları | 12 |
| 3.1.2.1. Zati Yükler (DC ve DW) | 12 |
| 3.1.2.2. Hareketli Yükler (LL)..... | 13 |
| 3.1.2.3. Araç Dinamik Yük Etkisi (IM) | 19 |
| 3.1.3. Kombinasyonlar | 19 |
| 3.2. GENEL TASARIM VE DAYANIM FAKTÖRLERİ..... | 21 |
| 3.3. I KESİTLİ KOMPOZİT KÖPRÜ KİRİŞ TASARIMI..... | 23 |
| 3.3.1. Enkesit Boyut Kontrolleri..... | 23 |
| 3.3.1.1. Başlık Boyut Kontrolleri..... | 23 |
| 3.3.1.2. Gövde Boyut Kontrolleri..... | 23 |
| 3.3.2. Konstrüksiyon Aşaması Kontrolleri..... | 24 |
| 3.3.2.1. Başlık Kontrolleri | 24 |
| 3.3.2.2. Gövde Kontrolleri..... | 28 |
| 3.3.3. Dayanım Kontrolleri | 29 |
| 3.3.3.1. Üst Başlık Kontrolleri..... | 29 |
| 3.3.3.2. Gövde Kontrolleri..... | 32 |
| 3.3.3.3. Alt Başlık Kontrolleri..... | 32 |
| 3.3.3.4. Kesme Saplama Tahkikleri | 36 |

| | |
|---|-----------|
| 3.3.4. Yorulma Kontrolleri | 37 |
| 3.3.4.1. Başlık Kontrolü..... | 37 |
| 3.3.4.2. Gövde Kontrolü | 38 |
| 3.3.4.3. Kesme Saplama Hesabı | 39 |
| 3.3.5. Enine Berkitme Dizaynı | 41 |
| 3.3.5.1. Ara Enine Berkitme Dizaynı | 41 |
| 3.3.5.2. Mesnet Berkitme Dizaynı | 42 |
| 3.4. KUTU KESİTLİ KOMPOZİT KÖPRÜ KİRİŞ TASARIMI | 45 |
| 3.4.1. Enkesit Boyut Kontrolleri..... | 45 |
| 3.4.1.1. Başlık Boyut Kontrolleri..... | 45 |
| 3.4.1.2. Gövde Boyut Kontrolleri..... | 45 |
| 3.4.2. Konstrüksiyon Aşaması Kontrolleri..... | 45 |
| 3.4.2.1. Başlık Kontrolleri | 45 |
| 3.4.2.2. Gövde Kontrolleri..... | 49 |
| 3.4.3. Dayanım Kontrolleri | 51 |
| 3.4.3.1. Üst Başlık Kontrolleri..... | 51 |
| 3.4.3.2. Alt Başlık Kontrolleri..... | 55 |
| 3.4.4. Yorulma Kontrolleri | 57 |
| 3.4.4.1. Başlık Kontrolü..... | 57 |
| 3.4.4.2. Gövde Kontrolü | 58 |
| 3.4.4.3. Kesme Saplamaları Hesabı..... | 59 |
| 3.4.5. Diğer Kontrol ve Tasarımlar | 61 |
| 3.4.5.1. Boyuna Başlık Berkitme Kontrolü | 61 |
| 3.4.5.2. İç Diyafram Dizaynı | 62 |
| 3.5. SEHİM HESAPLARI..... | 63 |
| 3.5.1. Hareketli Yük Sehim Kontrolleri..... | 63 |
| 3.5.2. Zati Yük Sehim Kontrolleri..... | 63 |
| 4. BULGULAR..... | 65 |
| 4.1. GELİŞTİRİLEN TASARIM PROGRAMI..... | 65 |
| 4.2. SİSTEM ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ..... | 67 |
| 4.2.1. Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi..... | 67 |
| 4.2.2. Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesi..... | 67 |
| 4.3. I KESİTLİ KOMPOZİT KÖPRÜ KİRİŞİ BİLGİSAYAR TASARIMI | 69 |
| 4.3.1. Sistem Bilgileri..... | 69 |
| 4.3.1.1. Malzeme Özellikleri | 69 |
| 4.3.1.2. Üstyapı Verileri | 69 |
| 4.3.1.3. I Kiriş Kesit Özellikleri | 70 |

| | |
|--|------------|
| 4.3.2. Yükleme Durumları ve Tesirler | 72 |
| 4.3.2.1. Zati Yük Uygulaması (DC1) | 72 |
| 4.3.2.2. Zati Yük Uygulaması (DC2) | 72 |
| 4.3.2.3. Kaplama Zati Yük Uygulaması (DW) | 73 |
| 4.3.2.4. Hareketli Yük Uygulaması (LL)..... | 74 |
| 4.3.3. Enkesit Boyut Kontrolleri..... | 78 |
| 4.3.3.1. Başlık Boyut Kontrolleri..... | 78 |
| 4.3.3.2. Gövde Boyut Kontrolleri..... | 79 |
| 4.3.4. Konstrüksiyon Aşaması Kontrolleri..... | 80 |
| 4.3.4.1. Üst Başlık Kontrolleri..... | 80 |
| 4.3.4.2. Gövde Kontrolleri..... | 83 |
| 4.3.4.3. Alt Başlık Kontrolleri..... | 84 |
| 4.3.5. Dayanım Kontrolleri | 88 |
| 4.3.5.1. Üst Başlık Kontrolleri..... | 88 |
| 4.3.5.2. Gövde Kontrolleri..... | 91 |
| 4.3.5.3. Alt Başlık Kontrolleri..... | 93 |
| 4.3.6. Yorulma Kontrolleri | 97 |
| 4.3.6.1. Başlık Kontrolü..... | 97 |
| 4.3.6.2. Gövde Kontrolü | 98 |
| 4.3.7. Sehim Kontrolleri | 99 |
| 4.3.7.1. Hareketli Yük Sehim Kontrolleri..... | 99 |
| 4.3.7.2. Zati Yük Sehim Kontrolleri | 100 |
| 4.3.8. Berkitme Hesapları | 101 |
| 4.3.8.1. Enine Berkitme Dizaynı | 101 |
| 4.3.8.2. Mesnet Berkitme Dizaynı | 102 |
| 4.3.9. Kesme Saplama Hesapları..... | 105 |
| 4.3.9.1. Geometrik Kesit Kontrolleri | 105 |
| 4.3.9.2. Yorulma ve Göçme Kontrolleri..... | 105 |
| 4.3.9.3. Dayanım Kontrolleri..... | 107 |
| 4.4. KUTU KESİTLİ KOMPOZİT KÖPRÜ KİRİŞİ BİLGİSAYAR TASARIMI | 112 |
| 4.4.1. Sistem Bilgileri..... | 112 |
| 4.4.1.1. Malzeme Özellikleri | 112 |
| 4.4.1.2. Üstyapı Verileri | 112 |
| 4.4.1.3. Kutu Kiriş Kesit Özellikleri..... | 113 |
| 4.4.2. Yükleme Durumları ve Tesirler | 116 |
| 4.4.2.1. Zati Yük Uygulaması (DC1) | 116 |
| 4.4.2.2. Zati Yük Uygulaması (DC2) | 117 |
| 4.4.2.3. Kaplama Zati Yük Uygulaması (DW) | 118 |
| 4.4.2.4. Hareketli Yük Uygulaması (LL)..... | 118 |

| | |
|--|------------|
| 4.4.3. Enkesit Boyut Kontrolleri..... | 122 |
| 4.4.3.1. Başlık Boyut Kontrolleri..... | 122 |
| 4.4.3.2. Gövde Boyut Kontrolleri..... | 123 |
| 4.4.4. Konstrüksiyon Aşaması Kontrolleri..... | 124 |
| 4.4.4.1. Üst Başlık Kontrolleri..... | 124 |
| 4.4.4.2. Gövde Kontrolleri..... | 128 |
| 4.4.4.3. Alt Başlık Kontrolleri..... | 129 |
| 4.4.5. Dayanım Kontrolleri | 133 |
| 4.4.5.1. Üst Başlık Kontrolleri..... | 133 |
| 4.4.5.2. Alt Başlık Kontrolleri..... | 136 |
| 4.4.6. Yorulma Kontrolleri | 140 |
| 4.4.6.1. Başlık Kontrolü..... | 140 |
| 4.4.6.2. Gövde Kontrolü | 141 |
| 4.4.7. Sehim Kontrolleri..... | 142 |
| 4.4.7.1. Hareketli Yük Sehim Kontrolleri..... | 142 |
| 4.4.7.2. Zati Yük Sehim Kontrolleri | 143 |
| 4.4.8. Berkitme Hesapları | 144 |
| 4.4.8.1. Boyuna Berkitme Dizaynı | 144 |
| 4.4.8.2. İç Diyafram Dizaynı | 144 |
| 4.4.9. Kesme Saplama Hesapları..... | 146 |
| 4.4.9.1. Geometrik Kesit Kontrolleri | 146 |
| 4.4.9.2. Yorulma ve Göçme Kontrolleri..... | 146 |
| 4.4.9.3. Dayanım Kontrolleri..... | 148 |
| 4.5. YAPILAN HESAPLAMALAR | 152 |
| 5. TARTIŞMA VE SONUÇ | 162 |
| KAYNAKLAR | 164 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 167 |

ŞEKİL LİSTESİ

| | | |
|------------|--|-----|
| Şekil 2.1 | : Köprü yapısını oluşturan başlıca elemanlar | 4 |
| Şekil 2.2 | : Kompozit kutu kesitli kiriş detayı | 6 |
| Şekil 2.3 | : Kompozit kutu kesitli kiriş köprü iskeleti | 6 |
| Şekil 2.4 | : Kompozit I-kesitli kiriş detayı..... | 7 |
| Şekil 2.5 | : Kompozit I-kesitli kiriş köprü iskeleti..... | 7 |
| Şekil 3.1 | : H30-S24 Kamyon yüklemesinin basit kiriş üzerine (a) eğilme momenti için (b) kesme kuvveti için en elverişsiz yerleşimi | 15 |
| Şekil 3.2 | : Şerit yüklemesinin basit kiriş üzerine (a) eğilme momenti için (b) kesme kuvveti için en elverişsiz yerleşimi | 16 |
| Şekil 3.3 | : Elastik basınç altındaki gövde yüksekliği | 29 |
| Şekil 3.4 | : Plastik kuvvetler | 32 |
| Şekil 4.1 | : ACIB ve ACBB programları algoritma şeması..... | 66 |
| Şekil 4.2 | : I kesit kirişli tipik üstyapı kesiti | 68 |
| Şekil 4.3 | : Kutu kesit kirişli tipik üstyapı kesiti..... | 68 |
| Şekil 4.4 | : I kesitli kirişli üstyapı kesiti | 69 |
| Şekil 4.5 | : Basit I kiriş kesiti..... | 70 |
| Şekil 4.6 | : Kompozit I kiriş kesiti..... | 70 |
| Şekil 4.7 | : Kiriş zati yükü için reaksiyon kuvvetleri (I kiriş) | 72 |
| Şekil 4.8 | : Tabliye zati yükü için reaksiyon kuvvetleri (I kiriş) | 72 |
| Şekil 4.9 | : Kaldırım zati yükü için reaksiyon kuvvetleri (I kiriş)..... | 72 |
| Şekil 4.10 | : İlave zati yük için reaksiyon kuvvetleri (I kiriş) | 73 |
| Şekil 4.11 | : Kaplama zati yükü için reaksiyon kuvvetleri (I kiriş)..... | 73 |
| Şekil 4.12 | : Lever rule kuralı | 75 |
| Şekil 4.13 | : Kamyon arka tekerleğinin nokta üstüne olma durumu (I kiriş) | 76 |
| Şekil 4.14 | : Kamyon orta tekerleğinin nokta üstüne olma durumu (I kiriş)..... | 76 |
| Şekil 4.15 | : Eşdeğer şerit yükleme durumu (I kiriş)..... | 77 |
| Şekil 4.16 | : Elastik basınç altındaki tarafsız eksen..... | 80 |
| Şekil 4.17 | : Enine berkitme kesiti..... | 101 |

| | | |
|-------------------|---|-----|
| Şekil 4.18 | : Mesnet berkitme kesiti | 102 |
| Şekil 4.19 | : Berkitme görünüşleri..... | 103 |
| Şekil 4.20 | : Mesnet berkitmesi efektif etki alanı | 103 |
| Şekil 4.21 | : Kutu kesitli kiriş üstyapı kesiti..... | 112 |
| Şekil 4.22 | : Basit kutu kiriş kesiti..... | 113 |
| Şekil 4.23 | : Kompozit kutu kiriş kesiti | 114 |
| Şekil 4.24 | : Kiriş zati yükü için reaksiyon kuvvetleri (Kutu kiriş)..... | 116 |
| Şekil 4.25 | : Tabliye zati yükü için reaksiyon kuvvetleri (Kutu kiriş) | 116 |
| Şekil 4.26 | : Kaldırım zati yükü için reaksiyon kuvvetleri (Kutu kiriş) | 117 |
| Şekil 4.27 | : İlave zati yük için reaksiyon kuvvetleri (Kutu kiriş)..... | 117 |
| Şekil 4.28 | : Kaplama zati yükü için reaksiyon kuvvetleri (Kutu kiriş) | 118 |
| Şekil 4.29 | : Kamyon arka tekerleğinin nokta üstüne olma durumu (Kutu kiriş)..... | 119 |
| Şekil 4.30 | : Kamyon orta tekerleğinin nokta üstüne olma durumu (Kutu kiriş) | 119 |
| Şekil 4.31 | : Eşdeğer şerit yükleme durumu (Kutu kiriş) | 120 |
| Şekil 4.32 | : Boyuna berkitme kesiti..... | 144 |
| Şekil 4.33 | : Kutu ve I kesitli kiriş birim ağırlık kıyaslaması (tek açıklık)..... | 153 |
| Şekil 4.34 | : Kutu ve I kesitli kiriş birim ağırlık kıyaslaması (iki açıklık) | 155 |
| Şekil 4.35 | : Kutu ve I kesitli kiriş birim ağırlık kıyaslaması (üç açıklık)..... | 156 |
| Şekil 4.36 | : Kutu ve I kesitli kiriş maliyet kıyaslaması (tek açıklık)..... | 159 |
| Şekil 4.37 | : Kutu ve I kesitli kiriş maliyet kıyaslaması (iki açıklık) | 160 |
| Şekil 4.38 | : Kutu ve I kesitli kiriş maliyet kıyaslaması (üç açıklık)..... | 161 |

TABLO LİSTESİ

| | | |
|-------------------|--|----|
| Tablo 3.1 | : Malzeme ağırlıkları..... | 13 |
| Tablo 3.2 | : Kamyon yük katsayısı..... | 14 |
| Tablo 3.3 | : Standart kamyon ve eşdeğer şerit yükleri..... | 15 |
| Tablo 3.4 | : Trafik şeridi azaltma katsayısı | 16 |
| Tablo 3.5 | : İç kirişler için hareketli yük dağıtım moment faktörleri..... | 17 |
| Tablo 3.6 | : İç kirişler için hareketli yük dağıtım kesme kuvvet faktörleri..... | 18 |
| Tablo 3.7 | : Dış kirişler için hareketli yük dağıtım moment faktörleri | 18 |
| Tablo 3.8 | : Dış kirişler için hareketli yük dağıtım kesme faktörleri | 19 |
| Tablo 3.9 | : Dinamik etki katsayıları..... | 19 |
| Tablo 3.10 | : Yük faktörleri..... | 20 |
| Tablo 3.11 | : Yük kombinasyonları..... | 20 |
| Tablo 3.12 | : Dayanım faktörleri..... | 22 |
| Tablo 4.1 | : I kiriş kesit özellikleri | 71 |
| Tablo 4.2 | : Kiriş zati yükü için moment ve kesme tesirleri (I kiriş) | 72 |
| Tablo 4.3 | : Tabliye zati yükü için moment ve kesme tesirleri (I kiriş)..... | 72 |
| Tablo 4.4 | : Kaldırım zati yükü için moment ve kesme tesirleri (I kiriş)..... | 73 |
| Tablo 4.5 | : İlave zati yük için moment ve kesme tesirleri (I kiriş) | 73 |
| Tablo 4.6 | : Kaplama zati yükü için moment ve kesme tesirleri (I kiriş)..... | 73 |
| Tablo 4.7 | : Kamyon yüklemesi 1.durumunda moment ve kesme tesirleri (I kiriş)... | 76 |
| Tablo 4.8 | : Kamyon yüklemesi 2.durumunda moment ve kesme tesirleri (I kiriş)... | 76 |
| Tablo 4.9 | : H30-S24 kamyon yüklemesi tesir sonuçları (I kiriş) | 76 |
| Tablo 4.10 | : Eşdeğer şerit yüklemesinden oluşan kesme tesirleri (I kiriş) | 77 |
| Tablo 4.11 | : Eşdeğer şerit yüklemesinden oluşan moment tesirleri (I kiriş)..... | 77 |
| Tablo 4.12 | : Eşdeğer şerit yüklemesi tesir sonuçları (I kiriş)..... | 77 |
| Tablo 4.13 | : Özet kesit tesirleri (I kiriş) | 77 |
| Tablo 4.14 | : Konstrüksiyon aşaması için faktörsüz kesit tesirleri (I kiriş) | 80 |
| Tablo 4.15 | : Konstrüksiyon aşaması için faktörlü kesit tesirleri (I kiriş)..... | 80 |
| Tablo 4.16 | : Dayanım durumu için faktörsüz kesit tesirleri (I kiriş) | 88 |

| | | |
|-------------------|--|-----|
| Tablo 4.17 | : Dayanım durumu için faktörlü kesit tesirleri (I kiriş)..... | 88 |
| Tablo 4.18 | : Yorulma durumu için faktörsüz kesit tesirleri (I kiriş)..... | 97 |
| Tablo 4.19 | : Yorulma durumu için faktörlü kesit tesirleri (I kiriş)..... | 97 |
| Tablo 4.20 | : Kutu kiriş kesit özellikleri..... | 115 |
| Tablo 4.21 | : Kiriş zati yükü için moment ve kesme tesirleri (Kutu kiriş)..... | 116 |
| Tablo 4.22 | : Tabliye zati yükü için moment ve kesme tesirleri (Kutu kiriş)..... | 116 |
| Tablo 4.23 | : Kaldırım zati yükü için moment ve kesme tesirleri (Kutu kiriş)..... | 117 |
| Tablo 4.24 | : İlave zati yük için moment ve kesme tesirleri (Kutu kiriş)..... | 117 |
| Tablo 4.25 | : Kaplama zati yükü için moment ve kesme tesirleri (Kutu kiriş)..... | 118 |
| Tablo 4.26 | : Kamyon yük. 1.durumunda moment ve kesme tesirleri (Kutu kiriş) ... | 119 |
| Tablo 4.27 | : Kamyon yük. 2.durumunda moment ve kesme tesirleri (Kutu kiriş) ... | 120 |
| Tablo 4.28 | : H30-S24 kamyon yüklemesi tesir sonuçları (Kutu kiriş)..... | 120 |
| Tablo 4.29 | : Eşdeğer şerit yüklemesinden oluşan kesme tesirleri (Kutu kiriş)..... | 120 |
| Tablo 4.30 | : Eşdeğer şerit yüklemesinden oluşan moment tesirleri (Kutu kiriş)..... | 120 |
| Tablo 4.31 | : Eşdeğer şerit yüklemesi tesir sonuçları (Kutu kiriş)..... | 120 |
| Tablo 4.32 | : Özet kesit tesirleri (Kutu kiriş)..... | 121 |
| Tablo 4.33 | : Konstrüksiyon aşaması için faktörsüz kesit tesirleri (Kutu kiriş)..... | 124 |
| Tablo 4.34 | : Konstrüksiyon aşaması için faktörlü kesit tesirleri (Kutu kiriş)..... | 124 |
| Tablo 4.35 | : Dayanım durumu için faktörsüz kesit tesirleri (Kutu kiriş)..... | 133 |
| Tablo 4.36 | : Dayanım durumu için faktörlü kesit tesirleri (Kutu kiriş)..... | 133 |
| Tablo 4.37 | : Yorulma durumu için faktörsüz kesit tesirleri (Kutu kiriş)..... | 140 |
| Tablo 4.38 | : Yorulma durumu için faktörlü kesit tesirleri (Kutu kiriş)..... | 140 |
| Tablo 4.39 | : I-kesitli kiriş için kesit özellikleri (tek açıklık)..... | 152 |
| Tablo 4.40 | : Kutu kesitli kiriş için kesit özellikleri (tek açıklık)..... | 153 |
| Tablo 4.41 | : I-kesitli kiriş için kesit özellikleri (iki açıklık)..... | 154 |
| Tablo 4.42 | : Kutu kesitli kiriş için kesit özellikleri (iki açıklık)..... | 154 |
| Tablo 4.43 | : I-kesitli kiriş için kesit özellikleri (üç açıklık)..... | 155 |
| Tablo 4.44 | : Kutu kesitli kiriş için kesit özellikleri (üç açıklık)..... | 156 |
| Tablo 4.45 | : Kıyaslamalı sehim değerleri (tek açıklık)..... | 157 |
| Tablo 4.46 | : Kıyaslamalı sehim değerleri (iki açıklık)..... | 157 |
| Tablo 4.47 | : Kıyaslamalı sehim değerleri (üç açıklık)..... | 158 |
| Tablo 4.48 | : Kutu ve I kesitli kiriş için birim maliyetler (tek açıklık)..... | 158 |
| Tablo 4.49 | : Kutu ve I kesitli kiriş için birim maliyetler (iki açıklık)..... | 159 |

| | | |
|-------------------|--|-----|
| Tablo 4.50 | : Kutu ve I kesitli kiriş için birim maliyetler (üç açıklık) | 160 |
|-------------------|--|-----|

SEMBOL LİSTESİ

| | |
|--|---|
| a | : Kaplama kalınlığı |
| a_{wc} | : Basınç bölgesindeki gövde alanının iki katının basınç başlığı alanına oranı |
| A | : Kiriş kesit alanı |
| A_{pn} | : Berkitmenin gövde ile başlık arasında ki köşe kaynağı dışında kalan başlık kenarını geçmeyen kısmın alanı |
| A_s | : Berkitme alanı |
| A₀ | : Burulma etki alanı |
| ADTT | : Tasarım ömrü boyunca günlük ortalama araç trafiği |
| ADTT_{SL} | : Tek şeritten geçen tasarım ömrü boyunca günlük ortalama araç trafiği |
| b_{eff}, b_s | : Efektif tabliye genişliği |
| b_{bf}, b_t | : Alt başlık genişliği |
| b_f | : Başlık genişliği |
| b_{fc}, b_c | : Basınç başlığı genişliği |
| b_k | : Üst başlık konsol genişliği |
| B | : Üstyapı genişliği |
| B_b | : Enine berkitme için gerekli alana ilişkin sabit katsayı |
| B_r | : Mesnet berkitmeleri taşıma dayanımı |
| C | : Kesme burulma dayanımının kesme akma dayanımına oranı |
| C_b | : Eğim düzeltme katsayısı |
| d | : Elastik durumdaki kiriş yüksekliği |
| d_e | : Dış kiriş merkezinden bariyer içine olan mesafe |
| d_p | : Kaldırım yüksekliği |
| d_s | : Saplama çapı |
| d₀ | : Enine berkitme aralığı |
| d₁, d₂, d₃ | : Hareketli yükten oluşan sehim miktarları |
| D | : Gövde levhası eğik uzunluğu |
| D_c | : Elastik durumda basınç altındaki gövdenin yüksekliği |
| D_p | : Kompozit kesit yüksekliği |
| D_t | : Kompozit kesit yüksekliği |
| e | : Modifikasyon katsayısı |
| e_g | : Kiriş ağırlık merkezi ile tabliye ağırlık merkezi arası uzunluk |
| E | : Elastite modülü |
| E_B | : Kiriş elastite modülü |
| E_D | : Tabliye elastite modülü |
| f_{bu} | : Başlık gerilmesi |
| f_c | : Basınç başlığı gerilmesi |
| f_c' | : Beton basınç mukavemeti |
| f_{cw} | : Gövdenin üstünde oluşan düşey eğilme gerilmesi |
| f_i | : Başlık yanal gerilmesi |
| f_{mid} | : Başlığın tutulmamış uzunluğu ortasındaki gerilme |

| | |
|-------------------|--|
| f_t | : Çekme başlığı gerilmesi |
| f_v | : St. Venant burulma gerilmesi |
| f_{vr} | : Faktörlenmiş kesme burulma dayanımı |
| f_0, f_1, f_2 | : Başlık yanal eğilme gerilmeleri |
| F_{cr} | : Elastik yanal burkulma gerilmesi |
| F_{crs} | : Enine berkitmenin elastik lokal burulma gerilmesi |
| F_{crw} | : Gövdenin nominal burulma dayanımı |
| F_{fat} | : Birim uzunlukta ki radyal kesme etkisi |
| F_{nc} | : Basınç başlığı eğilme anma dayanımı |
| F_{nt} | : Çekme başlığı eğilme anma dayanım gerilmesi |
| F_P | : Hareketli yükten oluşan maksimum moment noktasında ki tabliyede oluşan toplam radyal kesme kuvveti |
| F_T | : Hareketli yükten oluşan maksimum moment noktası ile iç destek merkez mesafesi arasında ki betonarme tabliyede oluşan toplam radyal kesme kuvveti |
| F_{yc} | : Basınç başlığı akma dayanım gerilmesi |
| F_{yf} | : Başlık levhası akma dayanım gerilmesi |
| F_{yr} | : En kesit içinde anma akması başlangıcındaki basınç başlığı gerilmesi |
| F_{ys} | : Berkitme minimum akma dayanım gerilmesi |
| F_{yt} | : Çekme başlığı levhası akma dayanım gerilmesi |
| $g_{dış_kesme}$ | : Dış kirişler için hareketli yük dağılım kesme faktörü |
| $g_{dış_moment}$ | : Dış kirişler için hareketli yük dağılım moment faktörü |
| $g_{iç_kesme}$ | : İç kirişler için hareketli yük dağılım kesme faktörü |
| $g_{iç_moment}$ | : İç kirişler için hareketli yük dağılım moment faktörü |
| $g\Delta$ | : Dağılım faktörü |
| g_1 | : Kiriş zati yükü |
| g_2 | : Tabliye zati yükü |
| g_3 | : Kaldırım zati yükü |
| g_4 | : Korkuluk, bariyer vs. zati yükleri |
| g_5 | : Kaplama zati yükü |
| G | : Kiriş kesit ağırlığı |
| h | : Kiriş kesit yüksekliği |
| h_s | : Saplama yüksekliği |
| I | : Kiriş atalet momenti |
| I_t | : Enine berkitme atalet momenti |
| I_{yc} | : Çelik kesitin gövde düzlemindeki düşey eksen etrafında basınç başlığı atalet momenti |
| I_{yt} | : Çelik kesitin gövde düzlemindeki düşey eksen etrafında çekme başlığı atalet momenti |
| J | : Berkitme eğilme rijitliği |
| k | : Burulma katsayısı |
| k_s | : Kutu kesit başlığına ait kesme dayanımı için levha burulma katsayısı |
| K | : Efektif uzunluk faktörü |
| K_g | : Boyuna sertlik parametresi |
| L | : Köprü açıklık boyu |
| L_b | : Desteksiz mesafe |
| L_p, L_r | : Mesnetlenmemiş uzunluk için sınır narinlik oranları |
| M_{DC1} | : DC1 zati yükünden oluşan moment tesirleri |
| M_{DC2} | : DC2 zati yükünden oluşan moment tesirleri |

| | |
|--------------------|--|
| M_{DW} | : DW zati yükünden oluşan moment tesirleri |
| M_{LL} | : LL hareketli yükünden oluşan moment tesirleri |
| $M_{H30-S24}$ | : H30-S24 kamyon yüklemesinden oluşan moment tesirleri |
| M_p | : Plastik moment |
| $M_{\text{şerit}}$ | : Şerit yükünden oluşan moment tesirleri |
| M_1 | : Kiriş zati yükünden oluşan moment tesiri |
| M_2 | : Tabliye zati yükünden oluşan moment tesiri |
| M_3 | : Kaldırım zati yükünden oluşan moment tesiri |
| M_4 | : İlave zati yüklerden oluşan moment tesiri |
| M_5 | : Kaplama zati yükünden oluşan moment tesiri |
| M_{61} | : Araç yüklemesi 1.durumda oluşan moment tesirleri |
| M_{62} | : Araç yüklemesi 2.durumda oluşan moment tesirleri |
| M_{63} | : Eşdeğer şerit yüklemesinden oluşan moment tesirleri |
| n | : Kiriş elastisite modülünün tabliye elastite modülüne oranı |
| n_y | : Yolcu başına düşen devir sayısı |
| n_w | : Kesme saplama adedi |
| N | : Gerilme değişimine ait devir sayısı |
| N_b | : Boyuna kiriş sayısı |
| N_L | : Şerit sayısı |
| p | : Boyuna doğrultuda ki saplama aralığı |
| p_t | : Trafik şeridi azaltma katsayısı |
| p_1 | : Sol kaldırım genişliği |
| p_2 | : Sağ kaldırım genişliği |
| P | : Döşemede oluşan plastik basınç kuvveti |
| P_c | : Çelik plastik basınç kuvveti |
| P_n | : Nominal basınç dayanımı |
| P_p | : Boyuna doğrultudaki kesme kuvveti |
| P_r | : Katsayılı eksenel dayanım |
| P_{rb} | : Döşemede boyuna giden alt betonarme donatıların plastik kuvveti |
| P_{rt} | : Döşemede boyuna giden üst betonarme donatıların plastik kuvveti |
| P_t | : Plastik çekme kuvveti |
| P_T | : Hareketli yükten oluşan maksimum moment noktası ile iç destek merkez mesafesi arasında ki betonarme tabliyede oluşan kesme kuvveti |
| P_w | : Gövde plastik basınç kuvveti |
| Q | : Tabliyenin statik momenti |
| Q_i | : Kuvvet tesiri |
| Q_n | : Kesme saptamasının nominal dayanımı |
| Q_r | : Kesme saptamasının faktörlenmiş kesme dayanımı |
| r_s | : Dönme yarıçapı |
| r_t | : Yanal burkulma etkili eğriliği |
| R_a | : Reaksiyon kuvveti |
| R_b | : Gövdeden başlığa basınç gerilmesi aktarma katsayısı |
| R_h | : Başlık eğilme azaltma katsayısı |
| R_m | : Moment kuvvetinden oluşan reaksiyon kuvveti |
| R_n | : Nominal dayanım |
| R_r | : Faktörlü dayanım |
| R_v | : Kesme kuvvetinden oluşan reaksiyon kuvveti |

| | |
|-----------------|--|
| R_1 | : Normal ve kesme dayanımı kombinasyonları altında başlığın elastik burulma dayanımına eşit olup başlığın narinlik oranının 0,6 katına eşit olarak tanımlanmış katsayı |
| R_2 | : Normal ve kesme dayanımı kombinasyonları altında başlığın elastik burulma dayanımına eşit olup başlığın narinlik oranına eşit olarak tanımlanmış katsayı |
| S | : Kiriş aralığı mesafesi |
| S_{alt} | : Kesitin altına göre mukavemet momenti |
| $S_{üst}$ | : Kesitin üstüne göre mukavemet momenti |
| St | : Enine doğrultuda ki saplama aralığı |
| S_0 | : Dış kirişten kenara olan mesafe |
| t_{bf}, t_t | : Üst başlık et kalınlığı |
| t_{eff} | : Efektif tabliye genişliği |
| t_f | : Başlık et kalınlığı |
| t_{fc}, t_c | : Basınç başlığı et kalınlığı |
| t_p | : Berkitme eleman kalınlığı |
| t_s | : Tabliye kalınlığı |
| t_w | : Gövde levhası et kalınlığı |
| T_{fat}, T | : Etkili burulma momenti |
| V_{cr} | : Kesme burulma dayanımı |
| V_{DC1} | : DC1 zati yükünden oluşan kesme tesirleri |
| V_{DC2} | : DC2 zati yükünden oluşan kesme tesirleri |
| V_{DW} | : DW zati yükünden oluşan kesme tesirleri |
| V_{LL} | : LL hareketli yükünden oluşan kesme tesirleri |
| V_{fat} | : Yorulma faktörlü kesme dayanımı |
| $V_{H30-S24}$ | : H30-S24 kamyon yüklemesinden oluşan kesme tesirleri |
| V_n | : Kesme anma dayanımı |
| V_p | : Plastik kesme kuvveti |
| V_{sr} | : Birim uzunlukta ki yatay kesme etkisi |
| $V_{şerit}$ | : Şerit yükünden oluşan kesme tesirleri |
| V_u | : Dayanım sınır durumunda katsayılı yüklerle bulunan kesme kuvveti |
| V_1 | : Kiriş zati yükünden oluşan kesme tesiri |
| V_2 | : Tabliye zati yükünden oluşan kesme tesiri |
| V_3 | : Kaldırım zati yükünden oluşan kesme tesiri |
| V_4 | : İlave zati yüklerden oluşan kesme tesiri |
| V_5 | : Kaplama zati yükünden oluşan kesme tesiri |
| V_{61} | : Araç yüklemesi 1.durumda oluşan kesme tesirleri |
| V_{62} | : Araç yüklemesi 2.durumda oluşan kesme tesirleri |
| V_{63} | : Eşdeğer şerit yüklemesinden oluşan kesme tesirleri |
| w | : Yol genişliği |
| w_g | : Kutu kesit giriş genişliği |
| W_c | : Beton birim hacim ağırlığı |
| W_k | : Kaplama birim hacim ağırlığı |
| W_s | : Çelik birim hacim ağırlığı |
| x | : Kiriş başlangıcının noktaya olan mesafesi |
| X_1, X_2, X_3 | : Kiriş başlangıcına olan mesafeler |
| y_{alt} | : Ağırlık merkezinin kesitin altına olan mesafesi |
| $y_{üst}$ | : Ağırlık merkezinin kesitin üstüne olan mesafesi |
| \bar{Y} | : Tarafsız eksen mesafesi |

| | |
|----------------------|---|
| Z_r | : Saplama kesme dayanımı |
| γ_i | : Yük faktörü |
| η_D | : Süneklik ile ilgili faktör |
| η_i | : Yük değiştirici faktör |
| η_I | : Önem faktörü |
| η_R | : Fazlalık ile ilgili faktör |
| α | : Kesme saplamasının tasarım ömründe ki yorgunluğunu eğimli düz bir çizgi şeklinde belirten yorulma kesme dayanımına ait belirleyici faktör |
| σ_1, σ_2 | : Maksimum ve minimum diyafram gerilmeleri |
| σ_y, σ_z | : Y ve Z eksen yönündeki diyafram gerilmeleri |
| ϕ | : Dayanım faktörü |
| ϕ_{bb} | : Bulonlar ezilme dayanım faktörü |
| ϕ_c | : Eksenel basınç dayanım faktörü |
| ϕ_{e1} | : Tam penetrasyonlu kaynak kesme dayanımı |
| ϕ_{e2} | : Kısmi penetrasyonlu kaynak kesme dayanımı |
| ϕ_f | : Eğilme dayanım faktörü |
| ϕ_s | : Bulonlar kesme dayanım faktörü |
| ϕ_{sc} | : Kesme saplaması gerilme faktörü |
| ϕ_t | : Bulonlar çekme dayanım faktörü |
| ϕ_u | : Çekme kırılma dayanım faktörü |
| ϕ_v | : Kesme dayanım faktörü |
| ϕ_y | : Çekme akma dayanım faktörü |
| λ | : Kolon narinlik faktörü |
| λ_f | : Basınç başlığı narinlik oranı |
| λ_{pf} | : Kompakt olan başlık için sınır narinlik oranı |
| λ_{rf} | : Kompakt olmayan başlık için sınır narinlik oranı |
| Δ | : Kutu kesit için maksimum gerilmeyi düşürücü faktör |
| Δ_{DC1} | : DC1 zati yükünden oluşan sehim miktarı |
| Δ_{DC2} | : DC2 zati yükünden oluşan sehim miktarı |
| Δ_{DW} | : DW zati yükünden oluşan sehim miktarı |
| Δ_f | : Hareketli yükten oluşan dayanım gerilmesi |
| Δ_{truck} | : Kamyon yüklemeinden oluşan sehim miktarı |
| Δ_{lane} | : Şerit yüklemeinden oluşan sehim miktarı |
| Δ_t | : Toplam sehim miktarı |
| $(\Delta F)_n$ | : Nominal yorulma dayanımı |

ÖZET

I VE KUTU KESİTLİ ÇELİK-BETONARME KOMPOZİT KÖPRÜ KİRİŞLERİNİN ANALİTİK İNCELENMESİ

Bu çalışmada I ve kutu kesit çelik-betonarme kompozit köprü kirişlerinin analitik incelemesi yapılmıştır. Çalışmayı iki bölüme ayırmak mümkündür. İlk bölümde AASHTO şartnamesi kapsamında I ve kutu kesitli kirişlerin tasarım yükleri ile tasarım kontrolleri hakkında bilgiler verilmiş, ikinci bölümde ise I ve kutu kesitli çelik kirişlerin geliştirilen bilgisayar analiz programı ile tasarımları incelenmiştir.

Çalışma kapsamında, köprü tasarımında alınacak yükler, uygulanacak yükleme durumları ve kullanılması gereken kombinasyonlar sunulmuş, kiriş tasarımına ait kontroller ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Bu bilgiler çerçevesinde Microsoft Excel programında kiriş tasarımı yapılabilmesi ve kontrollerinin sağlanabilmesi için I ve kutu kesitli kiriş için ayrı iki program geliştirilmiştir. Bu programlar dahilinde belirlenen üstyapı ve kiriş kesit özelliklerine uygun olarak yük hesapları ve bunların sonucu kesitte oluşan moment ve kesme tesirleri hesaplanmaktadır. Bulunan tesirlerle kesitlerin boyut kontrolleri, konstrüksiyon, dayanım, yorulma ve sehim kontrolleri yapılmaktadır.

Çalışma sonucunda farklı açıklık sayısı ve farklı açıklık boylarında I ve kutu kesitli kiriş için kesit özellikleri tayin edilmiştir. Elde edilen sonuçlar analitik olarak incelenerek kiriş tipleri kıyaslanmıştır. Belirlenen açıklık sayıları ve açıklık boylarında seçilen kiriş kesit özelliklerine göre kiriş açıklık boyunun kısa olması durumunda I ve kutu kesitli kiriş birim ağırlıklarının birbirine yakın olduğu açıklık boyu arttıkça ise I kesitli kirişin kutu kesitli kirişe göre birim ağırlığının arttığı gözlemlenmiştir.

SUMMARY

ANALYTICAL INVESTIGATION OF THE STEEL-REINFORCED CONCRETE COMPOSITE BRIDGE BEAMS WITH I-SECTION AND BOX SECTION

Steel-concrete composite I and box-section bridge girders have been analysed in this study. It is possible to separate study in two sections. Firstly, information on the design loads with design controls of I and box-section girders has been given within the context of AASHTO. Secondly, the design of I-beam and box-section steel girders has been studied by a computer analysis program developed.

In the scope of study, loads to be used in bridge design, loading modules to be applied and combinations that should be used have been presented. Controls relating to girder design were exhaustively described. Within the framework of these informations, in Microsoft Excel two different programs have been devised in order for I and box-section girders to be designed and controlled. Within the limits of these programs, in accordance with the predetermined superstructure and girder section features, load calculations and the moments and shear forces that occurred in result of those loads have been computed. Size control, construction, strength, fatigue and displacement control have been completed by the effects that were obtained.

At the end of study, section properties were determined for I and Box sectioned girders with number of the different spacing and different space lengths. Girder types have been compared by analytically analysing the results obtained. According to the selected girder section properties with the specified span numbers and span lengths, it was observed that in the case of girder being short in span length I and box-section girders were in close proximity in terms of unit weight, on the other hand, the more the span length increased the unit weight of I-section girder increased in comparison to Box sectioned girder.

1. GİRİŞ

Köprüler; akarsu, vadi, demiryolu ve otoyollar gibi değişik coğrafi engelleri aşmak için kullanılan, iki ucundan mesnetlere oturan gerektiğinde orta ayaklarla da desteklenen, üzerinden demiryolu, karayolu, yaya yolu veya iletim hattı geçirilmesine olanak sağlayan en eski mühendislik ve sanat yapılarından bir tanesidir [1].

Mühendislik yapılarında çok eskilerden beri demir malzemesi kullanılmaktadır. Demirin, ilk önce M.Ö. 1500 yıllarında kuzeydoğu Anadolu ve Kafkasya'da üretilip kullanılmasına karşın, mühendislikte kullanımının 200 yıllık bir geçmişi vardır. Bu malzeme de ilk olarak köprü yapımında kullanılmıştır. Bu şekildeki köprülerle ilgili ilk örnek ise, İngiltere yakınlarındaki Coalbrookdale kasabası yakınında ve Severn nehri üzerinde 1779 yılında yapılan ve 31 m açıklıklı bir köprüdür. Burada kullanılan malzeme font (döküm) tür [2].

1784 yılında İngiltere'de Cort isimli bir araştırmacının geliştirdiği puddler adlı bir fırının devreye sokulmasıyla dövme çelik elde edildi. Bunun sonucunda dolu gövdeli veya kafes kirişli köprü inşaatları devreye girmiştir. 140 metre açıklıklı Britannia köprüsü, 131 metre açıklıklı Neischel köprüsü, dövme çelikle yapılmış yapıtların önemli örnekleridir. 19. yüzyılın ikinci yarısında ham demir sıvı durumuna getirilmiş ve daha sonra arıtılmasıyla dökme çelik elde edilmiştir. Böylece 20. yüzyıldan itibaren dökme çelik, dövme çeliğin yerini almış ve çelik malzemenin kullanılmasıyla inşa edilecek modern yapılarla ilgili hem teorik hem de pratik anlamda büyük ilerleme kaydedilmiştir. 20. yüzyıl başlarında kaynaklı birleşimlerin de devreye girmesiyle, çelik yapılardaki gelişme daha da hızlanmıştır. Çelik yapılaşma, günümüzde de devam etmektedir [2].

Ülkemizde 80'li yıllarda Karayolları Genel müdürlüğü tarafından yayınlanan, Yol Köprüleri için Teknik şartname [3] 'nin gelişen teknoloji ve tasarım ilkelerine göre geride kalması, tasarımcıları, yabancı yönetmelik kriterlerini, ülkemiz şartlarına adapte

ederek boyutlandırma yapmaya itmiştir. Karayolları tarafında da kabul edilen, AASHTO bu yönetmeliklerin en önemlisidir [4]. AASHTO, kurullardan oluşmaktadır; her kurulun alt komiteleri vardır. Köprü ve Ulaştırma Yapıları Komitesi, Karayolları Kurulunun kapsamında çalışan bir alt komitedir. AASHTO Köprü ve Ulaştırma Yapıları komitesi de teknik komitelerden destek almaktadır. Köprü tasarım ve araştırmaları için 20 adet teknik komite (T1-T20) oluşturulmuştur.

AASHTO-LRFD, köprülerin malzeme açısından doğrusal olmayan, elastik ötesi davranışını gözönünde bulundurarak, belirli köprüler için kuvvet esaslı doğrusal yöntemlerle tasarlanmasına olanak sağlamaktadır. Bu yönetmelik, Amerika Birleşik Devletlerinde AASHTO yönetmeliğinin yerine yürürlüğe girmiştir. Mevcut AASHTO yönetmeliği, yük katsayıları yöntemine göre (LFD), AASHTO-LRFD ise yük ve dayanım faktörüne (LRFD) göre tasarımı benimsemiştir. Bu iki yönetmelik karşılaştırıldığında, LRFD yönetmeliğinde değişen köprü açıklıklarına göre, 3.2 ile 4 kat arasında değişen emniyetli tasarım, AASHTO yönetmeliğinde ise 1.5 ile 4.5 kat arasında değişen emniyetli tasarım yapılabilmektedir [5].

Ülkemizde, karayolları köprüleri için hazırlanmış bir yönetmelik olmamasına karşın, 2007 yılında yürürlüğe giren, Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları Hava Meydanları İnşaatları Deprem Teknik Yönetmeliği önemli bir eksikliği kapatmıştır. DLH yönetmeliğinde, demiryolu köprüleri için tariflenen doğrusal olmayan yöntemlerle kesit düzeyinde performans belirlenebilmektedir. Ayrıca, bu yönetmelikte, ülkemizin tüm enlem ve boylamlarına göre deprem tasarım spektrumları, 50 yılda aşılma olasılığı %50, %10 ve %2 olan depremler için ayrı ayrı verilmiştir. Bu bilgiler dâhilinde, yapının koordinatlarına göre özel tasarım spektrumları seçilebilmekte ve gerek tasarım, gerek deprem performans değerlendirilmesinde daha kesin bir yaklaşımda bulunulabilmektedir [5].

Günümüzde ulaşımın önemi her geçen gün artmaktadır. Köprüler de ulaşımın en temel parçalarından biridir. Çelik yapılar, köprü tasarımında sık kullanılan malzemelerdendir. Çelik malzemesi, köprülerde en sık I ve kutu kesitli kompozit üstyapı elemanı olarak kullanılır. Tez çalışmasının amacı I ve kutu kesitli kompozit köprülerin farklı açıklıklar için farklı tipteki köprülerin ekonomik açıdan uygun olanın belirlenmesidir.

Mühendislik çalışmalarında önemli aşama olan köprü ön tasarımı için bir bilgi havuzu oluşturmak en yaygın giriş tiplerini kullanarak üstyapı ön tasarımın ayrıntılı olarak hesaplanmasıdır.

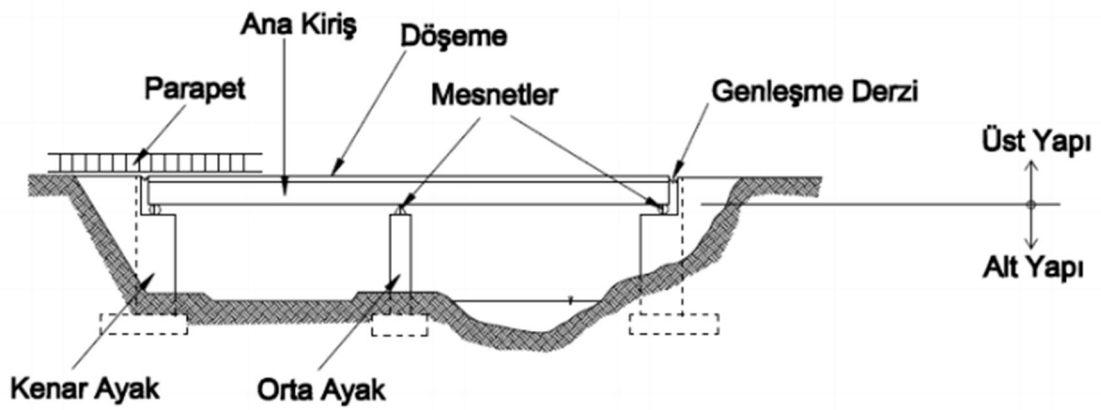
Çelik köprü tasarımı yapacak kişilere seçimleri ve hesap yöntemlerine ilişkin bir kaynak olacağı ve onlara tasarımlarında katkı sağlanacağı düşünülmektedir. Hangi açıklıkta hangi kesitin kullanılması gerektiği bakımından analitik incelenerek maliyetleri karşılaştırılacaktır.

Bu analitik inceleme yapılırken AASHTO şartnamesi gözönünde bulundurularak hesaplamalar yapılacaktır. Aynı zamanda AASHTO şartnamesi hakkında önemli bilgilere sahip olunacaktır.

Kompozit I ve Kutu kesitli köprülerin farklı açıklıklar için en uygun I ve kutu kesit üstyapısı statik olarak irdelenecek olup AASHTO'a (Amerika Devlet Karayolu ve Ulaştırma İdareleri Birliği standartları) [4] göre tasarımları yapılacaktır. Elde edilen veriler değerlendirilerek açıklık, uygun kesit, maliyet gibi konularda analitik olarak karşılaştırmalar amaçlanmıştır.

2. GENEL KISIMLAR

Tipik bir köprü temel ve ayak sisteminden oluşan köprü alt yapısından, ana kiriş, döşeme, parapet vb. yapı elemanlarından oluşan köprü üst yapısından ve alt yapı ile üst yapının arasında kuvvet alışverişini sağlayarak köprü üst yapısını ayakta tutan mesnet aparatlarından meydana gelir. Şekil 2.1’de köprü yapısını oluşturan başlıca elemanlar görülmektedir [6].



Şekil 2.1: Köprü yapısını oluşturan başlıca elemanlar

Köprü yapımında kullanılan diğer yapı malzemelerine göre çeliğin esas avantajı dayanımından ve sünekliğinden ileri gelmektedir. Çelik betonla kıyaslandığında yüksek çekme ve basınç dayanımına sahiptir. Rijitliklerinin ağırlıklarına oranı olarak bir kıyaslama yapılırsa çelik betondan çok daha yüksek bir değere sahiptir. Bu sebeple yapısal çelik köprü inşaatında verimli ve ekonomik bir malzemedir. Değişik açıklık ölçülerinde çelik köprü inşa edilebilmesine rağmen büyük açıklıklar için çelik köprü yapımı daha uygun bir çözümdür. Çelik köprüler Avrupa ve gelişmiş diğer ülkelerde sahip oldukları popüleriteyi aşağıdaki olumlu özelliklerine borçludurlar;

- Büyük açıklıklar geçilirken ve ağır yükler taşınırken ölü yüklerinin küçük olması ve daha küçük temel yapılarına ihtiyaç duyulması,
- İnşaatının hızlı ve ön üretimli elemanlarla yapılabilmesi,

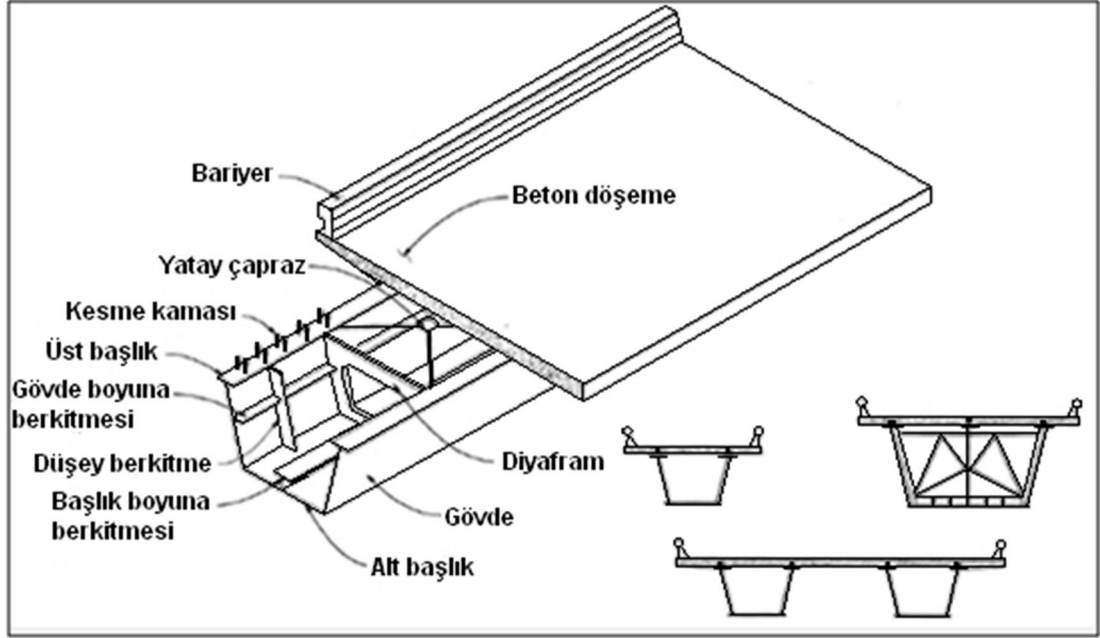
- İnşaat aşamasında daha küçük şantiye gereksinimi ve inşaat esnasında çevreye daha az rahatsızlık verilmesi,
- Deprem yüklerine daha etkin karşı koyabilmeleri,
- Beton köprülerden daha uzun ömürlü olmaları,
- Küçük derinlikli elemanlar kullanılabilmesi ve zarif oluşu,
- Daha küçük işletme maliyeti.

Çelik köprülerde korozyona uğrama durumu söz konusudur. Ama artık birçok Avrupa ülkesinde ve gelişmiş diğer ülkelerde korozyona karşı değişik teknikler mevcuttur. Bazen kullanılan boyalar ile bazen de uygun çelik alaşımıyla bu sorunun üstesinden rahatlıkla gelinebilmektedir [6].

Köprüler malzemelerine göre Çelik, Betonarme, Beton, Öngerilimli Beton, Kompozit, Kargir ve Alüminyum olarak ayrılır. Bu çalışmada yaygın olarak kullanılan çelik üstyapı tiplerinden olan I-Kesitli ve Kutu Kesitli Kompozit kirişler incelenecektir.

Kutu kesitli çelik kiriş, dikdörtgen ya da ikizkenar yamuk kesitli, ince cidarlı, en az ağırlıkla en yüksek taşıma gücünü sağlayacak biçimde içi boş bir kiriştir. Yapısı genellikle, iç yüzeylere pekiştiricilerin kaynaklandığı, orta ve yüksek mukavemetli çelik plakalardan oluşur.

Kutu kesitli kirişler, özellikle modern köprü yapımında yoğun biçimde kullanılmaktadır. Bunlarla daha ince kesitli köprüler yapılabildiği gibi malzemenin ekonomik olarak kullanılması da sağlanabilmektedir. Modern Asma Köprü'lerde de kutu kirişli gövdeler kullanılır. Ülkemizde, yapımı 1973'te tamamlanan Boğaziçi köprüsü ve İngiltere'deki Severn köprüsü buna örnek gösterilebilir. Kutu kesitli kirişlerin yapımı, öteki kirişlerden daha kolaydır. Seri halde üretilebildiklerinden, birim maliyetleri de düşüktür. Kutu kesitli kirişlerin içlerinin hava koşulları ile teması sınırlı olduğundan korunmaları kolay olmakta ve fazla bakım gerektirmemektedirler. Kutu kesitli kirişler çoğunlukla önceden monte edilmekte, böylece, gövdeyi oluşturacak büyük bölümler, tek parça halinde kaldırılabilir [7].



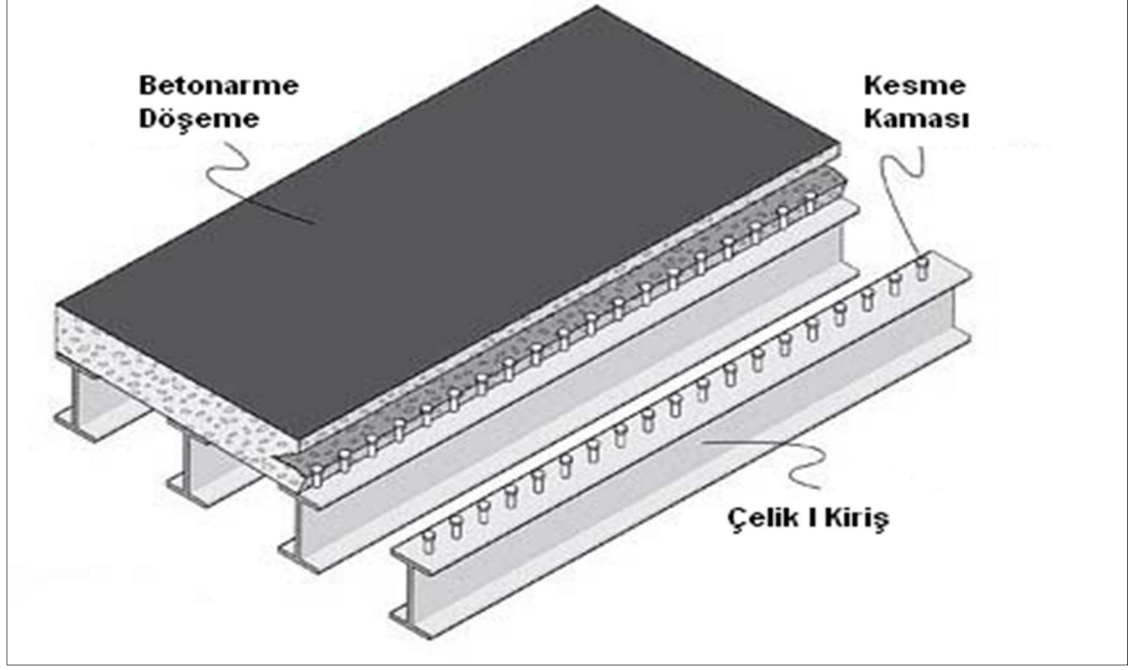
Şekil 2.2: Kompozit kutu kesitli kiriş detayı



Şekil 2.3: Kompozit kutu kesitli kiriş köprü iskeleti

Kompozit I kesitli çelik kirişler 1800'lü yıllarda demiryolu köprülerinin yapımında kullanılmasıyla popüler hale gelmiştir. Günümüzde ise en yaygın çelik köprü şekli olmuştur. Kısa ve orta açıklıklarda sıkça uygulanır. Basit ve ekonomik oluşu, tercih sebebidir. Karayolu köprülerinde I kesitli çelik kirişler mesnetler arasında yerleştirilir.

Daha sonra üstüne yaklaşık 20~25cm betonarme plak dökülür. Demiryolu köprülerinde ise demiryolu boyunca kirişlere konulan enlemlere mesnetlendirilir. Kirişli köprüler tek açıklıklı olabileceği gibi, sürekli kiriş şeklinde çok açıklıklı da olabilir. Kaynaklı olabileceği gibi perçinli de yapılabilir [8].



Şekil 2.4: Kompozit I kesitli kiriş detayı



Şekil 2.5: Kompozit I kesitli kirişli köprü iskeleti

Çelik kompozit kutu kesitli ve I kesitli kirişlerin AASHTO yönetmeliğine [4] göre üstyapı tasarımına ait bazı çalışmalar ve incelemeler aşağıda verilmiştir.

National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) gibi ulusal kuruluşlar da kapsamlı araştırmalar gerçekleştirmektedirler. NCHRP altında bulunan ulaşım araştırma kurulu [9, 10] tarafından hazırlanan yatay kurplu çelik kutu ve I kesitli çelik köprülerin tasarımına ait hesaplamalar vermişlerdir. Bu tasarım incelemelerinde I ve kutu kesitli çelik kirişlerin boyut kontrolleri, konstrüksiyon, dayanım ve yorulma kontrolleri gibi bir çok hesaplamalar sunmuşlardır. Aynı zamanda kirişlerde yatay yönde ki kurbun kiriş hesaplarında nasıl dahil edildiğini araştırmalarla incelemişlerdir.

Chen [11], köprü üstyapı tiplerini ve bunlara ait hesaplamaları vermiştir. Bu hesaplamalar da çelik-betonarme kompozit I ve kutu kesitli çelik kirişli köprülere ait genel bilgilerin yanı sıra başlıca hesap kabullerini sunmuştur. Yapılan hesap kabullerini dikkate alan örneklerle destekleyerek hesaplamaları incelemiştir.

Grubb ve Schmidt [12], üç açıklı sürekli kompozit I kesitli çelik kiriş köprü tasarımını AASHTO'ya uygun olarak hesaplamalarını sunmuştur. Bu hesaplamalarda hareketli yük dağılım katsayılarına ait ayrıntılı olarak hesaplamaları sunularak hesaplara olan etkisini incelemişlerdir.

Michael G. Barker ve Steven D. Schrage [13], tarafından yapılan çalışmada çelik kirişli köprülerin geçtiği farklı açıklıklara uygun olarak maliyetlerinin karşılaştırılmasını incelemişlerdir.

Do Dai Thang, Min-Se Koo, and Asif Hameed [14], değişik levha boyutları ile tasarımı yapılan çelik kutu kesitli köprülerin ekonomik optimum dizaynına ait incelemeler yapmışlardır. İncelediği kapalı kesitle açık kesit arasında açıklık boyu arttıkça kapalı kesitin maliyetinin arttığını grafiksel olarak sunmuştur. Aynı zamanda kesitlerin genişlik/yükseklik oranlarının, açıklık boyuna göre lineer artış gösterdiğini incelemişlerdir.

Clingenpeel [15], çelik köprü tasarımında kullanılan yüksek performanslı çeliğin ekonomik kullanımı hakkında incelemeler sunmuştur. Araştırmalarında farklı açıklık boylarında optimum yüksekliklerde ağırlık karşılaştırmalarını ayrıntılı olarak vermiştir.

Weiwei Lin ve Teruhiko Yoda [16], çalışmalarında yatay kurplu köprü kirişlerinin analiz, dizayn ve yapım aşamaları hakkında incelemelerde bulunmuşlardır. Yapılan incelemelerde kiriş özellikleri, çelik köprü kirişlerinin hızlı imal edilebilmesi, sismik dayanımının yüksek olması ve imal edilirken kalıp ihtiyacına duyulmaması gibi konulara değinmiştir.

Faraz Safaei [17], AASHTO'a yönetmeliğine uygun olarak açıklık boyları 45.5, 65.5 ve 75.5m olan betonarme köprü modellemeleri üzerine bir çalışmada bulunmuştur. Bu çalışma kapsamında betonarme bir köprünün yönetmelik çerçevesinde nasıl modellenmesi gerektiği ve tasarım için gerekli olan hesaplamaların anlatıldığı bir çalışma sunmuştur.

Mustafa Lok [18], tarafından yapılan çalışmada Amerikan köprü standartları ile Türk köprü yönetmelikleri arasında malzemeler, yükleme durumları ve hareketli yüklerin uygulanma hakkında karşılaştırmalı bir çalışma sunmuştur.

Nurettin İlter Uluğ [5], çalışması kapsamında Eskişehir-Köseköy Hızlı Tren projesi kapsamında imal edilmiş bir köprüyü, AASHTO-LRFD yönetmeliğine göre yeniden boyutlandırmış ve mevcut köprünün, DLH yönetmeliğine göre deprem performansı değerlendirilmiştir. AASHTO-LRFD yönetmeliğine göre tasarımda kuvvet esaslı bir yöntem olan çok modlu spektral analiz yaparak köprü taşıyıcı sistem elemanları boyutlandırarak yönetmelikler arasındaki farklılıkları incelemiştir.

Can Akoğul [19], tarafından yapılan çalışmada Türkiye'de yaygın olarak inşa edilen prekast öngerilmeli kirişli betonarme köprülerin depreme dayanıklı tasarımını AASHTO yönetmeliğine çerçevesinde çözümlenmiştir. Yaptığı çalışmalar sonucu ülkemizde kullanılan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik ile AASHTO yönetmeliği arasında benzer tasarım spektrumları elde ettiğini sonucuna varmıştır.

Zekeriya Aydın [20], çalışmasında I kesitli kiriş köprü üstyapılarının, genetik algoritma ile maliyet optimizasyonu incelenmiştir. Geliştirmiş olduğu bilgisayar programı yardımıyla uygulanmış köprü üstyapı projelerinin optimum tasarımını sağlamıştır. Elde ettiği veriler sonucu, dikkate alınan malzeme maliyetleri uygulama projelerine göre %40'a varan oranlarda daha ekonomik olduğunu gözlemlenmiştir.

Emrah Aktaş [21], çalışmasında AASHTO yönetmeliğine uygun olarak boyutlandırılmış yeni yapılacak bir köprünün farklı yönetmeliklere göre deprem performanslarını incelemiştir. Çalışma kapsamında AASHTO'a yönetmeliği içerisinde sunulan yükler, yükleme durumları, dizayn parametreleri ve kombinasyonlar hakkında ayrıntılı bilgiler vermiştir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu bölümde yapılacak tasarım ve analizler için gerekli olan tüm hesaplama yöntemleri ve kontroller ayrıntılı olarak anlatılacaktır. Tasarım yapılırken AASHTO Köprü Tasarım Yönetmeliği (2005) [4] esas alınacaktır.

3.1. YÜKLER, YÜKLEME DURUMLARI VE KOMBİNASYONLAR

Köprüler belli yük ve kuvvetleri taşımak üzere tasarlanır. Bu yük ve kuvvetler;

- Ölü Yük
- Hareketli Yük
- Hareketli Yükün Çarpma ve Dinamik Etkisi
- Rüzgar Yükleri

Diğer yükler ortama göre mevcut ise şu şekildedir; Boyuna kuvvetler, merkezkaç kuvveti, termal kuvvetler, toprak basınç, kaldırma kuvveti, büzülme gerilmeleri, nervür kısılması, yapısal gerilmeler, buz, geçerli basınç ve deprem gerilmeleri.

3.1.1. Yükler

Yükler kalıcı ve geçici yükler olmak üzere 2 bölüme ayrılır.

Kalıcı Yükler;

- DD : Negatif çevre sürtünmesi kuvveti
- DC : Yapının kendi ağırlıkları ve yapısal olmayan ek zati yükler
- DW : Yüzey kaplama zati yükleri
- EH : Yatay zemin yükü
- EL : Ardgermeden kaynaklanan kuvvet etkileri
- ES : Zemin sürşarj yükü
- EV : Toprak dolgu zati yükünden gelen düşey basınç

Geçici Yükler;

- BR : Araç fren kuvveti
 CE : Araç merkezkaç kuvveti
 CR : Sünme Etkisi
 CT : Araç darbe kuvveti
 CV : Kamyon kasası darbe kuvveti
 EQ : Deprem yükü
 FR : Sürtünme kuvveti
 IC : Buz yükü
 IM : Araç dinamik yük etkisi
 LL: Hareketli yük
 LS : Hareketli sürşarj yükü
 PL : Yaya yükü
 SE : Oturma yükü
 SH : Büzülme etkisi
 TG : Değişken sıcaklık etkisi
 TU : Üniform Sıcaklık Etkisi
 WA : Su yükü ve akarsu basıncı
 WL : Araç üzerinde rüzgar yükü
 WS : Yapı üzerinde rüzgar yükü

3.1.2. Yükleme Durumları*3.1.2.1. Zati Yükler (DC ve DW)*

Zati yükler konstrüksiyona ait bütün elemanların ağırlıklarını, aksesuarları, bunlara eklenen donanımları, toprak örtüsünü, kaplama yüzeylerini, ileride gelebilecek tabakaları ve planlanmış olan genişletmeleri kapsamaktadır. Kompozit çelik köprü dizaynında DC iki bölüme ayrılmaktadır. Kompozit olmayan kesit zati yükü (DC1) , kompozit kesit zati yükü (DC2) olarak tasarım aşamasında kullanılmaktadır. DC1 kompozit olmayan kesit üzerinde betonarme döşeme yapılmadan önceki kalıcı yükü ifade etmektedir. DC2 ise üzerinde betonarme döşeme yapıldıktan ve beton mukavemetini aldıktan sonra kompozit kesit sağlandığı uzun süreli durumdaki yük olarak ifade edilir. DW yükleme durumu ise köprü üzerindeki kaplama yüklerini ifade etmektedir. Malzeme birim hacim ağırlıkları Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1 : Malzeme ağırlıkları

| Malzeme | Ağırlık (kg/m ³) |
|--|------------------------------|
| Alüminyum Alaşım | 2800 |
| Bitümlü Yüzey Kaplaması | 2250 |
| Demir Döküm | 7200 |
| Cüruf Dolgu | 960 |
| Sıkıştırılmış Kum, Silt veya Kil | 1925 |
| Beton | 2320 |
| Gevşek Kum, Silt veya Çakıl | 1600 |
| Yumuşak Kil | 1600 |
| Silindirlenmiş Çakıl, Kırmataş veya Balast | 2250 |
| Çelik | 7850 |
| Yığma Taş | 2725 |
| Sert Ahşap | 960 |
| Yumuşak Ahşap | 800 |
| Tatlı Su | 1000 |
| Tuzlu Su | 1025 |

3.1.2.2. Hareketli Yükler (LL)

Hareketli yükler, tasarım kamyonu yükü, standart kamyon katarına eş değer olan şerit yükü ve yaya yüklerinden oluşmaktadır. Bu çalışmada yaya yükleri, sonuçları etkilemeyeceği düşünülerek hesaplarda sadelik sağlanması açısından sabit yük sınıfına dahil edilecektir. Kamyon yüklerinin belirlenebilmesi için öncelikle köprü şerit sayısının belirlenmesi gerekmektedir. Köprü tasarım şeridi sayısı, yol genişliğine (w) bağlı olarak hesaplanmaktadır.

$$N_L = \frac{w}{3600} \quad (3.1)$$

Kamyon yükleri, tüm şeritlerin aynı anda dolu olma olasılığının düşük olmasından dolayı şerit sayısına bağlı olarak azaltılır.

Tablo 3.2 : Kamyon yük katsayısı

| Tasarım Şerit Sayısı (N_L) | Kamyon Yük Katsayısı (m) |
|-----------------------------------|-----------------------------|
| 1 | 1,20 |
| 2 | 1,00 |
| 3 | 0,85 |
| >3 | 0,65 |

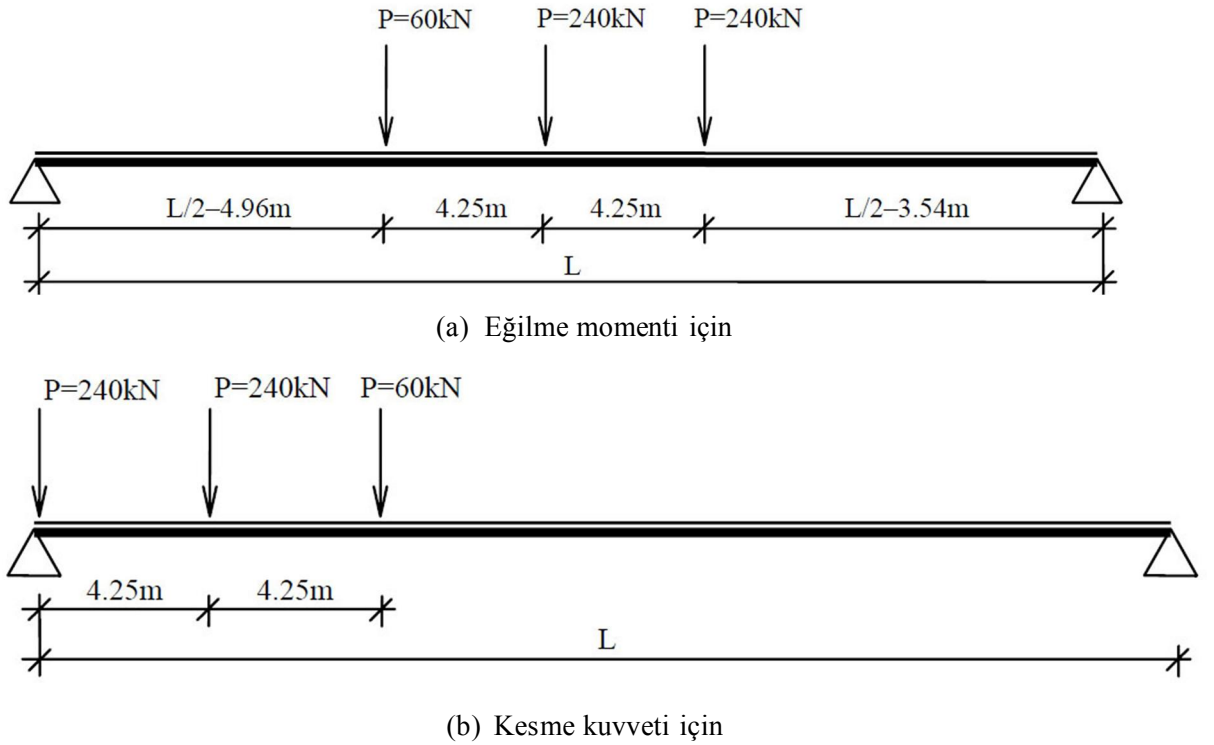
Çeşitli yükleme sınıflarına göre standart kamyon yüklemesi ve şerit yükleme için dikkate alınması gereken yük değerleri verilmiştir. Bu tabloda yük sınıfını belirten sembollerden H iki dingilli bir kamyon, S ise ona bağlı bir yarım treylere tekabül etmektedir. H harfinden sonra gelen rakam kamyonun iki dingilinden intikal eden W ağırlığını, S harfinden sonra gelen rakam ise yarım treylerin tek dingilinden intikal eden ağırlığı vermektedir. Şerit yükleme bir düzgün yayılı yük ve bir adet tekil yükten oluşmaktadır. Ülkemizde, ana yollar ve köy yolları için tanımlanan iki tip kamyon yükü bulunmaktadır. Bunlar, H30-S24 ağır yük kamyonu ve H20-S16 köy yolu kamyonlarıdır.

Ülkemiz şartlarına göre tanımlanan bu ağır yük kamyonu, AASHTO [4] yönetmeliğinde verilen kamyon yüklerinden yaklaşık 1.5 kat daha ağırdır. Tasarım aşamasında kamyon yükü olarak karayollarının yayınladığı köprüler için teknik şartnamede belirtilen H30-S24 kamyonu esas alınacaktır [3].

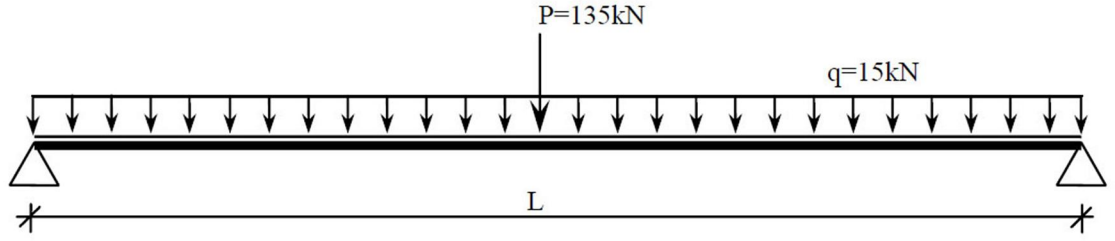
Tablo 3.3 : Standart kamyon ve eşdeğer şerit yükleri

| | | | |
|-----------------|---------|---------|----------------------|
| STANDART KAMYON | | | |
| Şerit Yüğü | | | |
| Yük Sınıfı | H30-S24 | H20-S16 | AA SHTO LRFD KAMYONU |
| W Ağırlığı (kN) | 300 | 200 | Ön Aks (kN) 35 |
| P (kN) | Eğilme | 135 | Ön Aks (kN) 145 |
| | Kesme | 195 | Arka Aks (kN) 145 |
| q (kN/m) | 15 | 10 | 9,3 |
| s (cm) | 75 | 50 | 60 |

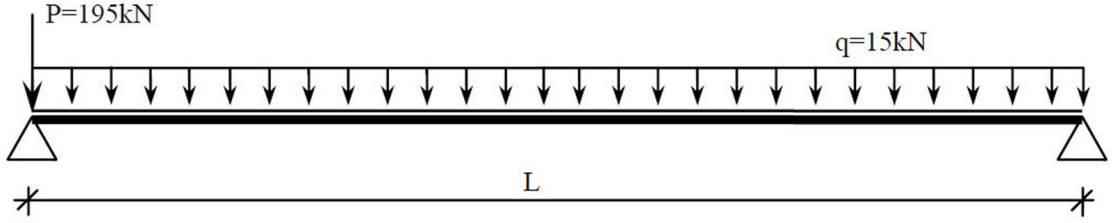
H30-S24 standart kamyon yükünün ve H30-S24 şerit yüklemesinin basit mesnetli kiriş üzerinde maksimum moment ve maksimum kesme kuvveti değerlerini verecek şekilde yerleştirilmiş hali gösterilmektedir.



Şekil 3.1: H30-S24 Kamyon yüklemesinin basit kiriş üzerine (a) eğilme momenti için (b) kesme kuvveti için en elverişsiz yerleşimi



(a) Eğilme momenti için



(b) Kesme kuvveti için

Şekil 3.2: Şerit yüklemesinin basit kiriş üzerine (a) eğilme momenti için (b) kesme kuvveti için en elverişsiz yerleşimi

AASHTO 3.6.1.4'ye göre maksimum etkiler, birçok trafik şeridinin aynı anda yüklenmesi ile elde edildiği hallerde, tam yük ihtimalinin çok zayıf olduğu göz önünde bulundurularak, hareketli yükten doğan etkiler Tablo 3.4'de verildiği şekilde azaltılabilir.

Tablo 3.4 : Trafik şeridi azaltma katsayısı

| Trafik Şeridi Sayısı | Azaltma Katsayısı (p_t) |
|----------------------|-----------------------------|
| 1 | 1.00 |
| 2 | 0.85 |
| 3 veya daha fazla | 0.80 |

İlk olarak 1994 yılında AASHTO [4] yönetmeliğinde sunulan hareketli yük dağılım faktörleri , araç yükünün tekil bir kirişe nasıl dağılacığına dair formül ve hesaplamaları göstermiştir. Hareketli yük dağılım faktörünün belirlenmesi için aşama aşama ilerleme kaydederek bir faktöre ulaşılması sağlanmaktadır. Hareketli yük dağılım faktörü köprünün üstyapı tipine, tasarım şerit sayısına ve iç veya dış kiriş olarak hesaplanmaktadır.

İlk olarak üstyapı tipinin AASHTO Tablo 4.6.2.2.1-1 seçilmesi gerekiyor. Seçilen araç yükünden kaynaklanan hareketli yük dizayn momentinin iç kiriş üzerinde

oluşturabileceği maksimum moment faktörlerinin bulunması gerekir. Yönetmelikçe seçilen üstyapı ve tasarlanan şerit sayısına göre belirlenen formüller aşağıda belirtilmiştir.

Tablo 3.5 : İç kirişler için hareketli yük dağıtım moment faktörleri

| Üstyapı Tipi | Dağıtım Faktörleri | Uygunabilirlik Aralığı |
|-----------------------------|--|--|
| Çelik I Kesitli Kirişler | <p>Tek şerit yüklenmesi durumu:</p> $0.06 + \left(\frac{S}{4300}\right)^{0.4} \left(\frac{S}{L}\right)^{0.3} \left(\frac{K_g}{Lt_s^3}\right)^{0.1}$ <p>İki veya daha fazla şerit yüklenmesi durumu:</p> $0.075 + \left(\frac{S}{2900}\right)^{0.6} \left(\frac{S}{L}\right)^{0.2} \left(\frac{K_g}{Lt_s^3}\right)^{0.1}$ | $1100 \leq S \leq 4900$ $110 \leq t_s \leq 300$ $6000 \leq L \leq 73000$ $N_b \geq 4$ $4 \times 10^9 \leq K_g \leq 3 \times 10^{12}$ |
| Çelik Kutu Kesitli Kirişler | <p>Tüm Şerit Yüklemelerinde:</p> $0.05 + 0.85 \frac{N_L}{N_b} + \frac{0.425}{N_L}$ | $0.5 \leq \left(\frac{N_L}{N_b}\right) \leq 1.5$ |

Yukarıdaki ifadelerde sırasıyla; S; kiriş aralığı (mm), L; köprü açıklığı (mm), t_s; tabliye kalınlığı (mm), N_b; boyuna kiriş sayısı, N_L; şerit sayısı, K_g; ise boyuna sertlik parametresi olup tabliye ve kiriş elastisite modülü ve tabliye kalınlığına bağlı olarak hesaplanan boyutsuz bir parametredir ve aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$K_g = n(I + Ae_g^2) \quad (3.2)$$

$$n = \frac{E_B}{E_D} \quad (3.3)$$

Denklemden ifade edilen n; kiriş elastisite modülünün tabliye elastisite modülüne oranı, I; kiriş atalet momenti, A; kiriş kesit alanı, e_g kiriş ağırlık merkezi ile tabliye ağırlık merkezi arası uzunluktur.

Moment faktörleri bulunduktan sonra seçilen araç yükünden kaynaklanan hareketli yük dizayn kesme kuvvetlerinin iç kiriş üzerinde oluşturabileceği maksimum kesme faktörünün bulunması gerekir.

Tablo 3.6 : İç kirişler için hareketli yük dağıtım kesme kuvvet faktörleri

| Üstyapı Tipi | Tek Şerit Yüklü Durumu | İki veya Daha Fazla Şerit Yüklenmesi Durumu | Uygulanabilirlik Aralığı |
|-----------------------------|---|---|--|
| Çelik I Kesitli Kirişler | $0.36 + \frac{S}{7600}$ | $0.2 + \frac{S}{3600} - \left(\frac{S}{10700}\right)^{2.0}$ | $1100 \leq S \leq 4900$ $110 \leq t_s \leq 300$ $6000 \leq L \leq 73000$ $N_b \geq 4$ |
| Çelik Kutu Kesitli Kirişler | Tüm Şerit Yüklmelerinde: $0.05 + 0.85 \frac{N_L}{N_b} + \frac{0.425}{N_L}$ | | $0.5 \leq \left(\frac{N_L}{N_b}\right) \leq 1.5$ |

İç kirişler için moment ve kesme faktörleri bulunduktan sonra sıra dışı kirişler için moment ve kesme faktörlerinin bulunmasına gelir. Aşağıda dış kirişlere ait moment ve kesme hesap tabloları verilmiştir.

Tablo 3.7 : Dış kirişler için hareketli yük dağıtım moment faktörleri

| Üstyapı Tipi | Tek Şerit Yüklü Durumu | İki veya Daha Fazla Şerit Yüklenmesi Durumu | Uygulanabilirlik Aralığı |
|-----------------------------|---|---|--|
| Çelik I Kesitli Kirişler | Lever Rule | $g = e \cdot g_{iç}$ $e = 0.77 + \frac{d_e}{2800}$ | $-300 \leq d_e \leq 1700$ |
| Çelik Kutu Kesitli Kirişler | Tüm Şerit Yüklmelerinde: $0.05 + 0.85 \frac{N_L}{N_b} + \frac{0.425}{N_L}$ | | $0.5 \leq \left(\frac{N_L}{N_b}\right) \leq 1.5$ |

İfadelerden d_e ; dış kiriş merkezinden bariyer içine olan mesafe (mm), e ; iç kiriş moment faktöründen dış kiriş moment faktörünün hesaplanması için gereken modifikasyon katsayısı, Lever Rule; yöntemi dış kirişlerde hareketli yük dağıtım faktörünün belirlenmesi için bir yöntemdir. İç kirişlerin döşemede tutulu olduğu varsayılarak kamyon ağırlığının dış kirişlerde oluşturacağı statik direncin hesaplanmasıdır.

Tablo 3.8 : Dış kirişler için hareketli yük dağıtım kesme faktörleri

| Üstyapı Tipi | Tek Şerit Yüklü Durumu | İki veya Daha Fazla Şerit Yüklenmesi Durumu | Uygulanabilirlik Aralığı |
|-----------------------------|--|---|--|
| Çelik I Kesitli Kirişler | Lever Rule | $g = e \cdot g_{iç}$ $e = 0.6 + \frac{d_e}{3000}$ | $-300 \leq d_e \leq 1700$ |
| Çelik Kutu Kesitli Kirişler | Tüm Şerit Yüklemelerinde: $0.05 + 0.85 \frac{N_L}{N_b} + \frac{0.425}{N_L}$ | | $0.5 \leq \left(\frac{N_L}{N_b}\right) \leq 1.5$ |

3.1.2.3. Araç Dinamik Yük Etkisi (IM)

AASHTO şartnamesinde hareketli yüklerin etkisinden doğan dinamik yük arttırma katsayısı, köprü açıklığından bağımsız olarak tablodaki gibi verilmiştir. Bu yük arttırma katsayısı yalnızca kamyon yükü için geçerlidir. Yaya yüklerinde ve şerit yüklerinde böyle bir arttırma yapılmamaktadır.

Tablo 3.9 : Dinamik etki katsayıları

| Limit Durumu | Dinamik Etki Katsayısı (IM) |
|--------------------|-----------------------------|
| Yorulma ve Çatlak | %15 |
| Diğer tüm durumlar | %33 |

3.1.3. Kombinasyonlar

AASHTO yönetmeliğinde [4] tanımlanan yük kombinasyonları Tablo 3.11'de gösterilmiştir. Aşırı durum kombinasyonu, deprem yüklemelerini temsil etmektedir.

3.2. GENEL TASARIM VE DAYANIM FAKTÖRLERİ

AASHTO yönetmeliği [4] kontrollerde güvenli tarafta kalmak amacıyla servis ve konstrüksiyon aşamasında dayanım ve servis sınır değerleri tanımlar. Üstyapı ve bileşenleri tüm bu sınır durumları için aşağıdaki denklemi sağlamaları gerekir.

$$\sum \eta_i \gamma_i Q_i \leq \phi R_n = R_r \quad (3.4)$$

Maksimum γ_i 'nin değeri için ;

$$\eta_i = \eta_D \eta_R \eta_I \geq 0.95 \quad (3.5)$$

Minimum γ_i 'nin değeri için ;

$$\eta_i = \frac{1}{\eta_D \eta_R \eta_I} \quad (3.6)$$

Yukarıdaki ifadelerden

γ_i = Yük faktörü , istatistiksel bir kuvvet çarpanı,

ϕ = Dayanım faktörü , istatistiksel nominal dayanım katsayısı,

η_i = Yük değiştirici faktörü, Süneklik, fazlalık ve işlevsel önem katsayısı,

η_D = Süneklik ile ilgili faktör,

η_R = Fazlalık ile ilgili faktör,

η_I = Önem faktörü,

Q_i = Kuvvet tesiri,

R_n = Nominal dayanım,

R_r = Faktörlü dayanım.

η_D Süneklik Faktörü ;

-Dayanım Sınır Durumları

$\eta_D \geq 1,05$: Sünek olmayan bileşenler ve bağlantılar,

$\eta_D = 1,00$: Genel tasarımlar,

$\eta_D \geq 0,95$: Sünek bileşenler.

-Diğer tüm sınır durumları

$$\eta_D = 1,00$$

η_R Fazlalık Faktörü ;

-Dayanım Sınır Durumları

$\eta_R \geq 1,05$: Fazlalığı olmayan yapılar (örn.Tek açıklıklı köprüler),

$\eta_R = 1,00$: Genel tasarımlar,

$\eta_R \geq 0,95$: Fazlalığı olabilecek yapılar (örn.Sürekli çok kirişli köprüler)

-Diğer tüm sınır durumları

$$\eta_R = 1,00$$

η_I Önem Faktörü ;

-Dayanım Sınır Durumları

$\eta_I \geq 1,05$: Önemli köprüler,

$\eta_I = 1,00$: Tipik standart köprüler,

$\eta_I \geq 0,95$: Önemi az köprüler,

-Diğer tüm sınır durumları

$$\eta_I = 1,00$$

Dayanım faktörleri ϕ farklı malzeme ve farklı kontroller için farklı katsayılar almaktadır. Bu faktörler Tablo 3.12’de verilmektedir.

Tablo 3.12 : Dayanım faktörleri

| | | | |
|---------------------------------|-------------|---|------|
| Eğilme | ϕ | = | 1,00 |
| Kesme | ϕ_s | = | 1,00 |
| Eksenel basınç , basit kesit | ϕ_c | = | 0,90 |
| Eksenel basınç , kompozit kesit | ϕ_c | = | 0,90 |
| Çekme kırılma | ϕ_t | = | 0,80 |
| Çekme akma | ϕ_y | = | 0,95 |
| Bulonlar çekme | ϕ | = | 0,80 |
| Bulonlar kesme | ϕ_s | = | 0,80 |
| Bulonlar ezilme | ϕ_{bb} | = | 0,80 |
| Tam penetrasyonlu kaynak kesme | ϕ_{e1} | = | 0,85 |
| Kısmipenetrasyonlu kaynak kesme | ϕ_{e2} | = | 0,80 |

3.3. I KESİTLİ KOMPOZİT KÖPRÜ KİRİŞ TASARIMI

3.3.1. Enkesit Boyut Kontrolleri

3.3.1.1. Başlık Boyut Kontrolleri

Basınç ve çekme başlığındaki kompozit olmayan kesit kontrolleri aşağıdaki gibidir;

$$\frac{b_f}{2t_f} \leq 12.0 \quad (3.7)$$

$$b_f \geq \frac{D}{6} \quad (3.8)$$

$$t_f \geq 1.1t_w \quad (3.9)$$

$$0.1 \leq \frac{I_{yc}}{I_{yt}} \leq 10 \quad (3.10)$$

b_f : Başlık genişliği (mm)

t_f : Başlık et kalınlığı (mm)

I_{yc} : Çelik kesitin gövde düzlemindeki düşey eksen etrafında basınç başlığı atalet momenti (mm⁴)

I_{yt} : Çelik kesitin gövde düzlemindeki düşey eksen etrafında çekme başlığı atalet momenti (mm⁴)

3.3.1.2. Gövde Boyut Kontrolleri

Boyuna berkitmesi bulunmayan gövdelerde kontrol bağıntısı şu şekildedir;

$$\frac{D}{t_w} \leq 150 \quad (3.11)$$

Burada D gövde levhası eğik uzunluğu, t_w ise gövde levhası et kalınlığı olarak ifade edilir ve birimleri mm'dir.

3.3.2. Konstrüksiyon Aşaması Kontrolleri

Konstrüksiyon aşaması kontrolleri yapım aşamasında elemanların kendi ağırlıkları altında yapının sınır durumlarının kontrol edilmesi durumudur. Kesitin üst başlık, gövde ve alt başlık olmak üzere ayrı ayrı kontrol edilmesi gerekir.

3.3.2.1. Başlık Kontrolleri

Başlığın gerilme kontrolü ilk olarak aşağıda verilen bağıntı ile yapılır;

$$f_{bu} + f_t \leq \phi_f R_h F_{yc} \quad (3.12)$$

Bu ifade de f_{bu} başlık yanal eğilmesi dikkate alınmaksızın hesaplanan başlık gerilmesidir birimi MPa'dır. R_h başlık eğilme azaltma katsayısı olup genel olarak homojen kesite sahip elemanlarda 1 alınır. F_{yc} basınç başlığı akma dayanım gerilmesidir.

f_t başlık yanal gerilmesi hesaplanmadan önce basınç başlığının maruz kaldığı akma gerilmesi kontrolleri yapılmalıdır.

$$L_b \leq 1.2L_p \sqrt{\frac{C_b R_b}{\frac{f_{bu}}{F_{yc}}}} \quad (3.13)$$

Burada desteksiz uzunluk sınırı L_p ;

$$L_p = 1.0r_t \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \quad (3.14)$$

Yanal burkulma etkili eğriligi r_t ;

$$r_t = \frac{b_{fc}}{\sqrt{12. \left(1 + \frac{1}{3} \frac{D_c t_w}{b_{fc} t_{fc}}\right)}} \quad (3.15)$$

Bu ifadelerden C_b eğim düzeltme katsayısı 1 alınır. R_b gövdeden başlığa basınç gerilmesi aktarma katsayısı konstrüksiyon aşamasında 1 alınır.

Eğer kontrol sınır değeri aşıyorsa f_l başlık yanal gerilmesi aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır;

$$f_l = \left(\frac{0,85}{1 - \frac{f_{bu}}{F_{cr}}} \right) f_{l1} \geq f_{l1} \quad (3.16)$$

Burada F_{cr} incelenen başlık için elastik yanal burkulma gerilmesi şu şekilde hesaplanır;

$$F_{cr} = \frac{C_b R_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_t} \right)^2} \quad (3.17)$$

Başlığın gerilme kontrolü için ikinci kontrol ise şu şekildedir;

$$f_{bu} + \frac{1}{3} f_l \leq \phi_f F_{nc} \quad (3.18)$$

Bu kontrol aşaması için ilk olarak lokal burkulma dayanımındaki basınç başlığı eğilme anma dayanımı F_{nc} hesabı için üst başlığın narinliği kontrol edilmesi gerekir.

$$\lambda_f \leq \lambda_{pf} \quad (3.19)$$

Bu bağıntıda λ_f basınç başlığının narinlik oranı;

$$\lambda_f = \frac{b_{fc}}{2t_{fc}} \quad (3.20)$$

λ_{pf} ise kompakt başlık için sınır narinlik oranı;

$$\lambda_{pf} = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \quad (3.21)$$

λ_{rf} ise kompakt olmayan başlık için sınır narinlik oranını ifade etmektedir.

$$\lambda_{rf} = 0,56 \sqrt{\frac{E}{F_{yr}}} \quad (3.22)$$

Eğer bu kontrol sağlanıyorsa basınç başlığı eğilme anma dayanımı aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$F_{nc} = R_b R_h F_{yc} \quad (3.23)$$

Narinlik kontrolü sağlanmıyorsa basınç başlığı anma dayanımı aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$F_{nc} = \left[1 - \left(1 - \frac{F_{yr}}{R_h F_{yc}} \right) \left(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] R_b R_h F_{yc} \quad (3.24)$$

F_{yr} : En kesit içinde anma akması başlangıcındaki basınç başlığı gerilmesi

F_{yc} : Basınç başlığı akma dayanım gerilmesi

λ_{rf} : Kompakt olmayan başlık için sınır narinlik oranı

Lokal burkulmadan kaynaklanan basınç başlığındaki nominal eğilme dayanımı bulunduktan sonra yanal burkulmadan kaynaklanan nominal eğilme dayanımı hesaplanacak olup bulunan değerlerden minimum değer seçilerek kontrol yapılacaktır.

$$L_b \leq L_p \quad (3.25)$$

ise basınç başlığı eğilme anma dayanımı şu şekilde hesaplanır;

$$F_{nc} = R_b R_h F_{yc} \quad (3.26)$$

Eğer aşağıdaki bağıntı sağlanıyorsa ;

$$L_p < L_b \leq L_r \quad (3.27)$$

basınç başlığı eğilme anma dayanımı şu şekilde hesaplanır;

$$F_{nc} = C_b \left[1 - \left(1 - \frac{F_{yr}}{R_h F_{yc}} \right) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] R_b R_h F_{yc} \leq R_b R_h F_{yc} \quad (3.28)$$

Eğer durum,

$$L_b \geq L_r \quad (3.29)$$

basınç başlığı eğilme anma dayanımı;

$$F_{nc} = F_{cr} \leq R_b R_h F_{yc} \quad (3.30)$$

Buradaki ifadelerden,

L_b : Mesnetlenmemiş uzunluk (mm)

L_p : Eğilme momentinin eleman boyunca sabit olması halinde, (yanal burkulma olmadan) eğilme anma dayanım gerilmesi $R_b R_h F_{yc}$ 'nin elde edilmesi için gerekli olan mesnetlenmemiş uzunluğun sınır değeri (mm).

$$L_p = 1.0 r_t \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \quad (3.31)$$

L_r : Eğilme momentinin eleman boyunca sabit olması halinde, alt veya üst başlıklardan herhangi birinde gerilmenin anma akmasına erişmesi için gerekli olan mesnetlenmemiş uzunluğun sınır değeri (mm).

$$L_r = \pi r_t \sqrt{\frac{E}{F_{yr}}} \quad (3.32)$$

C_b : Eğilme momentinin sabit olmaması halinde bunu dikkate alan bir düzeltme katsayısıdır. Alternatif bir rasyonel hesap yapılmazsa, C_b aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

-Tutulmamış konsollarda ve $f_{mid}/f_2 > 1$ veya $f_2 = 0$ olan elemanlarda $C_b = 1.0$

-Diğer bütün durumlardan

$$C_b = 1.75 - 1.05 \left(\frac{f_1}{f_2} \right) + 0.3 \left(\frac{f_1}{f_2} \right)^2 \leq 2.3 \quad (3.33)$$

Belirtilen ifadeler f_{mid} başlığın tutulmamış uzunluğu ortasında yanal eğilme dikkate alınmaksızın bulunan ve bu noktadaki en büyük basıncı yaratan momente göre hesaplanan gerilmedir ve birimi MPa'dır. f_{mid} değeri katsayılı yükler ile hesaplanır ve basınç durumunda pozitif çekme durumunda negatif alınır. f_1 ise incelenmekte olan başlığın mesnetlenmemiş uzunluğunun uçlarından birinde yanal eğilme dikkate alınmaksızın kritik momente göre hesaplanmış olan en büyük basınç gerilmesidir ve birimi MPa'dır. f_2 değeri de katsayılı yüklere göre hesaplanır ve pozitif alınır. Eğer bu

gerilme başlıkta mesnetlenmemiş uzunluğun her iki ucunda sıfır ise veya çekme ise değer $f_2 = 0$ alınır. f_1 başlık yanal eğilme gerilmesi aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$f_1 = 2f_{mid} - f_2 \geq f_0 \quad (3.34)$$

Bu ifade de f_0 basınç başlığının diğer mesnetlenmemiş noktasında yanal eğilme dikkate alınmaksızın en büyük basıncı yaratan veya hiçbir şekilde basınç oluşmayan durumlarda en küçük çekmeyi yaratan momentlerin maksimum değerinde hesaplanan gerilmedir.

3.3.2.2. Gövde Kontrolleri

Kesitin gövde kontrolü ise şu şekildedir;

$$f_{bu} \leq \phi_f F_{crw} \quad (3.35)$$

Bu kontrol aşamasında ilk olarak gövdenin narin olup olmadığının kontrolü yapılır. Eğer gövde narin ise bu kontrole gerek duyulur. Eğer gövde narin değil ise kontrol yapılmasına gerek duyulmaz.

$$\frac{2D_c}{t_w} \leq 5.7 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \quad (3.36)$$

Gövdenin narin çıkması durumunda kontrol yapılacağından F_{crw} gövdenin nominal burulma dayanımını hesaplamamız gerekir.

$$F_{crw} = \frac{0.9Ek}{\left(\frac{D}{t_w}\right)^2} \quad (3.37)$$

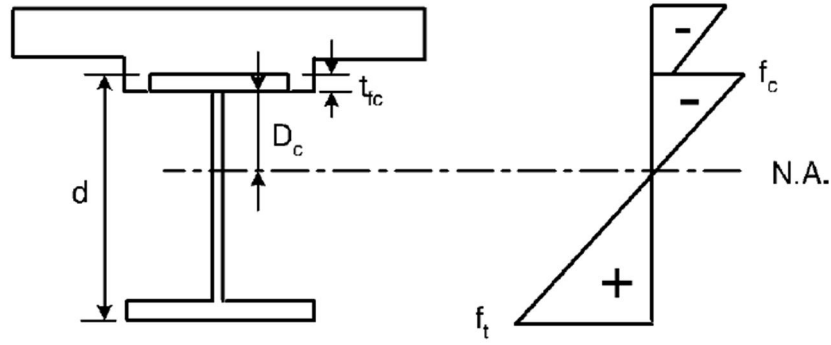
F_{crw} gövdenin nominal burulma dayanımını $R_h F_{yc}$ ve $F_{yw}/0.7$ değerlerini aşmamalıdır. Bu bağıntılarda k ifadesi burulma katsayısı olarak adlandırılır ve aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$k = \frac{9}{\left(\frac{D_c}{D}\right)^2} \quad (3.38)$$

Bu bağıntıda verilen D_c elastik durumda basınç altındaki gövdenin yüksekliği şu şekilde hesaplanır;

$$D_c = \left[\frac{-f_c}{|f_c| + f_t} \right] d - t_{fc} \geq 0 \quad (3.39)$$

Bu ifade de d kiriş yüksekliği, f_c incelenen kesitte başlığın yanal eğilmesi dikkate alınmaksızın hesaplanmış olan başlık gerilmesi, f_t ise çekme başlığının brüt alanında katsayılı yüklere göre (başlığın yanal eğilmesi dikkate alınmaksızın) hesaplanan gerilmedir.



Şekil 3.3: Elastik basınç altındaki gövde yüksekliği

Konstrüksiyon aşamasındaki gövdedeki düşey gerilmenin kontrolünün yapılması gerekir.

$$|f_{cw}| < \phi_f F_{crw} \quad (3.40)$$

f_{cw} gövdenin üstünde oluşan düşey eğilme gerilmesidir. DC1 yükleri ile oluşan moment ile hesaplanır.

3.3.3. Dayanım Kontrolleri

Kesit kontrolleri yapılırken Dayanım-I durumuna göre hesaplamalar yapılacaktır.

3.3.3.1. Üst Başlık Kontrolleri

Üst başlık kontrolü basınç başlığı olduğundan dolayı aşağıdaki basınç başlığı gerilme kontrolü formülü ile hesaplanacaktır;

$$f_{bu} \leq \phi_f F_{nc} \quad (3.41)$$

ϕ_f : Eğilme dayanım faktörü

f_{bu} : Başlığın yanal olarak tutulmamış uzunluğu boyunca en büyük basınç gerilmesidir.

F_{nc} : Basınç başlığı eğilme anma dayanım gerilmesidir.

$$F_{nc} = R_b R_h F_{yc} \quad (3.42)$$

Süneklik kontrolü aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir;

$$D_p \leq 0.42 D_t \quad (3.43)$$

Bu bağıntıda kullanılan D_t ifadesi kompozit kesit yüksekliği, D_p kompozit kesitin tarafsız ekseninden plak üstüne olan mesafesidir. D_t ve D_p ifadelerinin birimi mm'dir.

D_p hesabı için ilk olarak kesitin plastik tarafsız ekseninin mesafesini bulmamız gerekiyor. Yapılacak hesaplarda döşemede bulunan donatılar ihmal edilerek hesaplamalar yapılacaktır. Kesitin plastik tarafsız ekseninin mesafesini hesaplamamız için betonun plastik basınç kuvvetini, basınç bölgesindeki plastik basınç kuvvetini, çekme bölgesindeki plastik basınç kuvveti ve gövde plastik basınç kuvvetlerini hesaplamamız gerekir.

Döşemede oluşan plastik basınç kuvveti denklemi;

$$P_s = 0.85 f'_c b_s t_s \quad (3.44)$$

Plastik çekme kuvveti denklemi;

$$P_t = F_{yt} b_t t_t \quad (3.45)$$

Çelik plastik basınç kuvveti denklemi;

$$P_c = F_{yc} b_c t_c \quad (3.46)$$

Gövde plastik basınç kuvveti denklemi;

$$P_w = F_{yw} D t_w \quad (3.47)$$

AASHTO Tablo D6.1-2 de verilen koşullara göre verilen tarafsız eksen mesafe formülleri aşağıda verilmiştir.

Durum I;

$$P_t + P_w \geq P_c + P_s + P_{rb} + P_{rt} \quad (3.48)$$

Durum I sağlanıyorsa plastik tarafsız eksen mesafesi gövdedir. Durum I' de ki koşulda belirtilen P_{rb} döşemede boyuna giden alt betonarme donatıların plastik kuvveti, P_{rt} döşemede boyuna giden üst betonarme donatıların plastik kuvvetidir. Durum I' göre \bar{Y} tarafsız eksen mesafesi şu şekilde hesaplanır.

$$\bar{Y} = \left(\frac{D}{2}\right) \left[\frac{P_t - P_c - P_s - P_{rt} - P_{rb}}{P_w} + 1 \right] \quad (3.49)$$

Tarafsız eksen mesafesi gövde de bulunduğundan kesitin plastik moment kapasitesi şu şekilde hesaplanır.

$$M_p = \frac{P_w}{2D} [\bar{Y}^2 + (D - \bar{Y})^2] + [P_s d_s + P_{rt} d_{rt} + P_{rb} d_{rb} + P_c d_c + P_t d_t] \quad (3.50)$$

Durum II

$$P_t + P_w + P_c \geq +P_s + P_{rb} + P_{rt} \quad (3.51)$$

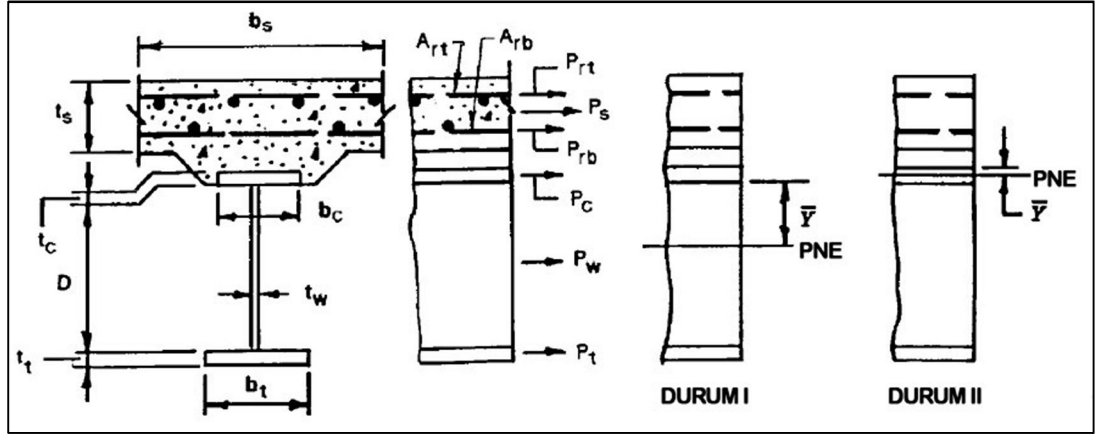
Durum II sağlanıyorsa plastik tarafsız eksen mesafesi üst başlıktadır. Durum II' göre \bar{Y} tarafsız eksen mesafesi şu şekilde hesaplanır.

$$\bar{Y} = \left(\frac{t_c}{2}\right) \left[\frac{P_w + P_t - P_s - P_{rt} - P_{rb}}{P_c} + 1 \right] \quad (3.52)$$

Tarafsız eksen mesafesi üst başlıkta bulunduğundan kesitin plastik moment kapasitesi şu şekilde hesaplanır;

$$M_p = \frac{P_c}{2t_c} [\bar{Y}^2 + (t_c - \bar{Y})^2] + [P_s d_s + P_{rt} d_{rt} + P_{rb} d_{rb} + P_w d_w + P_t d_t] \quad (3.53)$$

Şekil 3.4'de tüm plastik basınç kuvvetleri kompozit kesitte gözükmemektedir.



Şekil 3.4: Plastik kuvvetler

3.3.3.2. Gövde Kontrolleri

Kompozit kesitte negatif eğilme durumundaki kesitlerde gövde de boyuna berkitme olmadığı durumlarda gövde burkulmasının kontrol edilmesi gerekir. Tasarım yapılırken gövde de boyuna berkitme kullanılmayacağı varsayılacaktır.

Burkulma kontrolü şu şekilde kontrol edilir;

$$|f_{cw}| < \phi_f F_{crw} \quad (3.54)$$

Dayanım sınır durumunda gövde için aşağıdaki kesme kontrolü kullanılmaktadır.

$$V_u \leq \phi_v V_n \quad (3.55)$$

Kesme anma dayanımı takviyesi ve berkitmesiz gövdelerde;

$$V_n = V_{cr} = CV_p \quad (3.56)$$

Enine veya hem enine hem boyuna berkitme elemanı kullanılmış iç gövdeler ve kesme anma dayanımı iç gövde elemanlarının toplam uzunluğu boyunca aşağıdaki denklemi sağlayacak şekilde boyutlandırılmalıdır.

$$\frac{2Dt_w}{(b_{fc}t_{fc} + b_{ft}t_{ft})} \leq 2.5 \quad (3.57)$$

Eğer sınır değeri aşılmıyorsa berkitme elemanın kesme anma dayanımı şu şekilde hesaplanır;

$$V_n = V_p \left[C + \frac{0.87(1-C)}{\sqrt{1 + \left(\frac{d_0}{D}\right)^2}} \right] \quad (3.58)$$

Eğer sınır değer aşıyorsa berkitme elemanın kesme anma dayanımı şu şekildedir;

$$V_n = V_p \left[C + \frac{0.87(1-C)}{\left(\sqrt{1 + \left(\frac{d_0}{D}\right)^2} + \left(\frac{d_0}{D}\right) \right)} \right] \quad (3.59)$$

Gövde de uç berkitme elemanı kesme anma dayanımı ise şu şekilde hesaplanır;

$$V_n = V_{cr} = CV_p \quad (3.60)$$

3.3.3.3. Alt Başlık Kontrolleri

Alt başlık çekme bölgesindeyse aşağıdaki çekme başlığı gerilme kontrolü formülü ile hesaplanacaktır.

$$f_{bu} + \frac{1}{3}f_l \leq \phi_f F_{nt} \quad (3.61)$$

Çekme başlığı eğilme anma dayanım gerilmesi F_{nt} denklem (3.55) ile hesaplanır.

$$F_{nt} = R_h F_{yt} \quad (3.62)$$

Belirli noktalarda aralıklı olarak tutulmuş olan basınç başlıklarında birinci mertebe yanal eğilme gerilmesi f_l statik hesap ile doğrudan elde edilebilir. Aşağıdaki akma gerilmesi kontrolleri sağlandığında f_l için mertebe hesabı yeterlidir.

$$L_b \leq 1.2L_p \sqrt{\frac{C_b R_b}{\frac{f_{bu}}{F_{yc}}}} \quad (3.63)$$

Burada desteksiz uzunluk sınırı L_p ;

$$L_p = 1.0r_t \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \quad (3.64)$$

Yanal burkulma etkili eğriliği r_t ;

$$r_t = \frac{b_{fc}}{\sqrt{12 + \left(1 + \frac{1}{3} \frac{D_c t_w}{b_{fc} t_{fc}}\right)}} \quad (3.65)$$

Akma gerilmesi kontrolleri sağlandığında f_l başlık yanal eğilme gerilmesi ;

$$f_l = \left(\frac{0,85}{1 - \frac{f_{bu}}{F_{cr}}} \right) f_{l1} \geq f_{l1} \quad (3.66)$$

Eğer alt başlık basınç bölgesindeyse aşağıdaki basınç başlığı gerilme kontrolü formülü ile hesaplanacaktır.

$$f_{bu} + \frac{1}{3} f_l \leq \phi_f F_{nc} \quad (3.67)$$

Basınç başlığı eğilme anma dayanım gerilmesi F_{nc} hesabı için basınç başlığında lokal burkulma koşullarına ve yanal burkulma koşullarına uygun olarak F_{nc} hesaplanarak bulunan değerlerin en küçüğü seçilerek gerilme kontrolünde kullanılır.

Lokal burkulmaya göre F_{nc} basınç başlığı eğilme anma dayanım gerilmesi ;

Eğer durum;

$$\lambda_f \leq \lambda_{pf} \quad (3.68)$$

ise basınç başlığı eğilme anma dayanım gerilmesi şu şekilde hesaplanır.

$$F_{nc} = R_b R_h F_{yc} \quad (3.69)$$

Aksi durumda ise ;

$$F_{nc} = \left[1 - \left(1 - \frac{F_{yr}}{R_h F_{yc}} \right) \left(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] R_b R_h F_{yc} \quad (3.70)$$

bu şekilde hesaplanır.

Basınç başlığının narinlik oranı ;

$$\lambda_f = \frac{b_{fc}}{2t_{fc}} \quad (3.71)$$

Kompakt başlık için sınır narinlik oranı ;

$$\lambda_{pf} = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \quad (3.72)$$

Kompakt olmayan başlık için sınır narinlik oranı ;

$$\lambda_{rf} = 0,56 \sqrt{\frac{E}{F_{yr}}} \quad (3.73)$$

olarak ifade edilirler. Burada kullanılan enkesit içinde anma akması başlangıcındaki basınç başlığı gerilmesi şu şekilde hesaplanır;

$$F_{yr} = 0,7F_{yc} \quad (3.74)$$

Mesnetlenmemiş uzunluklar boyunca basınç başlığında yanal burkulmalar oluşur ve bu yanal burkulmaya göre F_{nc} basınç başlığı eğilme anma dayanım gerilmesi şu şekilde hesaplanır;

$$L_b \leq L_p \quad (3.75)$$

ise basınç başlığı eğilme anma dayanım gerilmesi şu şekilde hesaplanır;

$$F_{nc} = R_b R_h F_{yc} \quad (3.76)$$

$$L_p < L_b \leq L_r \quad (3.77)$$

ise basınç başlığı eğilme anma dayanım gerilmesi ;

$$F_{nc} = C_b \left[1 - \left(1 - \frac{F_{yr}}{R_h F_{yc}} \right) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] R_b R_h F_{yc} \leq R_b R_h F_{yc} \quad (3.78)$$

$$L_b > L_r \quad (3.79)$$

ise basınç başlığı eğilme anma dayanım gerilmesi şu şekilde hesaplanır;

$$F_{nc} = F_{cr} \leq R_b R_h F_{yc} \quad (3.80)$$

3.3.3.4. Kesme Saplama Tahkikleri

Dayanım limit durumunda kesme saptamalarına ait hesaplamalar yapılacaktır. Tek kesme saptamasının faktörlenmiş kesme dayanımı Q_r şu şekilde hesaplanır.

$$Q_r = \phi_{sc} Q_n \quad (3.81)$$

Beton döşemeye gömülü tek kesme saptamasının nominal dayanımı Q_n ise şu şekilde hesaplanır;

$$Q_n = 0.5 A_{sc} \sqrt{f'_c E_c} \leq A_{sc} F_u \quad (3.82)$$

Elde edilen kesme dayanımı Q_r ye göre minimum kesme saptama adedi n_w şu şekilde hesaplanır;

$$n_w = \frac{P}{Q_r} \quad (3.83)$$

Kenararak ve taşıt yükünden kaynaklanan momentin pozitif maksimum olduğu noktada ki nominal kesme kuvveti P hesabı şu şekildedir;

$$P = \sqrt{P_p^2 + F_p^2} \quad (3.84)$$

P_p boyuna doğrultuda ki kesme kuvveti ;

$P_p = \min(P_{1p}, P_{2p})$ olarak seçilir.

$$P_{1p} = 0.85 f'_c b_s t_s \quad (3.85)$$

$$P_{2p} = F_{yw}Dt_w + F_{yt}b_{ft}t_{ft} + F_{yc}b_{fc}t_{fc} \quad (3.86)$$

Bu ifadelerde b_s etkili tabliye genişliği, t_s ise etkili tabliye yüksekliğidir ve birimleri mm'dir. F_p toplam radyal kesme kuvveti olup düz kirişlerde $F_p = 0$ olarak alınır.

Taşıt yükünün maksimum pozitif moment olduğu nokta ile kiriş merkezi arasındaki nominal kesme kuvveti P hesabı şu şekildedir;

$$P = \sqrt{P_T^2 + F_T^2} \quad (3.87)$$

Taşıt yükünün maksimum pozitif moment noktası ile iç destek merkez mesafesindeki tabliyede boyuna kesme kuvveti P_T şu şekilde hesaplanır;

$$P_T = P_p + P_n \quad (3.88)$$

Mesnet bölgesinde ki boyuna kesme kuvveti P_n ;

$P_p = \min(P_{1n}, P_{2n})$ olarak seçilir.

$$P_{1n} = F_{yw}Dt_w + F_{yt}b_{ft}t_{ft} + F_{yc}b_{fc}t_{fc} \quad (3.89)$$

$$P_{2n} = 0.45f'_c b_s t_s \quad (3.90)$$

F_T toplam radyal kesme kuvveti olup düz kirişlerde $F_T = 0$ olarak alınır.

3.3.4. Yorulma Kontrolleri

Yorulma kontrolleri tekrarlı yükleme durumlarında ve uzun süreli durumlarda kirişte ve bağlantılardaki yorulma sınır durumlarının kontrolünün yapılmasıdır. Kullanılacak kombinasyonlar daha önce belirtilmiş olan yorulma kombinasyonlarıdır.

$$M_{min} = 0.75(LL + IM) \quad (3.91)$$

$$M_{max} = 0,75(LL + IM) \quad (3.92)$$

3.3.4.1. Başlık Kontrolü

Başlık yorulma kontrolü aşağıda verilen bağıntı ile sağlanmaktadır;

$$(\Delta f) \leq (\Delta F)_n \quad (3.93)$$

Bu bağıntıda verilen Δf yorulma kombinasyonlarından meydana gelen yorulma dayanım gerilmesi olup faktörlü maksimum yorulma momentinden faktörlü minimum yorulma momentinin çıkartılıp mukavemet momentine bölünmesi ile bulunmaktadır.

$$(\Delta f) = \frac{M_{max} - M_{min}}{S} \quad (3.94)$$

AASHTO yorulma tasarım ömrü 75 yıldır. AASHTO'da yüke bağlı yorulma detay tablosu Tablo 6.6.1.2.3-1'de belirtildiği üzere enine berkitme elemanların alt başlıklara kaynaklı olarak bağlantılı olacağından kontroller Kategori C¹ 'ne göre yapılacaktır. Kategori C¹ 'ne göre tek şeritten geçen günlük araç sayısı (*ADTT*) 745'i aşmayacak şekilde tasarlanacaktır. Bu kontrollerde dinamik etki katsayısı için hareketli yük %15 arttırılacaktır. Kategori C¹ 'ne göre sabit açıklık için yorulma eşik değeri $(\Delta F)_{TH}$ 82,7 MPa'dır. Aşağıda bulunan ifadelerden n_y AASHTO Tablo 6.6.1.2.5-2'den alınan açıklık boyuna bağlı bir katsayıdır.

$$N = 365 \cdot n_y \cdot (ADTT)_{SL} \quad (3.95)$$

$$(\Delta F)_n = \left(\frac{A}{N}\right)^{\frac{1}{3}} \geq \frac{1}{2} \cdot (\Delta F)_{TH} \quad (3.96)$$

3.3.4.2. Gövde Kontrolü

Gövde de enine berkitme elemanları olan gövdelerde genel yorulma kontrolü aşağıdaki bağıntıyı sağlamalıdır.

$$V_u \leq V_{cr} \quad (3.97)$$

Bu bağıntıda V_u , incelenmekte olan kesitin gövdesinde faktörlü yüklere göre bulunmuş olan kesme kuvvetidir birimi kN'dur. V_{cr} ise kesme burkulma dayanımıdır.

$$V_{cr} = CV_p \quad (3.98)$$

V_p plastik kesme kuvveti ;

$$V_p = 0,58F_{yw}Dt_w \quad (3.99)$$

Kesme burulma dayanımı hesabında kullanılan C ifadesi kesme burulma dayanımının kesme akma dayanımına oranıdır. C hesaplanması aşağıdaki eşitliklerinden hangisi sağlanıyorsa ona uygun belirtilen formül kullanılır.

$$\frac{D}{t_w} \leq 1.12 \sqrt{\frac{Ek}{F_{yw}}} \quad (3.100)$$

ise $C=1$ alınır.

$$1.12 \sqrt{\frac{Ek}{F_{yw}}} < \frac{D}{t_w} \leq 1.40 \sqrt{\frac{Ek}{F_{yw}}} \quad (3.101)$$

ise

$$C = \frac{1.12}{\frac{D}{t_w}} \sqrt{\frac{Ek}{F_{yw}}} \quad (3.102)$$

$$\frac{D}{t_w} > 1.40 \sqrt{\frac{Ek}{F_{yw}}} \quad (3.103)$$

$$C = \frac{1.57}{\left(\frac{D}{t_w}\right)^2} \left(\frac{Ek}{F_{yw}}\right) \quad (3.104)$$

Bu ifadeler k , kesme burulma katsayısı ;

$$k = 5 + \frac{5}{\left(\frac{d_0}{D}\right)^2} \quad (3.105)$$

d_0 : Enine berkitme aralığı (mm)

D : Gövde levhası eğik uzunluğu (mm)

3.3.4.3. Kesme Saplama Hesabı

Kesme saplamaları tüm köprü boyunca aralık ve dayanım kontrolleri yaparak tasarlanacaktır.

Kesme saplamaları boyuna doğrultudaki aralığı (p) kontrolü aşağıdaki bağıntıda verilmiştir.

$$p \leq \frac{n_w Z_r}{V_{sr}} \quad (3.106)$$

n_w : Enine doğrultudaki sapma adedi

p : Boyuna doğrultudaki saplama aralığı (mm)

Z_r : Saplama kesme dayanımı (N)

Saplama kesme dayanımı Z_r aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$Z_r = \alpha d_s^2 \geq \frac{38 d_s^2}{2} \quad (3.107)$$

$$\alpha = 238 - 29.5 \log N \quad (3.108)$$

Bu ifade de d_s saplama çapıdır. Birimi mm'dir.

Birim uzunluktaki yatay kesme etkisi hesaplanmadan önce kesme saplamalarının geometrik kesit özelliklerinin kontrol edilmesi gerekir.

$$d_s < \frac{h_s}{4} \quad (3.109)$$

$$h_s < t_{eff} - 50 \quad (3.110)$$

Bu ifadelerden h_s saplama yüksekliği t_{eff} ise tabliye kalınlığıdır. Birimleri mm'dir.

Geometrik kontroller sağlandığı takdirde V_{sr} birim uzunluktaki yatay kesme etkisi hesaplanabilir.

$$V_{sr} = \sqrt{(V_{fat})^2 + (F_{fat})^2} \quad (3.111)$$

V_{fat} : Birim uzunlukta boyuna doğrultudaki kesme etkisi.

$$V_{fat} = \frac{V_f Q}{I} \quad (3.112)$$

V_f : Yorulma faktörlü kesme kuvveti

Q : Tabliyenin statik momenti (mm³)

I : Kesitin atalet momenti (mm^4)

F_{fat} : Birim uzunluktaki radyal kesme etkisi (N/mm)

$$F_{fat} = \frac{T_{fat}}{2A_0} \quad (3.113)$$

T_{fat} : Etkili burulma momenti

A_0 : Burulma etkili alanı

Seçilen saplama aralığına göre en son olarak ta saplama aralık kontrolü yapılır.

$$p < 600\text{mm} \quad (3.114)$$

$$p > 6d_s \quad (3.115)$$

3.3.5. Enine Berkitme Dizaynı

3.3.5.1. Ara Enine Berkitme Dizaynı

Enine berkitmeler gövdenin bir yanına veya her iki yanına kaynaklanan veya civatalanan levha veya köşebentlerden oluşur. İki taraflı berkitme bulunması halinde bunlar her iki başlığa tam temas edecek şekilde tasarlanmalıdır. Berkitmeli gövdelerde aşağıda bulunan denklem sağlanmalıdır.

$$\frac{D}{t_w} \leq 2.5 \sqrt{\frac{E}{F_{yw}}} \quad (3.116)$$

Projelendirme genişlik kontrol denklemleri aşağıdaki gibidir;

$$b_t \geq 50 + \frac{d}{30} \quad (3.117)$$

$$16t_p \geq b_t \geq \frac{b_f}{4} \quad (3.118)$$

Bu ifadelerden incelenen açıklık kesitinde ki en geniş basınç başlığının toplam genişliği b_f , gövde levhası yüksekliği D , toplam kesit yüksekliği d ve düzlemden dışarı çıkan berkitme elemanının kalınlığı t_p 'dir ve birimleri mm'dir.

Enine berkitme atalet momenti kontrolü şu şekilde hesaplanır;

$$I_t \geq d_o t_w^3 J \quad (3.119)$$

Berkitme eğilme rijitliği J şu şekilde hesaplanır;

$$J = 2.5 \left(\frac{D}{d_o} \right)^2 - 2 \geq 0.5 \quad (3.120)$$

Gövdenin burulma sonrası taşıma dayanımını sağlayan çekme alanı etkisi ile oluşan kuvvetleri de karşılaması için enine ara berkitmelerin aşağıdaki denklemi sağlaması gerekir.

$$A_s \geq \left[0.15 B_b \frac{D}{t_w} (1 - C) \left(\frac{V_u}{\phi_v V_n} \right) - 18 \right] \frac{F_{yw}}{F_{crs}} t_w^2 \quad (3.121)$$

Bu denklemde berkitmede meydana gelen yerel elastik burkulma gerilmesi şu şekilde hesaplanır.

$$F_{crs} = \frac{0.31E}{\left(\frac{b_t}{t_p} \right)^2} \leq F_{ys} \quad (3.122)$$

Berkitme alanı A_s çift taraflı berkitme varsa ikisini toplam alanıdır. B katsayısı çift berkitmeler için 1, tekli köşebent berkitmeler için 1.8 ve tek levhalı berkitmeler için 2.4 alınır. F_{ys} , MPa cinsinden berkitmenin akma dayanım gerilmesidir.

3.3.5.2. Mesnet Berkitme Dizaynı

Bütün mesnet noktalarında kesitlere mesnet berkitmeleri yerleştirilmelidir. Mesnet berkitmeleri gövdenin her iki tarafına kaynaklanmış veya civatalanmış bir veya daha fazla levha veya köşebentten oluşur. Gövdeye bağlanan berkitmeler katsayılı yüklere göre mesnet kuvvetinin tamamını aktaracak şekilde tasarlanır. Berkitmeler gövde yüksekliğinin tamamına uzatılmalı ve enleri başlıkların dış kenarlarına mümkün olduğunca yakın olacak şekilde tasarlanmalıdır. Her berkitme başlığı yük aktaracak şekilde yerleştirilmeli küt kaynaklar ile bağlanmalıdır.

Mesnet berkitmelerinin projelendirme genişlik kontrolü aşağıdaki eşitlik ile kontrol edilir.

$$b_t \leq 0.48t_p \sqrt{\frac{E}{F_{ys}}} \quad (3.123)$$

Burada kullanılan ifadelerden F_{ys} berkitmenin minimum akma dayanım gerilmesidir birimi MPa'dır. Berkitme eleman kalınlığı ise t_p ile ifade edilir ve birimi mm'dir.

Mesnet berkitmelerinin taşıma dayanımı kontrolü şu şekilde hesaplanır;

$$B_r > V_u \quad (3.124)$$

Hesaplanan faktörlü reaksiyon kuvveti V_u olarak ifade edilir. B_r ise mesnet berkitmelerin taşıma dayanımıdır ve aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$B_r = \phi_b A_{pn} F_{ys} \quad (3.125)$$

Burada A_{pn} berkitmenin gövde ile başlık arasındaki köşe kaynağı dışında kalan başlık kenarını geçmeyen kısmın alanıdır ve birimi mm^2 'dir.

Mesnet berkitmelerinin aksenal dayanımı kontrolü şu şekilde hesaplanır;

$$P_r > V_u \quad (3.126)$$

Katsayılı aksenal dayanımı P_r şu şekilde hesaplanır;

$$P_r = \phi_c P_n \quad (3.127)$$

Burada nominal basınç dayanımı P_n ;

$$\lambda = \left(\frac{Kl}{r_s \pi} \right)^2 \frac{F_y}{E} \quad (3.128)$$

olmak üzere,

Eğer durum $\lambda \leq 2.25$ ise

$$P_n = 0.66^\lambda F_y A_s \quad (3.129)$$

$\lambda > 2.25$ ise

$$P_n = \frac{0.88F_y A_s}{\lambda} \quad (3.130)$$

Efektif uzunluk faktörü K bulonlanmış veya kaynaklanmış berkitme elemanlarında 0.75, sıkıştırılarak tutulmuş berkitme elemanlarında 0.875 ve diğer tüm durumlarda efektif uzunluk faktörü 1 olarak alınır. Dönme yarıçapı r_s ise şu şekilde hesaplanır;

$$r_s = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (3.131)$$

3.4. KUTU KESİTLİ KOMPOZİT KÖPRÜ KİRİŞ TASARIMI

3.4.1. Enkesit Boyut Kontrolleri

3.4.1.1. Başlık Boyut Kontrolleri

Basınç ve çekme başlığındaki kompozit olmayan kesit kontrolleri aşağıdaki gibidir.

$$\frac{b_f}{2t_f} \leq 12.0 \quad (3.132)$$

$$b_f \geq \frac{D}{6} \quad (3.133)$$

$$t_f \geq 1.1t_w \quad (3.134)$$

3.4.1.2. Gövde Boyut Kontrolleri

Boyuna berkitmesi bulunmayan gövdelerde kontrol bağıntısı şu şekildedir;

$$\frac{D}{t_w} \leq 150 \quad (3.135)$$

Boyuna berkitmesi bulunan gövdelerde ise kontrol bağıntısı şu şekildedir;

$$\frac{D}{t_w} \leq 300 \quad (3.136)$$

3.4.2. Konstrüksiyon Aşaması Kontrolleri

Konstrüksiyon aşaması kontrolleri yapım aşamasında elemanların kendi ağırlıkları altında yapının sınır durumlarının kontrol edilmesidir. Kutu kesitli köprülerde deformasyonları kontrollü olarak azaltmak amacıyla geçici veya kalıcı olarak ara iç diyaframlar, iç çaprazlar, dış diyaframlar, başlık yanal çaprazları ve bunlara benzer bağlantı elemanları kullanılır.

3.4.2.1. Başlık Kontrolleri

Basınç başlığının gerilme kontrolü ilk olarak aşağıda verilen bağıntı ile yapılır. Kritik yapım aşamasında gövdeli kompozit olmayan kutu kesitte basınç başlığı dayanımı aşağıdaki denklem ile hesaplanarak kontrol sağlanır.

$$f_{bu} + f_l \leq \phi_f R_h F_{yc} \quad (3.137)$$

Bu ifade de f_{bu} başlık yanal eğilmesi dikkate alınmaksızın hesaplanan başlık gerilmesidir birimi MPa'dır. R_h başlık eğilme azaltma katsayısı olup genel olarak homojen kesite sahip elemanlarda 1 alınır. F_{yc} basınç başlığı akma dayanım gerilmesidir.

f_l başlık yanal gerilmesi hesaplanmadan önce basınç başlığının maruz kaldığı akma gerilmesi kontrolleri yapılmalıdır.

$$L_b \leq 1.2L_p \sqrt{\frac{C_b R_b}{\frac{f_{bu}}{F_{yc}}}} \quad (3.138)$$

Burada desteksiz uzunluk sınırı L_p ;

$$L_p = 1.0r_t \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \quad (3.139)$$

Yanal burkulma etkili eğriligi r_t ;

$$r_t = \frac{b_{fc}}{\sqrt{12 + \left(1 + \frac{1}{3} \frac{D_c t_w}{b_{fc} t_{fc}}\right)}} \quad (3.140)$$

Bu ifadelerden C_b eğim düzeltme katsayısı 1 alınır. R_b gövde yük faktörü konstrüksiyon aşamasında 1 alınır.

Başlığın gerilme kontrolü için ikinci kontrol ise şu şekildedir;

$$f_{bu} + \frac{1}{3}f_l \leq \phi_f F_{nc} \quad (3.141)$$

Bu kontrol aşaması için ilk olarak lokal burkulma dayanımındaki basınç başlığı eğilme anma dayanımı F_{nc} hesabı için üst başlığın narinliği kontrol edilmesi gerekir.

$$\lambda_f \leq \lambda_{pf} \quad (3.142)$$

Bu bağıntıda λ_f basınç başlığının narinlik oranı;

$$\lambda_f = \frac{b_{fc}}{2t_{fc}} \quad (3.143)$$

λ_{pf} ise kompakt başlık için sınır narinlik oranını ifade etmektedir.

$$\lambda_{pf} = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \quad (3.144)$$

Eğer bu kontrol sağlanıyorsa basınç başlığı eğilme anma dayanımı aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$F_{nc} = R_b R_h F_{yc} \quad (3.145)$$

Narinlik kontrolü sağlanmıyorsa basınç başlığı anma dayanımı aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$F_{nc} = \left[1 - \left(1 - \frac{F_{yr}}{R_h F_{yc}} \right) \left(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] R_b R_h F_{yc} \quad (3.146)$$

F_{yr} : En kesit içinde anma akması başlangıcındaki basınç başlığı gerilmesi

F_{yc} : Basınç başlığı akma dayanım gerilmesi

λ_{rf} : Kompakt olmayan başlık için sınır narinlik oranı

Lokal burkulmadan kaynaklanan basınç başlığındaki nominal eğilme dayanımı bulunduktan sonra yanal burkulmadan kaynaklanan nominal eğilme dayanımı hesaplanacak olup bulunan değerlerden minimum değer seçilerek kontrol yapılacaktır.

$$L_b \leq L_p \quad (3.147)$$

ise basınç başlığı eğilme anma dayanımı şu şekilde hesaplanır;

$$F_{nc} = R_b R_h F_{yc} \quad (3.148)$$

Eğer aşağıdaki bağıntı sağlanıyorsa;

$$L_p < L_b \leq L_r \quad (3.149)$$

basınç başlığı eğilme anma dayanımı şu şekilde hesaplanır;

$$F_{nc} = C_b \left[1 - \left(1 - \frac{F_{yr}}{R_h F_{yc}} \right) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] R_b R_h F_{yc} \leq R_b R_h F_{yc} \quad (3.150)$$

Eğer ;

$$L_b \geq L_r \quad (3.151)$$

basınç başlığı eğilme anma dayanımı;

$$F_{nc} = F_{cr} \leq R_b R_h F_{yc} \quad (3.152)$$

Buradaki ifadelerden

L_b : Mesnetlenmemiş uzunluk (mm)

L_p : Eğilme momentinin eleman boyunca sabit olması halinde, (yanal burkulma olmadan) eğilme anma dayanım gerilmesi $R_b R_h F_{yc}$ 'nin elde edilmesi için gerekli olan mesnetlenmemiş uzunluğun sınır değeri (mm)

$$L_p = 1.0 r_t \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \quad (3.153)$$

L_r : Eğilme momentinin eleman boyunca sabit olması halinde, alt veya üst başlıklardan herhangi birinde gerilmenin anma akmasına erişmesi için gerekli olan mesnetlenmemiş uzunluğun sınır değeri (mm)

$$L_r = \pi r_t \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \quad (3.154)$$

C_b : Eğilme momentinin sabit olmaması halinde bunu dikkate alan bir düzeltme katsayısıdır. Alternatif bir rasyonel hesap yapılmazsa, C_b aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

-Tutulmamış konsollarda ve $f_{mid}/f_2 > 1$ veya $f_2 = 0$ olan elemanlarda $C_b = 1.0$

-Diğer bütün durumlardan

$$C_b = 1.75 - 1.05 \left(\frac{f_1}{f_2} \right) + 0.3 \left(\frac{f_1}{f_2} \right)^2 \leq 2.3 \quad (3.155)$$

Belirtilen ifadeler f_{mid} başlığın tutulmamış uzunluğu ortasında yanal eğilme dikkate alınmaksızın bulunan ve bu noktadaki en büyük basıncı yaratan momente göre hesaplanan gerilmedir ve birimi MPa'dır. f_{mid} değeri katsayılı yükler ile hesaplanır ve basınç durumunda pozitif çekme durumunda negatif alınır. f_1 ise incelenmekte olan başlığın mesnetlenmemiş uzunluğunun uçlarından birinde yanal eğilme dikkate alınmaksızın kritik momente göre hesaplanmış olan en büyük basınç gerilmesidir ve birimi MPa'dır. f_2 değeri de katsayılı yüklere göre hesaplanır ve pozitif alınır. Eğer bu gerilme başlıkta mesnetlenmemiş uzunluğun her iki ucunda sıfır ise veya çekme ise değer $f_2 = 0$ alınır. f_1 başlık yanal eğilme gerilmesi aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$f_1 = 2f_{mid} - f_2 \geq f_0 \quad (3.156)$$

Bu ifade de f_0 basınç başlığının diğer mesnetlenmemiş noktasında yanal eğilme dikkate alınmaksızın en büyük basıncı yaratan veya hiçbir şekilde basınç oluşmayan durumlarda en küçük çekmeyi yaratan momentlerin maksimum değerinde hesaplanan gerilmedir. Kritik yapım aşamasında gövdeli kompozit olmayan kutu kesitte çekme başlığı dayanımı aşağıdaki denklem ile hesaplanarak kontrol sağlanır. Aynı basınç başlığındaki işlemler tekrarlanarak yapılır.

$$f_{bu} + f_l \leq \phi_f R_n F_{yt} \quad (3.157)$$

3.4.2.2. Gövde Kontrolleri

Kesitin gövde kontrolü ise şu şekildedir;

$$f_{bu} \leq \phi_f F_{crw} \quad (3.158)$$

Bu kontrol aşamasında ilk olarak gövdenin narin olup olmadığının kontrolü yapılır. Eğer gövde narin ise bu kontrole gerek duyulur. Eğer gövde narin değil ise kontrol yapılmasına gerek duyulmaz.

$$\frac{2D_c}{t_w} \leq 5.7 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \quad (3.159)$$

Gövdenin narin çıkması durumunda kontrol yapılacağından F_{crw} gövdenin nominal burulma dayanımını hesaplamamız gerekir.

$$F_{crw} = \frac{0.9Ek}{\left(\frac{D}{t_w}\right)^2} \quad (3.160)$$

F_{crw} gövdenin nominal burulma dayanımını $R_h F_{yc}$ ve $F_{yw}/0.7$ değerlerini aşmamalıdır. Bu bağıntılarda k ifadesi burulma katsayısı olarak adlandırılır ve aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$k = \frac{9}{\left(\frac{D_c}{D}\right)^2} \quad (3.161)$$

Bu bağıntıda verilen D_c elastik durumda basınç altındaki gövdenin yüksekliği şu şekilde hesaplanır;

$$D_c = \left[\frac{-f_c}{|f_c| + f_t} \right] d - t_{fc} \geq 0 \quad (3.162)$$

Bu ifade de d kiriş yüksekliği, f_c incelenen kesitte başlığın yanal eğilmesi dikkate alınmaksızın hesaplanmış olan başlık gerilmesi, f_t ise çekme başlığının brüt alanında katsayılı yüklere göre (başlığın yanal eğilmesi dikkate alınmaksızın) hesaplanan gerilmedir.

Konstrüksiyon aşamasındaki gövdedeki düşey gerilmenin kontrolünün yapılması gerekir.

$$|f_{cw}| < \phi_f F_{crw} \quad (3.163)$$

f_{cw} gövdenin üstünde oluşan düşey eğilme gerilmesidir. DC1 yükleri ile oluşan moment ile hesaplanır.

Gövde kontrolleri yapılırken ilk önce gövdenin narinlik kontrolünün yapılması gerekir. Eğer narinlik kontrolü sağlanıyor ise gövde burulma dayanımının kontrolüne ihtiyaç yoktur.

$$\frac{2D_c}{t_w} \leq 5.7 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \quad (3.164)$$

3.4.3. Dayanım Kontrolleri

3.4.3.1. Üst Başlık Kontrolleri

Kutu kesit üst başlığının dayanımı AASHTO 6.11.8.2' e göre kontrol edilecektir. Tasarım yapılırken Dayanım-I durumu göz önüne alınarak hesaplar yapılacaktır. Tasarım yapılırken hesaplamalarda kullanılmak üzere boyuna bir adet basınç başlığı berkitmesi olduğu varsayılmıştır. Hareketli ve zati yükten alt başlıkta meydana gelen faktörlenmiş düşey eğilme gerilmesi hesaplanır. Eğer kutu kesit üst başlığının genişliği köprü açıklığının 1/5'ini aşmıyor ise kayma gecikmesi hesaba katılmasına gerek duyulmaz. Bu nedenle boyuna düşey eğilme gerilmesi başlık boyunca düzgün üniform olduğu varsayılır.

Faktörlü yükler altında ki St. Venant burulma gerilmeleri toplamı f_v etkili burulma momentine bağlı olarak bulunur. Bulunacak olan faktörlenmiş burulma kesme dayanımı f_{vr} 'e karşı uygulanacak olan kesme burulması ile kontrol edilmelidir.

$$f_v < f_{vr} \quad (3.165)$$

Bu ifadelerden St. Venant burulma gerilmesi ;

$$f_v = \frac{T}{2 \cdot A_0 \cdot t_{tf}} \quad (3.166)$$

Faktörlenmiş kesme burulma dayanımı f_{vr} ise aşağıdaki denklem ile hesaplanır. T etkili burulma moment, A_0 ise etkili burulma alanını ifade etmektedir.

$$f_{vr} = 0,75 \cdot \phi_v \cdot \frac{F_{yf}}{\sqrt{3}} \quad (3.167)$$

Üst başlık gerilme kontrolü aşağıdaki denklemi sağlaması gerekir.

$$f_{bu} < \phi_f F_{nc} \quad (3.168)$$

Bu ifadelerden başlık eğilme anma dayanım gerilmesi F_{nc} farklı durumlar için farklı formüller almaktadır. Bu durumlar ve başlık eğilme anma dayanım gerilmesi formülleri verilmiştir.

Durum-I ;

$$\lambda_f \leq R_1 \sqrt{\frac{kE}{F_{yc}}} \quad (3.169)$$

Eşitlik sağlanıyorsa basınç başlığı anma dayanım gerilmesi aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$F_{nc} = R_b R_h F_{yc} \Delta \quad (3.170)$$

Durum-II;

$$R_1 \sqrt{\frac{kE}{F_{yc}}} < \lambda_f \leq R_2 \sqrt{\frac{kE}{F_{yc}}} \quad (3.171)$$

Eşitlik sağlanıyorsa basınç başlığı anma dayanım gerilmesi aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$F_{nc} = R_b R_h F_{yc} \left[\Delta - \left(\Delta - \frac{F_{yr}}{R_h F_{yc}} \right) \left\{ 1 - \sin \left[\frac{\pi}{2} \left(\frac{R_2 - \frac{b_{fc}}{t_{fc}} \sqrt{\frac{F_{yc}}{kE}}}{R_2 - R_1} \right) \right] \right\} \right] \quad (3.172)$$

Bu ifadelerden Δ kutu kesitte maksimum gerilme azaltma katsayısı aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$\Delta = \sqrt{1 - 3 \left(\frac{f_v}{F_{yc}} \right)^2} \quad (3.173)$$

Durum-III;

$$\lambda_f > R_2 \sqrt{\frac{kE}{F_{yc}}} \quad (3.174)$$

Eşitlik sağlanıyorsa basınç başlığı anma dayanım gerilmesi aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$F_{nc} = \frac{0.9ER_b k}{\left(\frac{b_{fc}}{t_{fc}}\right)^2} - \frac{R_b f_v^2 k}{0.9Ek_s^2} \left(\frac{b_{fc}}{t_{fc}}\right)^2 \quad (3.175)$$

Burada kullanılan basınç başlığı narinlik oranı λ_f aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$\lambda_f = \frac{b_{fc}}{t_{fc}} \quad (3.176)$$

F_{yr} en kesit içinde anma akması başlangıcındaki basınç başlığı gerilmesi ise şu şekilde hesaplanır;

$$F_{yr} = (\Delta - 0.4)F_{yc} \leq F_{yw} \quad (3.177)$$

Basınç başlığı narinlik oranı katsayıları R_1, R_2 ise şu şekilde hesaplanırlar;

$$R_1 = \frac{0.57}{\sqrt{\frac{1}{2} \left[\Delta + \sqrt{(\Delta)^2 + 4 \left(\frac{f_v}{F_{yc}}\right)^2 \left(\frac{k}{k_s}\right)^2} \right]}} \quad (3.178)$$

$$R_2 = \frac{1.23}{\sqrt{\frac{1}{1.2} \left[\frac{F_{yr}}{F_{yc}} + \sqrt{\left(\frac{F_{yr}}{F_{yc}}\right)^2 + 4 \left(\frac{f_v}{F_{yc}}\right)^2 \left(\frac{k}{k_s}\right)^2} \right]}} \quad (3.179)$$

Bu ifadelerde k normal düzgün gerilme için burulma katsayısı boyuna başlıkta ki berkitme sayısına göre değişiklik gösterir. Eğer boyuna berkitme yok ise 0 alınır.

Eğer boyuna berkitme sayısı 1 ise verilen bağıntı ile hesaplanır;

$$k = \left(\frac{8I_s}{wt_{fc}^3} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (3.180)$$

Boyuna berkitme sayısı 2 ise aşağıdaki denklem ile hesaplanır;

$$k = \left(\frac{0.894I_s}{wt_{fc}^3} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (3.181)$$

Boyuna berkitmesi olmayan kesitlerde kesme için burulma gerilme katsayısı k_s ifadesi 5.4 değerini alır. Eğer boyuna berkitmesi var ise şu şekilde hesaplanır;

$$k_s = \frac{5.34 + 2.84 \left(\frac{I_s}{wt_{fc}^3} \right)^{1/3}}{(n + 1)^2} \leq 5.34 \quad (3.182)$$

Bu ifade de kullanılan I_s başlıkta bulunan boyuna berkitmenin atalet momentidir ve birimi mm^4 'tür. w ifadesi ise basınç başlığı genişliği b_{fc} yerine kullanılır. Basınç başlığı anma dayanım gerilmesi F_{nc} hesabında kullanılan başlık eğilme azaltma katsayısı R_h ifadesi 1.0 değerini alır. R_b gövdeden başlığa basınç gerilmesi aktarma katsayısı ise şu şekilde hesaplanır;

$$\frac{2D_c}{t_w} \leq \lambda_{rw} \quad (3.183)$$

Eğer yukarıdaki eşitlik sağlanıyorsa $R_b = 1.0$ alınır. Aksi takdirde ise aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanır.

$$R_b = 1 - \left(\frac{a_{wc}}{1200 + 300a_{wc}} \right) \left(\frac{2D_c}{t_w} - \lambda_{rw} \right) \leq 1.0 \quad (3.184)$$

Bu ifadelerden λ_{rw} ;

$$\lambda_{rw} = 5.7 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \quad (3.185)$$

Basınç bölgesindeki gövde alanının iki katının basınç başlığının alanına oranı a_{wc} ise şu şekilde hesaplanır;

$$a_{wc} = \frac{2D_c t_w}{b_{fc} t_{fc}} \quad (3.186)$$

3.4.3.2. Alt Başlık Kontrolleri

Alt başlık gerilme kontrolleri de aynı şekilde üst başlık gibi yapılmakta olup çekme başlığı akma dayanım gerilmesi F_{nt} şu şekilde hesaplanır.

$$F_{nt} = R_h F_{yt} \Delta \quad (3.187)$$

Süneklik kontrolü aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

$$D_p \leq 0.42 D_t \quad (3.188)$$

Bu bağıntıda kullanılan D_t ifadesi kompozit kesit yüksekliği, D_p kompozit kesitin tarafsız ekseninden plak üstüne olan mesafesidir. D_t ve D_p ifadelerinin birimi mm'dir. D_p hesabı için ilk olarak kesitin plastik tarafsız ekseninin mesafesini bulmamız gerekiyor. Yapılacak hesaplarda döşemede bulunan donatılar ihmal edilerek hesaplamalar yapılacaktır. Kesitin plastik tarafsız ekseninin mesafesini hesaplamamız için betonun plastik basınç kuvvetini, basınç bölgesindeki plastik basınç kuvvetini, çekme bölgesindeki plastik basınç kuvveti ve gövde plastik basınç kuvvetlerini hesaplamamız gerekir.

Döşemede oluşan plastik basınç kuvveti denklemi;

$$P_s = 0.85 f'_c b_s t_s \quad (3.189)$$

Plastik çekme kuvveti denklemi;

$$P_t = F_{yt} b_t t_t \quad (3.190)$$

Plastik basınç kuvveti denklemi;

$$P_c = F_{yc} b_c t_c \quad (3.191)$$

Gövde plastik basınç kuvveti denklemi;

$$P_w = F_{yw} D t_w \quad (3.192)$$

AASHTO Tablo D6.1-2 de verilen koşullara göre verilen tarafsız eksen mesafe formülleri aşağıda verilmiştir:

Durum I;

$$P_t + P_w \geq P_c + P_s + P_{rb} + P_{rt} \quad (3.193)$$

Durum I sağlanıyorsa plastik tarafsız eksen mesafesi gövdedir. Durum I'de ki koşulda belirtilen P_{rb} döşemede boyuna giden alt betonarme donatıların plastik kuvveti, P_{rt} döşemede boyuna giden üst betonarme donatıların plastik kuvvetidir. Durum I' göre \bar{Y} tarafsız eksen mesafesi şu şekilde hesaplanır.

$$\bar{Y} = \left(\frac{D}{2}\right) \left[\frac{P_t - P_c - P_s - P_{rt} - P_{rb}}{P_w} + 1 \right] \quad (3.194)$$

Tarafsız eksen mesafesi gövde de bulunduğundan kesitin plastik moment kapasitesi şu şekilde hesaplanır.

$$M_p = \frac{P_w}{2D} [\bar{Y}^2 + (D - \bar{Y})^2] + [P_s d_s + P_{rt} d_{rt} + P_{rb} d_{rb} + P_c d_c + P_t d_t] \quad (3.195)$$

Durum II

$$P_t + P_w + P_c \geq P_s + P_{rb} + P_{rt} \quad (3.196)$$

Durum II sağlanıyorsa plastik tarafsız eksen mesafesi üst başlıktadır. Durum II' göre \bar{Y} tarafsız eksen mesafesi şu şekilde hesaplanır;

$$\bar{Y} = \left(\frac{t_c}{2}\right) \left[\frac{P_w + P_t - P_s - P_{rt} - P_{rb}}{P_c} + 1 \right] \quad (3.197)$$

Tarafsız eksen mesafesi üst başlıkta bulunduğundan kesitin plastik moment kapasitesi şu şekilde hesaplanır;

$$M_p = \frac{P_c}{2t_c} [\bar{Y}^2 + (t_c - \bar{Y})^2] + [P_s d_s + P_{rt} d_{rt} + P_{rb} d_{rb} + P_w d_w + P_t d_t] \quad (3.198)$$

3.4.4. Yorulma Kontrolleri

Yorulma kontrolleri tekrarlı yükleme durumlarında ve uzun süreli durumlarda kirişte ve bağlantılardaki yorulma sınır durumlarının kontrolünün yapılmasıdır. Kullanılacak kombinasyonlar daha önce belirtilmiş olan yorulma kombinasyonlarıdır.

$$M_{min} = 0.75(LL + IM) \quad (3.199)$$

$$M_{max} = 0,75(LL + IM) \quad (3.200)$$

3.4.4.1. Başlık Kontrolü

Başlık yorulma kontrolü aşağıda verilen bağıntı ile sağlanmaktadır.

$$(\Delta f) \leq (\Delta F)_n \quad (3.201)$$

Bu bağıntıda verilen Δf yorulma kombinasyonlarından meydana gelen yorulma dayanım gerilmesidir. Faktörlü maksimum yorulma momentinden faktörlü minimum yorulma momentinin çıkartılıp mukavemet momentine bölünmesi ile bulunmaktadır.

$$(\Delta f) = \frac{M_{max} - M_{min}}{S} \quad (3.202)$$

AASHTO yorulma tasarım ömrü 75 yıldır. AASHTO'da yüke bağlı yorulma detay tablosu Tablo 6.6.1.2.3-1'de belirtildiği üzere enine berkitme elemanların alt başlıklara kaynaklı olarak bağlantılı olacağından kontroller Kategori C¹ 'ne göre yapılacaktır. Kategori C¹ 'ne göre tek şeritten geçen günlük araç sayısı (ADTT) 745'i aşmayacak şekilde tasarlanacaktır. Bu kontrollerde dinamik etki katsayısı için hareketli yük %15 arttırılacaktır. Kategori C¹ 'ne göre sabit açıklık için yorulma eşik değeri $(\Delta F)_{TH}$ 82,7 MPa'dır. Aşağıda bulunan ifadelerden n_y AASHTO Tablo 6.6.1.2.5-2'den alınan açıklık boyuna bağlı bir katsayıdır.

$$N = 365 \cdot n_y \cdot (ADTT)_{SL} \quad (3.203)$$

$$(\Delta f)_n = \left(\frac{A}{N}\right)^{\frac{1}{3}} \geq \frac{1}{2} \cdot (\Delta F)_{TH} \quad (3.204)$$

3.4.4.2. Gövde Kontrolü

Gövde de enine berkitme elemanları olan gövdelerde genel yorulma kontrolü aşağıdaki bağıntıyı sağlamalıdır.

$$V_u \leq V_{cr} \quad (3.205)$$

Bu bağıntıda V_u , incelenmekte olan kesitin gövdesinde faktörlü yüklere göre bulunmuş olan kesme kuvvetidir birimi kN'dur. V_{cr} ise kesme burkulma dayanımıdır.

$$V_{cr} = CV_p \quad (3.206)$$

V_p plastik kesme kuvveti ;

$$V_p = 0,58F_{yw}Dt_w \quad (3.207)$$

Kesme burulma dayanımı hesabında kullanılan C ifadesi kesme burulma dayanımının kesme akma dayanımına oranıdır. C hesaplanması aşağıdaki eşitliklerinden hangisi sağlanıyorsa ona uygun belirtilen formül kullanılır.

$$\frac{D}{t_w} \leq 1.12 \sqrt{\frac{Ek}{F_{yw}}} \quad (3.208)$$

ise $C=1$ alınır.

$$1.12 \sqrt{\frac{Ek}{F_{yw}}} < \frac{D}{t_w} \leq 1.40 \sqrt{\frac{Ek}{F_{yw}}} \quad (3.209)$$

ise

$$C = \frac{1.12}{\frac{D}{t_w}} \sqrt{\frac{Ek}{F_{yw}}} \quad (3.210)$$

$$\frac{D}{t_w} > 1.40 \sqrt{\frac{Ek}{F_{yw}}} \quad (3.211)$$

$$C = \frac{1.57}{\left(\frac{D}{t_w}\right)^2} \left(\frac{Ek}{F_{yw}}\right) \quad (3.212)$$

Bu ifadeler k , kesme burulma katsayısı ;

$$k = 5 + \frac{5}{\left(\frac{d_0}{D}\right)^2} \quad (3.213)$$

d_0 : Enine berkitme aralığı (mm)

D : Gövde levhası eğik uzunluğu (mm)

3.4.4.3. Kesme Saplamaları Hesabı

Kesme saptamaları tüm köprü boyunca aralık ve dayanım kontrolleri yaparak tasarlanacaktır. Kesme saptamaları boyuna doğrultudaki aralığı (p) kontrolü aşağıdaki bağıntıda verilmiştir.

$$p \leq \frac{nZ_r}{V_{sr}} \quad (3.214)$$

n : Enine doğrultudaki saptama adedi

p : Boyuna doğrultudaki saptama aralığı

Z_r : Saptama kesme dayanımı

Saptama kesme dayanımı Z_r aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$Z_r = \alpha d_s^2 \geq \frac{38d_s^2}{2} \quad (3.215)$$

$$\alpha = 238 - 29.5 \log N \quad (3.216)$$

Bu ifade de d_s saptama çapıdır. Birimi mm'dir.

Birim uzunluktaki yatay kesme etkisi hesaplanmadan önce kesme saptamalarının geometrik kesit özelliklerinin kontrol edilmesi gerekir.

$$d_s < h_s \quad (3.217)$$

$$h_s < t_{ef} - 50 \quad (3.218)$$

Bu ifadelerden h_s saplama yüksekliği t_{ef} ise tabliye kalınlığıdır. Birimleri mm'dir.

Geometrik kontroller sağlandığı takdirde V_{sr} birim uzunluktaki yatay kesme etkisi hesaplanabilir.

$$V_{sr} = \sqrt{(V_{fat})^2 + (F_{fat})^2} \quad (3.219)$$

V_{fat} : Birim uzunlukta boyuna doğrultudaki kesme etkisi.

$$V_{fat} = \frac{V_f Q}{I} \quad (3.220)$$

V_f : Yorulma faktörlü kesme kuvveti

Q : Tabliyenin statik momenti (mm^3)

I : Kesitin atalet momenti (mm^4)

F_{fat} : birim uzunluktaki radyal kesme etkisi (N/mm)

$$F_{fat} = \frac{T_{fat}}{2A_0} \quad (3.221)$$

T_{fat} : Etkili burulma momenti (kNm)

A_0 : Burulma etkili alanı (mm^2)

Seçilen saplama aralığına göre en son olarak ta saplama aralık kontrolü yapılır.

$$p < 600\text{mm} \quad (3.222)$$

$$p > 6d_s \quad (3.223)$$

Kompozit kutu kesitin üst başlığında kullanılan maksimum enine kesme sapsamaları aralığı s_t , aşağıdaki denklem ile hesaplanır. Denklemdaki eşitlik sağlandığında üst başlıkta ki lokal burulma engellenmiş olur.

$$\frac{s_t}{t_f} \sqrt{\frac{F_{yf}}{kE}} \leq R_1 \quad (3.224)$$

Bu denklemde ki ifadelerden k , normal düzgün gerilme için burulma katsayısıdır ve AASHTO 6.11.8.2'e göre 4.0 alınır. R_1 ise kutu kesit üst başlığının sınır narinlik oranıdır aşağıdaki ifade ile hesaplanır.

$$R_1 = \frac{0.57}{\sqrt{\frac{1}{2} \left[\Delta + \sqrt{\Delta^2 + 4 \left(\frac{f_v}{F_{yc}} \right)^2 \left(\frac{k}{k_s} \right)^2} \right]}} \quad (3.225)$$

Δ ifadesi kutu kesitte başlığın maksimum gerilmesini azaltıcı faktördür ve aşağıdaki ifade ile hesaplanır.

$$\Delta = \sqrt{1 - 3 \left(\frac{f_v}{F_{yc}} \right)^2} \quad (3.226)$$

f_v ifadesi faktörlenmiş yükler altındaki kesitin kesme burulma gerilmesini ifade eder ve aşağıdaki denklem yolu ile hesaplanır.

$$f_v = \frac{T}{2A_o t_{fc}} \quad (3.227)$$

k_s ifadeside kesme gerilmesi için burulma katsayısı olup AASHTO 6.11.8.2'e göre 5.4 alınır. T ifadeside ise faktörlü yüklerden oluşan iç burkulma kuvveti.

3.4.5. Diğer Kontrol ve Tasarımlar

3.4.5.1. Boyuna Başlık Berkitme Kontrolü

Kutu kesitte kullanılan boyuna başlık berkitme elemanları için aşağıdaki denklem ile kontrol sağlanması gerekir.

$$b_l \leq 0.48 t_f \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \quad (3.228)$$

Yukarıda belirtilen ifadelerden b_l , boyuna berkitme elemanların düzlem dışına çıkan genişliği olarak ifade edilir. t_f ise berkitmenin et kalınlığıdır.

3.4.5.2. İç Diyafram Dizaynı

İç diyafram dizaynı dayanım sınır durumunda ki katsayılı yüklere göre bulunan kesme kuvvetinin kesitin taşıyabileceği plastik kesme kuvvetinin karşılaştırılması ile olur.

$$V_u < \phi_v V_n \quad (3.229)$$

Bu ifade de V_n kesme anma dayanımı aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$V_n = V_{cr} = C V_p \quad (3.230)$$

Bu ifade de V_p plastik kesme kuvveti denklemini aşağıdaki gibidir.

$$V_p = 0.58. F_{yw} D t_w \quad (3.231)$$

İç diyafram kontrollerinden bir diğeri de burulma gerilme kontrolüdür. Diyafram gerilmelerinin minimum akma gerilmesinden küçük olması esasına dayanır ve verilen bağıntı ile hesaplanır.

$$\sigma_1, \sigma_2 \leq F_{yf} \quad (3.232)$$

Maksimum ve minimum diyafram gerilmeleri σ_1 ve σ_2 aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanır.

$$\sigma_1, \sigma_2 = \left(\frac{\sigma_y + \sigma_z}{2} \right) \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_y - \sigma_z}{2} \right)^2 + f_v^2} \quad (3.233)$$

Bu ifade de y ve z yönlerinde eğilme olmadığı varsayılarak σ_y ve σ_z 0 olduğu varsayılır. f_v kesme burulma gerilmesi değeri burulma momentinden oluşan kesme gerilmesi $(f_v)_T$ ve kuvvetinden oluşan ortalama kesme gerilmesi $(f_v)_b$ toplamına eşittir.

$$f_v = \frac{T}{2A_o t_{fc}} \quad (3.234)$$

T ifadesi ise faktörlü yüklerden oluşan iç burkulma kuvveti. A_o ise etkili burulma alanıdır.

3.5. SEHİM HESAPLARI

3.5.1. Hareketli Yük Sehım Kontrolleri

Hareketli yük sehım hesapları AASHTO Bölüm 3.6.1.3.2’de belirtilmiştir. Deplasman sınır durumları ise AASHTO Bölüm 2.5.2.6.2’de belirtilmiş ve hareketli yük için deplasman sınırı $L/800$ olarak ifade edilmiştir.

Yönetmeliğe göre gerilme durumlarının kontroller için yeterli olduğu düşünülerek deplasman kontrollerinin isteğe bağlı olarak yapılabileceğini belirtmiştir. Yönetmeliğin hareketli yük sehım sınırı kısmı değerlendirildiğinde iki durum söz konusu olmaktadır.

İlk durumda araç yükünden oluşan maksimum sehımın kontrol edilmesi ile olur. Bu sehım durumunda araç dinamik yük etkisi (IM) ve kiriş dağılım faktörü $g\Delta$ dahil olmak üzere sehım hesapları yapılır. Dağılım faktörü hesabı aşağıda ki bağıntı ile hesaplanır.

$$g\Delta = \frac{N_L}{N_B} \cdot m \quad (3.235)$$

Bu denklemde m ifadesi kamyon yük katsayısını ifade etmekte olup şerit sayısına bağlı olarak Tablo 3.2’de belirtildiği üzere seçilir. N_L şerit sayısını, N_B kiriş sayısını belirtmektedir.

Hareketli yük sehım kontrollerinde ikinci durum ise şerit yüklemesinin de dahil olduğu sehım hesaplarının sınır durumla kıyaslanmasıdır. Bu durumda yine dağılım faktörü dahil şerit yüklemesinden oluşan maksimum sehım hesaplanır. Kontrol yapılırken bu oluşan şerit yüklemesinden oluşan maksimum sehım miktarına ilave olarak araç yükünden oluşan maksimum sehım miktarının %25’i ilave edilerek kontrol yapılır.

3.5.2. Zati Yük Sehım Kontrolleri

Zati yükten kaynaklanan sehım hesapları, tek açıklık için basit kirişte uygulanan ve denklem 2.236’da belirtilen formül ile bulunmaktadır.

$$\Delta_t = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I} \quad (3.236)$$

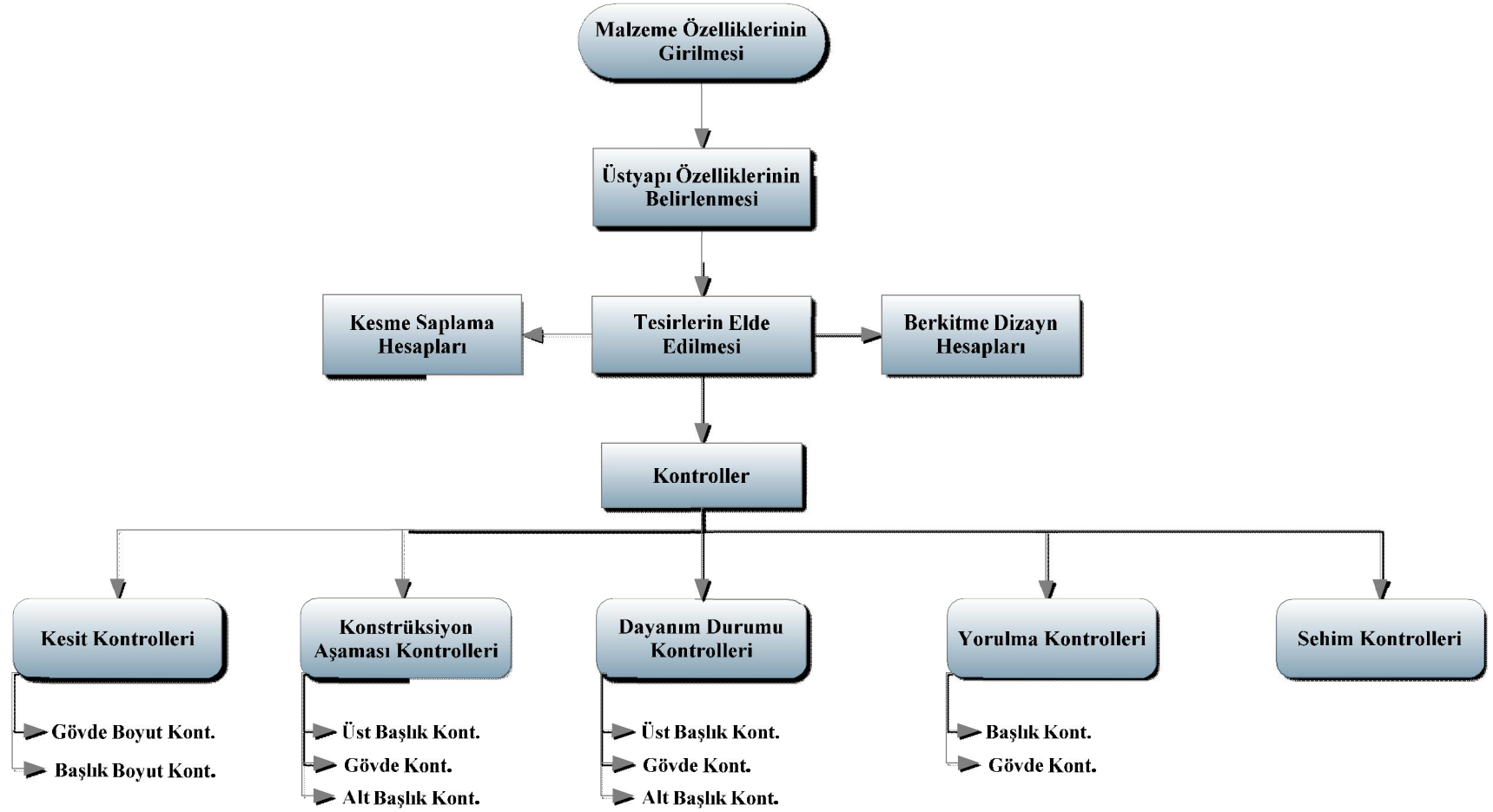
Yapılan hesaplar sonucu bulunan sehim değerlerinin, gerekli sınırlar içinde kalıp kalmadığı kontrol edilmektedir. Bu sınır değeri olarak $L/500$ uygun görülmüştür. Yapılan sehim hesaplamaları tek açıklıklı kirişler için excel programlarında kontrol edilebilmektedir. 2 ve 3 açıklıklı kompozit köprü kirişleri için ise Sap2000 bilgisayar analiz programı yardımıyla kontrol sağlanmıştır.

4. BULGULAR

Bu bölümde örnek seçilen açıklık boyu için I ve Kutu kesitli çelik-betonarme kompozit köprü kirişlerinin ayrı ayrı malzeme ve kesit özellikleri belirlenerek yük hesapları yapılacaktır. Daha sonra seçilen kesit özelliklerine ait en kesit boyut, konstrüksiyon aşaması, dayanım durumu, yorulma durumu ve sehim kontrolleri yapılacaktır.

4.1. GELİŞTİRİLEN TASARIM PROGRAMI

Microsoft Excel tabanında, I kesitli kompozit kirişler için ACIB v.01 ve Kutu kesitli kompozit kirişler için ise ACBB v.01 adında iki adet program geliştirilmiştir. Geliştirilen bu programlar ile hesaplama ve kontroller yapılmıştır. Geliştirilen tasarım programlarında ilk olarak kompozitliği sağlayacak malzemelere ait dayanım gerilmeleri, basınç mukavemeti, elastite modülleri ve birim hacim ağırlıkları gibi malzemelerin karakteristik özellikleri programa girilir. Daha sonraki aşamada üstyapı ve sistemin geneline ait köprü boyu, kiriş adedi ağırlığı, döşeme asfalt ölçüleri ve şerit sayısı gibi birçok istenen veriler programa girilmektedir. Üstyapı ve sisteme ait girilen bilgilerden sonra kullanılacak olan kiriş kesitine ait profil boyutları girilmektedir. Geliştirilen I kesitli kiriş tasarım programında yapma kiriş oluşturabileceğimiz gibi piyasada bulunan hazır profillerde seçilebilmektedir. Seçilen profil boyutlarına uygun olarak basit ve kompozit kesitin statik özellikleri hesaplanmaktadır. Üstyapı ve kiriş özelliklerine göre sisteme gelen yükler hesaplanmakta tek açıklıklı kiriş için açıklıkta oluşan moment ve mesnette oluşan kesme kuvveti tesirleri hesaplanabilmektedir. İki veya daha çok açıklık için ise Sap 2000, Etabs vb. gibi gelişmiş analiz programları yardımıyla tesirler elde edilmektedir. Programların yaptığı kontroller kısmında 3. bölümde ayrıntılı olarak sunulan enkesit boyut, konstrüksiyon, dayanım, yorulma ve sehim kontrolleri yapılmaktadır. Ayrıca yapılan kontrollerin yanı sıra seçilen kesme saplama hesapları ve I kesitli kompozit kiriş için berkitme dizaynı, kutu kesitli kompozit kiriş için ise berkitme ve iç diyafram dizayn hesaplarını yapmaktadır. Şekil 4.1'de ACIB ve ACBB adını verdiğimiz programlara ait genel algoritma şeması bulunmaktadır.



Şekil 4.1: ACIB ve ACBB programları algoritma şeması

4.2. SİSTEM ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

4.2.1. Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi

Sistemde kullanılacak ana malzemeler tabliye için C25 beton sınıfı, kirişler için ise St 37 (Fe 37, S 235 JR) çelik malzemesi uygun görülmüştür.

Kullanılacak beton malzemesi özellikleri TS500 (Betonarme Yapıların Tasarımı ve Yapım Kuralları) yönetmeliği dikkate alınarak 28 günlük karakteristik basınç dayanımı (f_{ck}) 25 MPa, elastite modülü ise 30.000 MPa olarak alınmıştır.

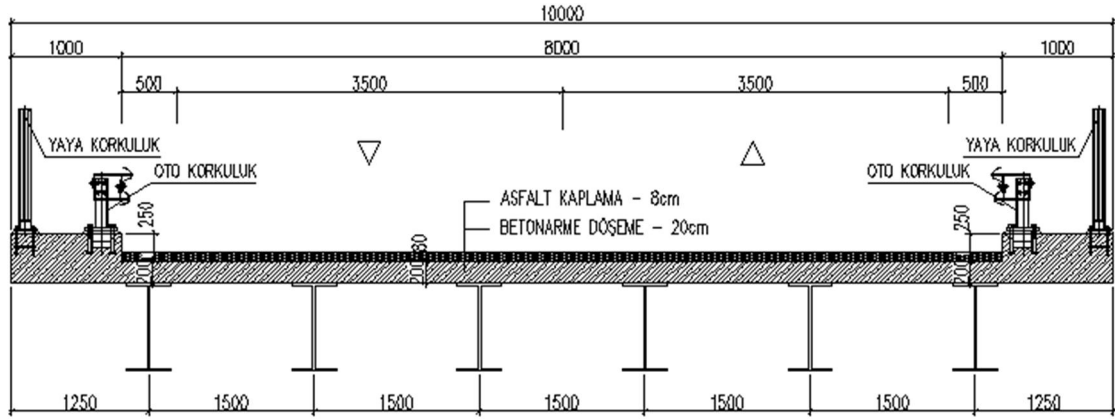
Üstyapı tasarımında kullanılacak tüm çelik yapılar için malzeme sınıfı olarak yukarıda da belirtildiği üzere St37 kullanılması öngörülmüştür. Ülkemizde de en çok kullanılan çelik malzeme sınıflarının başında gelmektedir. St 37 bir diğer adıyla Fe 37 çelik sınıfı malzeme özellikleri TS 648 (Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları) yönetmeliği dikkate alınarak akma sınır değeri 235 MPa, elastite modülü ise 206182 MPa olarak hesaplarda kullanılmıştır.

4.2.2. Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesi

I ve kutu kesitli çelik-betonarme kompozit köprü kirişlerinin üzerinde tipik bir üstyapı belirlenmiştir. Üstyapı genişliği 10m olarak alınmış, köprünün sağ ve sol kenarlarında olmak üzere 1'er metre genişliklerinde kaldırım tasarlanmıştır. Döşeme yüksekliği 20cm ve kaldırım yüksekliği ise 25cm olarak düşünülmüştür. Bunların yanı sıra döşeme üzerinde aşınma tabakası olarak 8cm asfalt kaplama öngörülmüştür. Köprü üzerinden geçecek araç sayısı 3,5m'den 2 şerit olarak tasarlanmış ve kenarlarda şerit ile kaldırım arasında 50cm banket olduğu düşünülmüştür. Aynı zamanda yükleme durumlarında da dikkate alınacak şekilde kaldırımlarda oto ve yaya korkulukların olduğu varsayılmıştır. I kesitli tipik üstyapı kesiti Şekil 4.2'de, kutu kesitli tipik üstyapı kesiti ise Şekil 4.3'de ayrıntılı olarak görülmektedir.

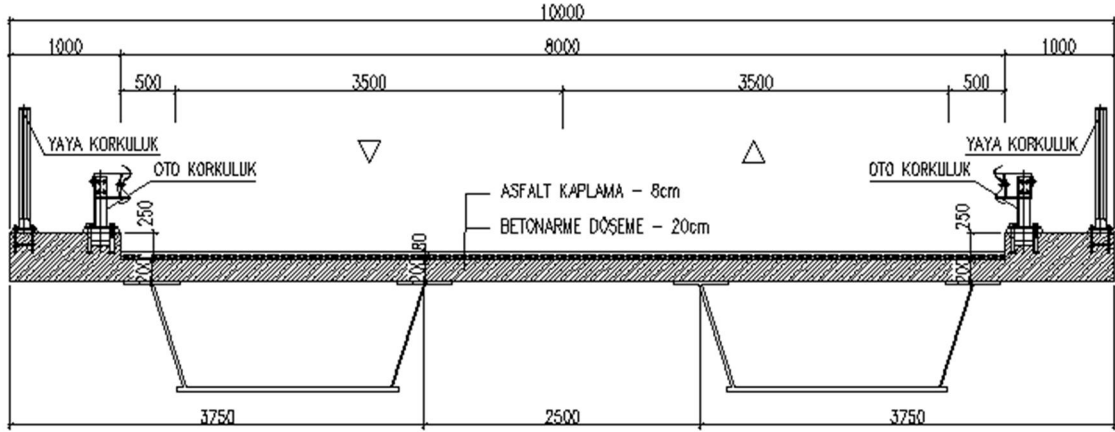
Analitik inceleme yapılabilmesi için tek açıklık, iki açıklık ve üç açıklık olmak üzere incelemeler yapılacaktır. Her açıklıkta ki boylar 16m'den 32m'ye kadar ikişer metrelik artımlarla elde edilen boylar için tasarımlar yapılacak olup profiller belirlenecektir.

İncelenecek kiriş tiplerinin planda düz ve herhangi bir yatay kurp olmadığı varsayılarak tasarımları yapılmıştır. Hesaplar sonucu çıkacak profil ebatlarının farklı açıklık boylarında analitik incelemelerinin aynı çerçevede kıyaslanabilmesi için kiriş sayılarında standartlaşmaya gidilmiştir. Bu yüzden I Kesitli kompozit köprü kiriş sayısını 1500mm aralık ile 6 adet kiriş olacağı düşünülmüştür.



Şekil 4.2: I kesit kirişli tipik üstyapı kesiti

Aynı şekilde tasarımı yapılacak olan kutu kesitli köprü kirişlerinin sayısını da 2500mm aralıklı 2 adet kiriş olacağı öngörülmüştür.



Şekil 4.3: Kutu kesitli tipik üstyapı kesiti

Tez çalışması kapsamında tüm açıklık boyları için hesaplamalar tez kapsamında gösterilemeyeceğinden dolayı belirlenen 24m boy için I ve kutu kesitli kiriş hesapları tez kapsamında gösterilmiştir. Diğer açıklık boyları için aynı hesaplama ve kontroller sağlanarak profil boyutları elde edilmiştir. Her açıklık boyu için elde edilen veriler ayrıntılı olarak hesaplamalar sonunda sunulmuştur.

4.3. I KESİTLİ KOMPOZİT KÖPRÜ KİRİŞİ BİLGİSAYAR TASARIMI

4.3.1. Sistem Bilgileri

4.3.1.1. Malzeme Özellikleri

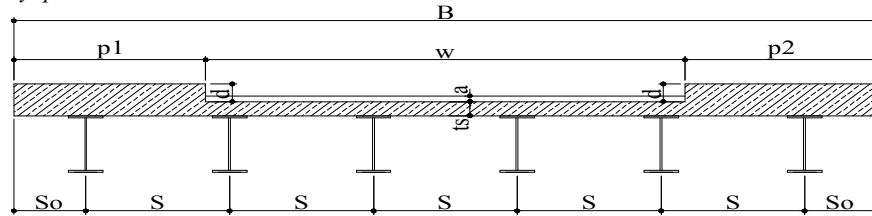
Beton Malzeme Özellikleri

| | | | | |
|----------------------------|--------|---|-------|-------------------|
| Beton Basınç Mukavemeti | f_c' | = | 25 | N/mm ² |
| Beton Elastite Modülü | E_c | = | 30000 | N/mm ² |
| Beton Birim Hacim Ağırlığı | W_c | = | 2500 | kg/m ³ |

Çelik Malzeme Özellikleri

| | | | | |
|--|----------|---|--------|-------------------|
| Akma Dayanım Gerilmesi | F_y | = | 235 | N/mm ² |
| Gövde Levhası Akma Dayanım Gerilmesi | F_{yw} | = | 235 | N/mm ² |
| Başlık Levhası Akma Dayanım Gerilmesi | F_{yf} | = | 235 | N/mm ² |
| Basınç Başlığı Levhası Akma Dayanım Ger. | F_{yc} | = | 235 | N/mm ² |
| Çekme Başlığı Levhası Akma Dayanım Ger. | F_{yt} | = | 235 | N/mm ² |
| Berkitme Minimum Akma Dayanım Ger. | F_{ys} | = | 235 | N/mm ² |
| Çelik Elastite Modülü | E | = | 206182 | N/mm ² |
| Çelik Birim Hacim Ağırlığı | W_s | = | 7850 | kg/m ³ |

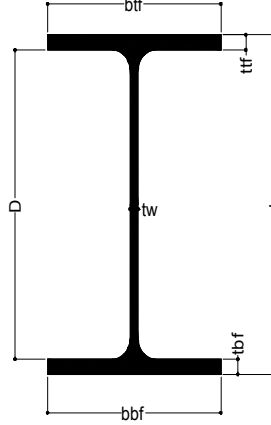
4.3.1.2. Üstyapı Verileri



Şekil 4.4: I kesitli kirişli üstyapı kesiti

| | | | |
|---------------------------------|-------|---|------------------------|
| Açıklık Sayısı | = | 1 | |
| Köprü Boyu | L | = | 24000 mm |
| Kiriş Adedi | N_b | = | 6 |
| Kiriş Aralığı | S | = | 1500 mm |
| Dış Kirişten Kenara olan Mesafe | So | = | 1250 mm |
| Yol Genişliği | w | = | 8000 mm |
| Kaplama Kalınlığı | a | = | 80 mm |
| Kaplama Birim Hacim Ağırlığı | W_k | = | 2250 kg/m ³ |
| Sol Kaldırım Genişliği | $p1$ | = | 1000 mm |
| Sağ Kaldırım Genişliği | $p2$ | = | 1000 mm |
| Kaldırım Yüksekliği | d_p | = | 250 mm |
| Üstyapı Genişliği | B | = | 10000 mm |
| Tabliye Kalınlığı | t_s | = | 200 mm |
| Şerit Sayısı | N_L | = | 2 |
| Enine Berkitme Aralığı | d_o | = | 2500 mm |
| Desteksiz Mesafe | L_b | = | 6000 mm |

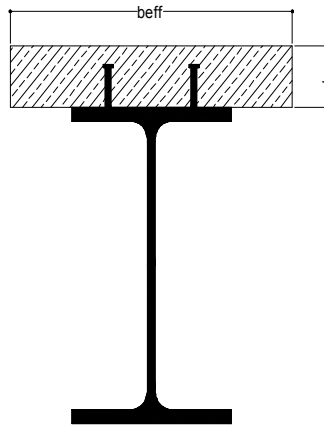
4.3.1.3. I Kiriş Kesit Özellikleri



Şekil 4.5: Basit I kiriş kesiti

Seçilen Profil

| | YAPMA | KİRİŞ | | |
|-------------------------|----------|-------|--------|-----------------|
| Kesit Yüksekliği | h | = | 900 | mm |
| Üst Başlık Genişliği | b_{tf} | = | 450 | mm |
| Alt Başlık Genişliği | b_{bf} | = | 450 | mm |
| Üst Başlık Et Kalınlığı | t_{tf} | = | 35 | mm |
| Alt Başlık Et Kalınlığı | t_{bf} | = | 35 | mm |
| Gövde Et Kalınlığı | t_w | = | 25 | mm |
| Gövde Yüksekliği | D | = | 830 | mm |
| Kesit Ağırlığı | G | = | 410,16 | kg/m |
| Kesit Alanı | A | = | 52250 | mm ² |



Şekil 4.6: Kompozit I kiriş kesiti

Efektif Tabliye Genişliğinin Belirlenmesi

$$b_{eff} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{L}{4} = 6000 \text{ mm} \\ S = 1500 \text{ mm} \\ 12.t_s + \frac{b_{ef}}{2} = 2625 \text{ mm} \\ \min \quad 16.t_s + b_{tf} = 3650 \text{ mm} \end{array} \right\} = 1500 \text{ mm}$$

$$\text{Modüler Oran} \quad n = \frac{E}{Ec} \quad n = 7$$

$$\text{Kısa Süreli Yükleme Durumu İçin} \quad n = 7$$

$$\text{Uzun Süreli Yükleme Durumu için} \quad 3n = 21$$

Tablo 4.1 : I kiriş kesit özellikleri

| KESİT | Alan (A) | Ağr.Mrk.(d) | A.d | I _o | A.d ² | I _{top} |
|----------------------|--------------------|------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| | (mm ²) | (mm) | (mm ³) | (mm ⁴) | (mm ⁴) | (mm ⁴) |
| I Kesit | | | | | | |
| Üst Başlık | 15750 | 883 | 13899375 | 1607813 | 2946135938 | 2947743750 |
| Gövde | 20750 | 450 | 9337500 | 1191222917 | 0 | 1191222917 |
| Alt Başlık | 15750 | 17,5 | 275625 | 1607813 | 2946135938 | 2947743750 |
| Toplam | 52250 | 450 | 23512500 | 1194438542 | 5892271875 | 7086710417 |
| Kompozit (3n) | | | | | | |
| Kiriş | 52250 | 450 | 23512500 | 7086710417 | 728628151,3 | 7815338568 |
| Döşeme | 14286 | 1000 | 14285714 | 47619048 | 2664957463 | 2712576511 |
| Toplam | 66536 | 568 | 37798214 | 7134329464 | 3393585615 | 10527915079 |
| Kompozit (n) | | | | | | |
| Kiriş | 52250 | 450 | 23512500 | 7086710417 | 3209459007 | 10296169424 |
| Döşeme | 42857 | 1000 | 42857143 | 142857143 | 3912865439 | 4055722582 |
| Toplam | 95107 | 698 | 66369643 | 7229567560 | 7122324446 | 14351892006 |
| KESİT | y _{alt} | y _{üst} | y _{üsttab} | S _{alt} | S _{üst} | S _{üsttab} |
| | (mm) | (mm) | (mm) | (mm ³) | (mm ³) | (mm ³) |
| I Kesit | 450 | 450 | --- | 15748245 | 15748245 | --- |
| Kompozit (3n) | 568 | 332 | 532 | 18532155 | 31719100 | 19792629 |
| Kompozit (n) | 698 | 202 | 402 | 20566141 | 70993013 | 35687089 |

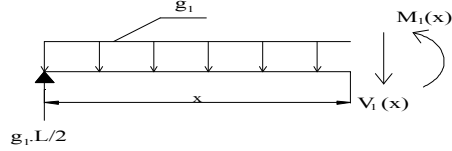
4.3.2. Yükleme Durumları ve Tesirler

4.3.2.1. Zati Yük Uygulaması (DC1)

Kiriş Zati Yüğü

Kiriş Kesit Alanı $A = 0,0523 \text{ m}^2$

Kiriş Zati Ağırlığı $g_1 = 4,10 \text{ kN/m}$



$$M_1(x) = g_1 \cdot x \cdot \frac{L}{2} - g_1 \cdot \frac{x^2}{2}$$

$$V_1(x) = g_1 \cdot \frac{L}{2} - g_1 \cdot x$$

Şekil 4.7: Kiriş zati yükü için reaksiyon kuvvetleri (I kiriş)

Bulunan tesirler 0 - L/2 noktaları arasında her L/20 noktasında bulunmuştur.

Tablo 4.2 : Kiriş zati yükü için moment ve kesme tesirleri (I kiriş)

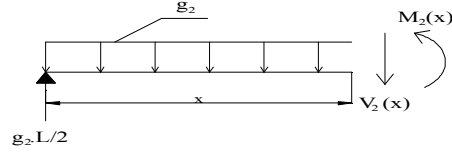
| x (m) | 0,00 | 1,20 | 2,40 | 3,60 | 4,80 | 6,00 | 7,20 | 8,40 | 9,60 | 10,80 | 12,00 |
|-------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| M_1 (kNm) | 0,00 | 56,11 | 106,31 | 150,61 | 189,00 | 221,49 | 248,07 | 268,74 | 283,50 | 292,36 | 295,32 |
| V_1 (kN) | 49,22 | 44,30 | 39,38 | 34,45 | 29,53 | 24,61 | 19,69 | 14,77 | 9,84 | 4,92 | 0,00 |

Tabliye Zati Yüğü

Kiriş Aralığı $S = 1500 \text{ mm}$

Tabliye Kalınlığı $t = 200 \text{ mm}$

Tabliye Zati Yüğü $g_2 = 7,50 \text{ kN/m}$



$$M_2(x) = g_2 \cdot x \cdot \frac{L}{2} - g_2 \cdot \frac{x^2}{2}$$

$$V_2(x) = g_2 \cdot \frac{L}{2} - g_2 \cdot x$$

Şekil 4.8: Tabliye zati yükü için reaksiyon kuvvetleri (I kiriş)

Bulunan tesirler 0 - L/2 noktaları arasında her L/20 noktasında bulunmuştur.

Tablo 4.3 : Tabliye zati yükü için moment ve kesme tesirleri (I kiriş)

| x (m) | 0,00 | 1,20 | 2,40 | 3,60 | 4,80 | 6,00 | 7,20 | 8,40 | 9,60 | 10,80 | 12,00 |
|-------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| M_2 (kNm) | 0,00 | 102,60 | 194,40 | 275,40 | 345,60 | 405,00 | 453,60 | 491,40 | 518,40 | 534,60 | 540,00 |
| V_2 (kN) | 90,00 | 81,00 | 72,00 | 63,00 | 54,00 | 45,00 | 36,00 | 27,00 | 18,00 | 9,00 | 0,00 |

4.3.2.2. Zati Yük Uygulaması (DC2)

Kaldırım Zati Yüğü

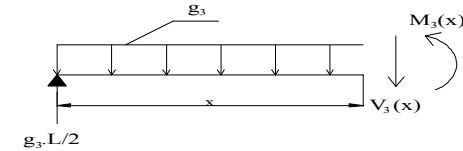
Sol Kaldırım Genişliği $p1 = 1000 \text{ mm}$

Sağ Kaldırım Genişliği $p2 = 1000 \text{ mm}$

Kaldırım Yüksekliği $d_p = 250 \text{ mm}$

Kiriş Adedi $N_b = 6 \text{ adet}$

Kaldırım Zati Yüğü $g_3 = 2,08 \text{ kN/m}$



$$M_3(x) = g_3 \cdot x \cdot \frac{L}{2} - g_3 \cdot \frac{x^2}{2}$$

$$V_3(x) = g_3 \cdot \frac{L}{2} - g_3 \cdot x$$

Şekil 4.9: Kaldırım zati yükü için reaksiyon kuvvetleri (I kiriş)

Bulunan tesirler 0 - L/2 noktaları arasında her L/20 noktasında bulunmuştur.

Tablo 4.4 : Kaldırım zati yükü için moment ve kesme tesirleri (I kiriş)

| x (m) | 0,00 | 1,20 | 2,40 | 3,60 | 4,80 | 6,00 | 7,20 | 8,40 | 9,60 | 10,80 | 12,00 |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| M ₃ (kNm) | 0,00 | 28,50 | 54,00 | 76,50 | 96,00 | 112,50 | 126,00 | 136,50 | 144,00 | 148,50 | 150,00 |
| V ₃ (kN) | 25,00 | 22,50 | 20,00 | 17,50 | 15,00 | 12,50 | 10,00 | 7,50 | 5,00 | 2,50 | 0,00 |

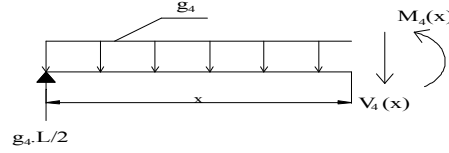
İlave Zati Yük

Korkuluk Bariyer Yükleri

$$g_4 = 2 \text{ kN/m}$$

Kiriş Adedi

$$N_b = 6 \text{ adet}$$



$$M_4(x) = g_4 \cdot x \cdot \frac{L}{2} - g_4 \cdot \frac{x^2}{2}$$

$$V_4(x) = g_4 \cdot \frac{L}{2} - g_4 \cdot x$$

Şekil 4.10: İlave zati yük için reaksiyon kuvvetleri (I kiriş)

Bulunan tesirler 0 - L/2 noktaları arasında her L/20 noktasında bulunmuştur.

Tablo 4.5 : İlave zati yük için moment ve kesme tesirleri (I kiriş)

| x (m) | 0,00 | 1,20 | 2,40 | 3,60 | 4,80 | 6,00 | 7,20 | 8,40 | 9,60 | 10,80 | 12,00 |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| M ₄ (kNm) | 0,00 | 27,36 | 51,84 | 73,44 | 92,16 | 108,00 | 120,96 | 131,04 | 138,24 | 142,56 | 144,00 |
| V ₄ (kN) | 24,00 | 21,60 | 19,20 | 16,80 | 14,40 | 12,00 | 9,60 | 7,20 | 4,80 | 2,40 | 0,00 |

4.3.2.3. Kaplama Zati Yük Uygulaması (DW)

Kaplama Zati Yükü

Yol Genişliği

$$w = 8000 \text{ mm}$$

Kaplama Kalınlığı

$$a = 80 \text{ mm}$$

Kaplama Birim Hacim Ağırlığı

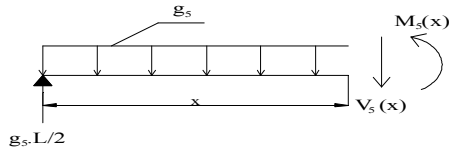
$$W_k = 2250 \text{ kg/m}^3$$

Kiriş Adedi

$$N_b = 6 \text{ adet}$$

Kaplama Zati Yükü

$$g_5 = 2,40 \text{ kN/m}$$



$$M_5(x) = g_5 \cdot x \cdot \frac{L}{2} - g_5 \cdot \frac{x^2}{2}$$

$$V_5(x) = g_5 \cdot \frac{L}{2} - g_5 \cdot x$$

Şekil 4.11: Kaplama zati yükü için reaksiyon kuvvetleri (I kiriş)

Bulunan tesirler 0 - L/2 noktaları arasında her L/20 noktasında bulunmuştur.

Tablo 4.6 : Kaplama zati yükü için moment ve kesme tesirleri (I kiriş)

| x (m) | 0,00 | 1,20 | 2,40 | 3,60 | 4,80 | 6,00 | 7,20 | 8,40 | 9,60 | 10,80 | 12,00 |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| M ₅ (kNm) | 0,00 | 32,83 | 62,21 | 88,13 | 110,59 | 129,60 | 145,15 | 157,25 | 165,89 | 171,07 | 172,80 |
| V ₅ (kN) | 28,80 | 25,92 | 23,04 | 20,16 | 17,28 | 14,40 | 11,52 | 8,64 | 5,76 | 2,88 | 0,00 |

4.3.2.4. Hareketli Yük Uygulaması (LL)

Boyuna Sertlik Parametresi Hesabı

$$K_g = n.(I + Ae_g^2)$$

Boyuna sertlik parametresi hesabından önce uygulanabilirlik aralığının kontrolü gerekir.

| | | | | | |
|----------------|---|----------------|---|-------|----|
| 1100 | ≤ | S | ≤ | 4900 | |
| 1100 | ≤ | 1500 | ≤ | 4900 | OK |
| 110 | ≤ | t _s | ≤ | 300 | |
| 110 | ≤ | 200 | ≤ | 300 | OK |
| 6000 | ≤ | L | ≤ | 73000 | |
| 6000 | ≤ | 24000 | ≤ | 73000 | OK |
| N _b | ≥ | 4 | | | |
| 6 | ≥ | 4 | | | OK |
| 4E+09 | ≤ | K _g | ≤ | 3E+12 | |
| 4E+09 | ≤ | 2E+11 | ≤ | 3E+12 | OK |

| | | | | |
|---------------------------------|------------------|---|---------|----------------|
| Modüler Oran | n | = | 7 | |
| Kesit Atalet Momenti | I _{top} | = | 0,00709 | m ⁴ |
| Kesit Alanı | A | = | 0,05225 | m ² |
| Ağırlık Merkezleri arası Mesafe | e _g | = | 0,55 | m |
| Boyuna Sertlik Parametresi | K _g | = | 0,1602 | m ⁴ |

İç Kirişler için Hareketli Yük Dağılım Moment Faktör Hesabı

Tek Şerit Yükleme Durumu

$$0.06 + \left(\frac{S}{4300}\right)^{0.4} \cdot \left(\frac{S}{L}\right)^{0.3} \cdot \left(\frac{K_g}{L.I_s^3}\right)^{0.1} = 0,341 \text{ şerit}$$

İki veya daha fazla Şerit Yükleme Durumu

$$0.075 + \left(\frac{S}{2900}\right)^{0.6} \cdot \left(\frac{S}{L}\right)^{0.2} \cdot \left(\frac{K_g}{L.I_s^3}\right)^{0.1} = 0,455 \text{ şerit}$$

$$\text{Seçilen } g_{iç_moment} = \mathbf{0,455} \text{ şerit}$$

İç Kirişler için Hareketli Yük Dağılım Kesme Kuvvet Faktör Hesabı

Tek Şerit Yükleme Durumu

$$0.36 + \frac{S}{7600} = 0,557 \text{ şerit}$$

İki veya daha fazla Şerit Yükleme Durumu

$$0.2 + \frac{S}{3600} - \left(\frac{S}{10700}\right)^2 = 0,597 \text{ şerit}$$

$$\text{Seçilen } g_{iç_kesme} = \mathbf{0,597} \text{ şerit}$$

Dış Kirişler için Hareketli Yük Dağılım Moment Faktör Hesabı

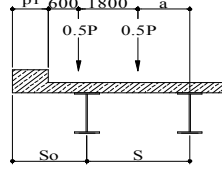
Dış Kiriş Merk. Bariyer içine Mesf. $de = 250$ mm

Uygulanabilirlik Kontrolü

$$-300 \leq de \leq 1700$$

$$-300 \leq 250 \leq 1700 \quad \text{OK}$$

Eğer tek şerit yükleme durumu ise lever rule kuralı uygulanır.



Şekil 4.12: Lever rule kuralı

İç Teker ile Kiriş Arası Mesafe $a = -650$ mm

Tek Şerit Yükleme Durumu

$$g_{dış_moment} = \frac{(0,5.a) + (0,5.(a+1800))}{S}$$

Şerit Yük Faktörü $m = 1,00$

$$g_{dış_moment} = 0,17 \quad \text{şerit}$$

İki veya daha fazla Şerit Yükleme Durumu

Modifikasyon Katsayısı

$$e = 0,77 + \frac{de}{2800}$$

$$e = 0,86$$

$$g_{dış_moment} = e.g_{iç_moment}$$

$$g_{dış_moment} = 0,39 \quad \text{şerit}$$

$$\text{Seçilen } g_{dış_moment} = \mathbf{0,39} \quad \text{şerit}$$

Dış Kirişler için Hareketli Yük Dağılım Kesme Faktör Hesabı

Tek Şerit Yükleme Durumu

$$g_{dış_kesme} = \frac{(0,5.a) + (0,5.(a+1800))}{S}$$

$$g_{dış_kesme} = 0,17 \quad \text{şerit}$$

İki veya daha fazla Şerit Yükleme Durumu

Modifikasyon Katsayısı

$$e = 0,6 + \frac{de}{3000}$$

$$e = 0,69$$

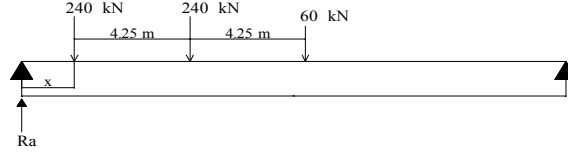
$$g_{dış_kesme} = e.g_{iç_kesme}$$

$$g_{dış_kesme} = 0,41 \quad \text{şerit}$$

$$\text{Seçilen } g_{dış_kesme} = \mathbf{0,41} \quad \text{şerit}$$

H30-S24 Kamyon Yüklemesi

1.Durum: Kamyon arka tekerleğinin nokta üstünde olması



Şekil 4.13: Kamyon arka tekerleğinin nokta üstünde olma durumu (I kiriş)

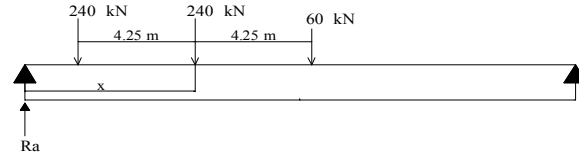
$$R_a = \frac{[60.(L-x-8,5) + 240.(L-x-4,25) + 240.(L-x)]}{L}$$

$$V_{61(x)} = R_a \quad M_{61(x)} = R_a \cdot x$$

Tablo 4.7 : Kamyon yüklemesi 1.durumunda moment ve kesme tesirleri (I kiriş)

| x (m) | 0,00 | 1,20 | 2,40 | 3,60 | 4,80 | 6,00 | 7,20 | 8,40 | 9,60 | 10,80 | 12,00 |
|----------------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| M_{61} (kNm) | 0,00 | 539,10 | 1013,40 | 1422,90 | 1767,60 | 2047,50 | 2262,60 | 2412,90 | 2498,40 | 2519,10 | 2475,00 |
| V_{61} (kN) | 476,25 | 449,25 | 422,25 | 395,25 | 368,25 | 341,25 | 314,25 | 287,25 | 260,25 | 233,25 | 206,25 |

2.Durum: Kamyon orta tekerleğinin nokta üstünde olması



Şekil 4.14: Kamyon orta tekerleğinin nokta üstünde olma durumu (I kiriş)

$$R_a = \frac{[60.(L-x-4,25) + 240.(L-x) + 240.(L-x+4,25)]}{L}$$

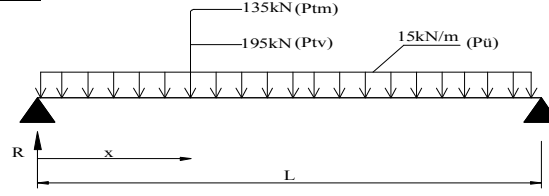
$$V_{62(x)} = R_a - 240 \quad M_{62(x)} = R_a \cdot x - 240 \cdot 4,25$$

Tablo 4.8 : Kamyon yüklemesi 2.durumunda moment ve kesme tesirleri (I kiriş)

| ü | 0,00 | 1,20 | 2,40 | 3,60 | 4,80 | 6,00 | 7,20 | 8,40 | 9,60 | 10,80 | 12,00 |
|----------------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| M_{62} (kNm) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1206,60 | 1601,25 | 1931,10 | 2196,15 | 2396,40 | 2531,85 | 2602,50 |
| V_{62} (kN) | 331,88 | 304,88 | 277,88 | 250,88 | 223,88 | 196,88 | 169,88 | 142,88 | 115,88 | 88,88 | 61,88 |

Tablo 4.9 : H30-S24 kamyon yüklemesi tesir sonuçları (I kiriş)

| x (m) | 0,00 | 1,20 | 2,40 | 3,60 | 4,80 | 6,00 | 7,20 | 8,40 | 9,60 | 10,80 | 12,00 |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| $M_{H30-S24}$ | 0,00 | 277,17 | 521,03 | 731,57 | 908,79 | 1052,70 | 1163,29 | 1240,56 | 1284,52 | 1301,72 | 1338,04 |
| $V_{H30-S24}$ | 321,43 | 303,21 | 284,99 | 266,76 | 248,54 | 230,32 | 212,10 | 193,87 | 175,65 | 157,43 | 139,20 |

Eşdeğer Şerit Yükleme

Şekil 4.15: Eşdeğer şerit yükleme durumu (I kiriş)

Tablo 4.10 : Eşdeğer şerit yüklemesinden oluşan kesme tesirleri (I kiriş)

| x (m) | 0,00 | 1,20 | 2,40 | 3,60 | 4,80 | 6,00 | 7,20 | 8,40 | 9,60 | 10,80 | 12,00 |
|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Rv | 375,00 | 365,25 | 355,50 | 345,75 | 336,00 | 326,25 | 316,50 | 306,75 | 297,00 | 287,25 | 277,50 |
| V ₆₃ (kN) | 375,00 | 347,25 | 319,50 | 291,75 | 264,00 | 236,25 | 208,50 | 180,75 | 153,00 | 125,25 | 97,50 |

Tablo 4.11 : Eşdeğer şerit yüklemesinden oluşan moment tesirleri (I kiriş)

| x (m) | 0,00 | 1,20 | 2,40 | 3,60 | 4,80 | 6,00 | 7,20 | 8,40 | 9,60 | 10,80 | 12,00 |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Rm | 315,00 | 308,25 | 301,50 | 294,75 | 288,00 | 281,25 | 274,50 | 267,75 | 261,00 | 254,25 | 247,50 |
| M ₆₃ (kNm) | 0,00 | 359,10 | 680,40 | 963,90 | 1209,60 | 1417,50 | 1587,60 | 1719,90 | 1814,40 | 1871,10 | 1890,00 |

Tablo 4.12 : Eşdeğer şerit yüklemesi tesir sonuçları (I kiriş)

| x (m) | 0,00 | 1,20 | 2,40 | 3,60 | 4,80 | 6,00 | 7,20 | 8,40 | 9,60 | 10,80 | 12,00 |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| M _{Serit} | 0,00 | 138,82 | 263,02 | 372,61 | 467,59 | 547,96 | 613,72 | 664,86 | 701,39 | 723,31 | 730,62 |
| V _{Serit} | 190,30 | 176,22 | 162,13 | 148,05 | 133,97 | 119,89 | 105,81 | 91,72 | 77,64 | 63,56 | 49,48 |

LL Hareketli yük moment tesirleri içerisinde Hareketli yük dağılım faktörleri, şerit yük azaltma katsayısı ve kamyon yükü için dinamik etki katsayısı (%33) bulunmaktadır.

Trafik Şeridi Azaltma Katsayısı $p_t = 0,85$

Tablo 4.13 : Özet kesit tesirleri (I kiriş)

| <i>DC1 Zati Yük (Moment ve Kesme Tesirleri)</i> | | | | | | | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| x (m) | 0,00 | 1,20 | 2,40 | 3,60 | 4,80 | 6,00 | 7,20 | 8,40 | 9,60 | 10,80 | 12,00 |
| M _{DC1} (kNm) | 0,00 | 158,71 | 300,71 | 426,01 | 534,60 | 626,49 | 701,67 | 760,14 | 801,90 | 826,96 | 835,32 |
| V _{DC1} (kN) | 139,22 | 125,30 | 111,38 | 97,45 | 83,53 | 69,61 | 55,69 | 41,77 | 27,84 | 13,92 | 0,00 |
| <i>DC2 Zati Yük (Moment ve Kesme Tesirleri)</i> | | | | | | | | | | | |
| x (m) | 0,00 | 1,20 | 2,40 | 3,60 | 4,80 | 6,00 | 7,20 | 8,40 | 9,60 | 10,80 | 12,00 |
| M _{DC2} (kNm) | 0,00 | 55,86 | 105,84 | 149,94 | 188,16 | 220,50 | 246,96 | 267,54 | 282,24 | 291,06 | 294,00 |
| V _{DC2} (kN) | 49,00 | 44,10 | 39,20 | 34,30 | 29,40 | 24,50 | 19,60 | 14,70 | 9,80 | 4,90 | 0,00 |
| <i>DW Zati Yük (Moment ve Kesme Tesirleri)</i> | | | | | | | | | | | |
| x (m) | 0,00 | 1,20 | 2,40 | 3,60 | 4,80 | 6,00 | 7,20 | 8,40 | 9,60 | 10,80 | 12,00 |
| M _{DW} (kNm) | 0,00 | 32,83 | 62,21 | 88,13 | 110,59 | 129,60 | 145,15 | 157,25 | 165,89 | 171,07 | 172,80 |
| V _{DW} (kN) | 28,80 | 25,92 | 23,04 | 20,16 | 17,28 | 14,40 | 11,52 | 8,64 | 5,76 | 2,88 | 0,00 |
| <i>LL Hareketli Yük (Moment ve Kesme Tesirleri)</i> | | | | | | | | | | | |
| x (m) | 0,00 | 1,20 | 2,40 | 3,60 | 4,80 | 6,00 | 7,20 | 8,40 | 9,60 | 10,80 | 12,00 |
| M _{LL} (kNm) | 0,00 | 277,17 | 521,03 | 731,57 | 908,79 | 1052,70 | 1163,29 | 1240,56 | 1284,52 | 1301,72 | 1338,04 |
| V _{LL} (kN) | 321,43 | 303,21 | 284,99 | 266,76 | 248,54 | 230,32 | 212,10 | 193,87 | 175,65 | 157,43 | 139,20 |

4.3.3. Enkesit Boyut Kontrolleri

4.3.3.1. Başlık Boyut Kontrolleri

Kontrol-1

Üst Başlık Kontrolü

| | | | | | |
|---------------------------------|---------------------------|---|-----|----|----|
| Üst Başlık Levhasının Genişliği | b_{tf} | = | 450 | mm | |
| Üst Başlık Et Kalınlığı | t_{tf} | = | 35 | mm | |
| | $\frac{b_{tf}}{2.t_{tf}}$ | = | 6 | | |
| | $\frac{b_{tf}}{2.t_{tf}}$ | < | 12 | | OK |

Alt Başlık Kontrolü

| | | | | | |
|---------------------------------|---------------------------|---|-----|----|----|
| Alt Başlık Levhasının Genişliği | b_{bf} | = | 450 | mm | |
| Alt Başlık Et Kalınlığı | t_{bf} | = | 35 | mm | |
| | $\frac{b_{bf}}{2.t_{bf}}$ | = | 6 | | |
| | $\frac{b_{bf}}{2.t_{bf}}$ | < | 12 | | OK |

Kontrol-2

Üst Başlık Kontrolü

| | | | | | |
|---------------------------------|---------------------------|--------|-----|----|----|
| Gövde Yüksekliği | D | = | 830 | mm | |
| Üst Başlık Levhasının Genişliği | b_{tf} | = | 450 | mm | |
| | $b_{tf} \geq \frac{D}{6}$ | | | | |
| | 450 | \geq | 138 | mm | OK |

Alt Başlık Kontrolü

| | | | | | |
|---------------------------------|---------------------------|--------|-----|----|----|
| Gövde Yüksekliği | D | = | 830 | mm | |
| Alt Başlık Levhasının Genişliği | b_{bf} | = | 450 | mm | |
| | $b_{bf} \geq \frac{D}{6}$ | | | | |
| | 450 | \geq | 138 | mm | OK |

Kontrol-3*Üst Başlık Kontrolü*

| | | | | | |
|----------------------------|----------|--------|-----------------------|----|----|
| Gövde Levhası Et Kalınlığı | t_w | = | 25 | mm | |
| Üst Başlık Et Kalınlığı | t_{tf} | = | 35 | mm | |
| | | | $t_{tf} \geq 1,1.t_w$ | | |
| | 35 | \geq | 27,5 | mm | OK |

Alt Başlık Kontrolü

| | | | | | |
|----------------------------|----------|--------|-----------------------|----|----|
| Gövde Levhası Et Kalınlığı | t_w | = | 25 | mm | |
| Alt Başlık Et Kalınlığı | t_{bf} | = | 35 | mm | |
| | | | $t_{bf} \geq 1,1.t_w$ | | |
| | 35 | \geq | 27,5 | mm | OK |

Kontrol-4

| | | | | | |
|---------------------------------|----------|--------|-------------------------|-----------------|----|
| Üst Başlık Levhasının Genişliği | b_{tf} | = | 450 | mm | |
| Üst Başlık Et Kalınlığı | t_{tf} | = | 35 | mm | |
| Basınç Başlığı Atalet Momenti | I_{yc} | = | 2947743750 | mm ⁴ | |
| Alt Başlık Levhasının Genişliği | b_{bf} | = | 450 | mm | |
| Alt Başlık Et Kalınlığı | t_{bf} | = | 35 | mm | |
| Çekme Başlığı Atalet Momenti | I_{yt} | = | 2947743750 | mm ⁴ | |
| | 0,10 | \leq | $\frac{I_{yc}}{I_{yt}}$ | \leq | 10 |
| | 0,10 | \leq | 1,00 | \leq | 10 |
| | | | | | OK |

4.3.3.2. Gövde Boyut Kontrolleri

| | | | | | |
|-----------------------------|-----------------|---|-----|----|----|
| Gövde Levhası Eğik Uzunluğu | D | = | 830 | mm | |
| Gövde Levhası Et Kalınlığı | t_w | = | 25 | mm | |
| | $\frac{D}{t_w}$ | = | 33 | | |
| | $\frac{D}{t_w}$ | < | 150 | | OK |

4.3.4. Konstrüksiyon Aşaması Kontrolleri

Konstrüksiyon aşaması için kullanılacak faktörsüz ve faktörlü tesirleri Tablo 4.14 ve 4.15'de sunulmaktadır.

Tablo 4.14 : Konstrüksiyon aşaması için faktörsüz kesit tesirleri (I kiriş)

| Kuvvetler | | DC1 | DC2 | DW | min | max | Birimler |
|-----------------|------|--------|--------|--------|------|---------|----------|
| | | | | | LL | LL | |
| Moment | M | 835,32 | 294,00 | 172,80 | 0,00 | 1338,04 | kN.m |
| Yanal Moment | Mlat | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | kN.m |
| Burulma momenti | T | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | kN.m |
| Kesme | V | 139,22 | 49,00 | 28,80 | 0,00 | 321,43 | kN |

Tablo 4.15 : Konstrüksiyon aşaması için faktörlü kesit tesirleri (I kiriş)

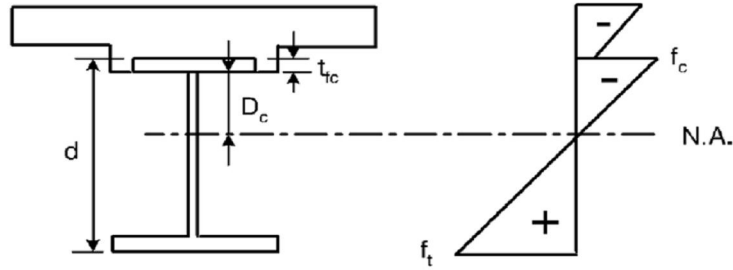
| Dayanım-I | | DC1 | Birimler |
|-----------------|------|---------|----------|
| Moment | M | 1044,15 | kN.m |
| Yanal Moment | Mlat | 0,00 | kN.m |
| Burulma momenti | T | 0,00 | kN.m |

4.3.4.1. Üst Başlık Kontrolleri

Yanal Eğilme Kontrolü

Üst Başlık Levhasının Genişliği $b_{fc} = 450$ mm

Üst Başlık Et Kalınlığı $t_{tf} = 35$ mm



Şekil 4.16: Elastik basınç altındaki tarafsız eksen

Tarafsız Eks. Gövde Üst Nokt. olan Uzkl. $D_c = 415$ mm

Gövde Levhası Et Kalınlığı $t_w = 25$ mm

Yanal Burkulma Etkili Eğriliği

$$r_t = \frac{b_{fc}}{\sqrt{12 \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \frac{D_c \cdot t_w}{b_{fc} \cdot t_{fc}}\right)}}$$

$r_t = 117,63$ mm

Desteksiz Uzunluk Sınırı

$$L_p = 1,0 \cdot r_t \cdot \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}}$$

$L_p = 3484$ mm

| | | | | |
|------------------------------------|-------|---|------|----|
| Kesit Mesnetsiz Mesafesi | L_b | = | 6000 | mm |
| Eğim Düzeltme Katsayısı | C_b | = | 1 | |
| Basınç Gerilmesi Aktarma Katsayısı | R_b | = | 1 | |

| | | | | |
|------------------|------------------------------------|---|-------|-----|
| Başlık Gerilmesi | $f_{bu} = \frac{M_{DC1}}{S_{üst}}$ | | | |
| | f_{bu} | = | 66,30 | MPa |

| | | | | |
|------------------------|---------------------------------|---|------|-----|
| Yanal Başlık Gerilmesi | $f_i = \frac{M_{lat}}{S_{üst}}$ | | | |
| | f_i | = | 0,00 | MPa |

$$L_b \leq 1,2 \cdot L_p \cdot \sqrt{\frac{C_b \cdot R_b}{\frac{f_{bu}}{F_{yc}}}}$$

$$6000 < 7872$$

Sağlandı

Kontrol sağlanmadığı durumda Yanal Başlık Gerilmesi için ikinci yolda bulunan başlık gerilmesi kullanılacaktır.

Yanal Başlık Gerilmesi İkinci Yol

Elastik Yanal Burkulma Gerilmesi

$$F_{cr} = \frac{C_b \cdot R_b \cdot \pi^2 \cdot E}{\left(\frac{L_b}{r_t}\right)^2}$$

$$F_{cr} = 782,14 \text{ MPa}$$

Yanal Başlık Gerilmesi

$$f_l = \left(\frac{0,85}{1 - \frac{f_{bu}}{F_{cr}}} \right) \cdot f_{l1} \geq f_{l1}$$

$$f_l = 0,00 \text{ MPa}$$

$$f_{bu} + f_l \leq \phi_f \cdot R_h \cdot F_{yc}$$

$$66 < 235,00$$

OK

Lokal Burkulma Kontrolü

Üst Başlık Levhasının Genişliği

$$b_{fc} = 450 \text{ mm}$$

Üst Başlık Et Kalınlığı

$$t_{fc} = 35 \text{ mm}$$

Basınç Başlığı Narinlik Oranı

$$\lambda_f = \frac{b_{fc}}{2t_{fc}}$$

$$\lambda_f = 6,43 \text{ mm}$$

Kompakt Olmayan Başlık Sınır Narinlik Oranı

$$\lambda_{r,f} = 0,56 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_{yr}}}$$

$$\lambda_{r,f} = 19,83 \text{ mm}$$

Kompakt Başlık Sınır Narinlik Oranı $\lambda_{pf} = 0,38 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}}$

$$\lambda_{pf} = 11,26 \quad \text{mm}$$

$$\lambda_f \leq \lambda_{pf}$$

$$6,43 < 11,26 \quad \text{Sağlandı}$$

Kontrolün sağlanması durumu ;

Basınç Başlığı Eğilme Anma Dayanımı $F_{nc} = R_b \cdot R_h \cdot F_{yc}$

$$F_{nc} = 235 \quad \text{MPa}$$

Kontrolün sağlanmaması durumu ;

Basınç Başlığı Eğilme Anma Dayanımı $F_{nc} = \left[1 - \left(1 - \frac{F_{yr}}{R_h \cdot F_{yc}} \right) \cdot \left(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] \cdot R_b \cdot R_h \cdot F_{yc}$

$$F_{nc} = 275 \quad \text{MPa}$$

Lokal Burkulma için seçilen $F_{nc} = 235 \quad \text{MPa}$

Yanal burkulmadan kaynaklanan nominal eğilme anma dayanımı hesaplanarak minimum anma dayanımı değeri seçilerek kontrol yapılacaktır.

I.Durum

$$L_b \leq L_p$$

$$6000 > 3484 \quad \text{Sağlanmadı}$$

Basınç Başlığı Eğilme Anma Dayanımı $F_{nc} = R_b \cdot R_h \cdot F_{yc}$

$$F_{nc} = 235 \quad \text{MPa}$$

II.Durum

Mesnetlenmemiş Uzunluk Sınır Değeri

$$L_r = \pi \cdot r_t \cdot \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}}$$

$$L_r = 13083,07 \quad \text{mm}$$

$$L_p < L_b \leq L_r$$

$$3484 < 6000 < 13083 \quad \text{Sağlandı}$$

Düzeltilme Katsayısı

$$C_b = 1$$

$$F_{nc} = C_b \left[1 - \left(1 - \frac{F_{yr}}{R_h \cdot F_{yc}} \right) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] R_b \cdot R_h \cdot F_{yc} \leq R_b \cdot R_h \cdot F_{yc}$$

$$F_{nc} = 216,52 \quad \text{MPa} \quad \text{OK}$$

III.Durum

$$L_b \geq L_r$$

6000 < 13083 Sağlanmadı

$$F_{nc} = F_{cr} \leq R_b \cdot R_h \cdot F_{yc}$$

$F_{nc} = 782,14$ MPa

Yanal Burkulma için seçilen

$F_{nc} = 216,52$ MPa

$$f_{bu} + \frac{1}{3} f_l \leq \phi_f \cdot F_{nc}$$

66 < 216,52 OK

4.3.4.2. Gövde KontrolleriGövde Burkulma Kontrolü

Narinlik Kontrolü

$$\frac{2D_c}{t_w} \leq 5,7 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}}$$

33,2 < 168,8

Gövde narin değil kontrole ihtiyaç yoktur.

Gövde Burulma Katsayısı

$$k = \frac{9}{\left(\frac{D_c}{D}\right)^2}$$

k = 36,0

Nominal Gövde Burkulma Dayanımı

$$F_{crw} = \frac{0,9Ek}{\left(\frac{D}{t_w}\right)^2}$$

$F_{crw} = 6061$ MPa

$F_{crw} < \begin{cases} R_h \cdot F_{yc} = 235,00 & \text{Mpa} \\ \frac{F_{ytw}}{0,7} = 335,71 & \text{Mpa} \end{cases}$

$F_{crw} = 235,00$ Mpa

$$f_{bu} \leq \phi_f \cdot F_{crw}$$

66 < 235,00 OK

Düşey Gerilme Kontrolü

Düşey Eğilme Gerilmesi

$$f_{cw} = \frac{M_{DC} \cdot D_c}{I_{top}}$$

$f_{cw} = 61,15$ MPa

$$|f_{cw}| < \phi_f F_{crw}$$

$$61 < 235,00 \quad \text{OK}$$

4.3.4.3. Alt Başlık Kontrolleri

Yanal Eğilme Kontrolü

| | | | | |
|--|----------|---|-----|----|
| Alt Başlık Levhasının Genişliği | b_{bf} | = | 450 | mm |
| Alt Başlık Et Kalınlığı | t_{bf} | = | 35 | mm |
| Nötr Eks. Gövde Alt Noktasına olan Uzkl. | D_c | = | 415 | mm |
| Gövde Levhası Et Kalınlığı | t_w | = | 25 | mm |

$$r_t = \frac{b_{bf}}{\sqrt{12 \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \frac{D_c \cdot t_w}{b_{bf} \cdot t_{bf}}\right)}}$$

$$r_t = 117,63 \quad \text{mm}$$

$$L_p = 1,0 \cdot r_t \cdot \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}}$$

$$L_p = 3484 \quad \text{mm}$$

| | | | | |
|------------------------------------|-------|---|------|----|
| Kesit Mesnetsiz Mesafesi | L_b | = | 6000 | mm |
| Eğim Düzeltme Katsayısı | C_b | = | 1 | |
| Basınc Gerilmesi Aktarma Katsayısı | R_b | = | 1 | |

$$f_{bu} = \frac{M_{DC}}{S_{alt}}$$

$$f_{bu} = 66,30 \quad \text{MPa}$$

$$f_t = \frac{M_{lat}}{S_{alt}}$$

$$f_t = 0,00 \quad \text{MPa}$$

$$L_b \leq 1,2 \cdot L_p \cdot \sqrt{\frac{C_b \cdot R_b}{\frac{f_{bu}}{F_{yc}}}}$$

$$6000 < 7872 \quad \text{Sağlandı}$$

Kontrol Sağlanmadığı durumda Yanal Başlık Gerilmesi için ikinci yolda bulunan başlık gerilmesi kullanılacaktır.

Yanal Başlık Gerilmesi İkinci Yol

Elastik Yanal Burkulma Gerilmesi

$$F_{cr} = \frac{C_b \cdot R_b \cdot \pi^2 \cdot E}{\left(\frac{L_b}{r_t}\right)^2}$$

$$F_{cr} = 782,14 \quad \text{MPa}$$

Yanal Başlık Gerilmesi

$$f_t = \left(\frac{0,85}{1 - \frac{f_{bu}}{F_{cr}}} \right) \cdot f_{t1} \geq f_{t1}$$

$$f_t = 0,00 \quad \text{MPa}$$

$$f_{bu} + f_t \leq \phi_f \cdot R_h \cdot F_{yc}$$

$$66 < 235,00 \quad \text{OK}$$

Lokal Burkulma Kontrolü

Altt Başlık Levhasının Genişliği

$$b_{bf} = 450 \quad \text{mm}$$

Altt Başlık Et Kalınlığı

$$t_{bf} = 35 \quad \text{mm}$$

Basınç Başlığı Narinlik Oranı

$$\lambda_f = \frac{b_{bf}}{2t_{bf}}$$

$$\lambda_f = 6,43 \quad \text{mm}$$

Kompakt Olmayan Başlık Sınır Narinlik Oranı

$$\lambda_{rf} = 0,56 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_{yr}}}$$

$$\lambda_{rf} = 19,83 \quad \text{mm}$$

Kompakt Başlık Sınır Narinlik Oranı

$$\lambda_{pf} = 0,38 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}}$$

$$\lambda_{pf} = 11,26 \quad \text{mm}$$

$$\lambda_f \leq \lambda_{pf}$$

$$6,43 < 11,26 \quad \text{Sağlandı}$$

Kontrolün sağlanması durumu ;

Basınç Başlığı Eğilme Anma Dayanımı

$$F_{nc} = R_b \cdot R_h \cdot F_{yc}$$

$$F_{nc} = 235 \text{ MPa}$$

Kontrolün sağlanmaması durumu ;

Basınç Başlığı Eğilme Anma Dayanımı

$$F_{nc} = \left[1 - \left(1 - \frac{F_{yr}}{R_h \cdot F_{yc}} \right) \cdot \left(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] \cdot R_b \cdot R_h \cdot F_{yc}$$

$$F_{nc} = 275 \text{ MPa}$$

Lokal Burkulma için seçilen

$$F_{nc} = 235 \text{ MPa}$$

Yanal burkulmadan kaynaklanan nominal eğilme anma dayanımı hesaplanarak minimum anma dayanımı değeri seçilerek kontrol yapılacaktır.

I.Durum

$$L_b \leq L_p$$

$$6000 > 3484 \quad \text{Sağlanmadı}$$

Basınç Başlığı Eğilme Anma Dayanımı

$$F_{nc} = R_b \cdot R_h \cdot F_{yc}$$

$$F_{nc} = 235 \text{ MPa}$$

II.Durum

Mesnetlenmemiş Uzunluk Sınır Değeri

$$L_r = \pi r_i \cdot \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}}$$

$$L_r = 13083,07 \text{ mm}$$

$$L_p < L_b \leq L_r$$

$$3484 < 6000 < 13083,07 \quad \text{Sağlandı}$$

Düzeltilme Katsayısı

$$C_b = 1$$

$$F_{nc} = C_b \left[1 - \left(1 - \frac{F_{yr}}{R_h F_{yc}} \right) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] R_b R_h F_{yc} \leq R_b R_h F_{yc}$$

$$F_{nc} = 216,52 \text{ MPa} \quad \text{OK}$$

III.Durum

$$L_b \geq L_r$$

$$6000 < 13083 \quad \text{Sağlanmadı}$$

$$F_{nc} = F_{cr} \leq R_b \cdot R_h \cdot F_{yc}$$

$$F_{nc} = 782,14 \quad \text{MPa}$$

Yanal Burkulma için seçilen

$$F_{nc} = 216,52 \quad \text{MPa}$$

$$f_{bu} + \frac{1}{3} f_l \leq \phi_f \cdot F_{nc}$$

$$66 < 217 \quad \text{OK}$$

4.3.5. Dayanım Kontrolleri

Dayanım durumu için kullanılacak faktörsüz ve faktörlü tesirleri Tablo 4.16 ve 4.17'de sunulmaktadır.

Tablo 4.16 : Dayanım durumu için faktörsüz kesit tesirleri (I kiriş)

| Kuvvetler | | DC1 | DC2 | DW | min | max | Birimler |
|-----------------|------|--------|--------|--------|------|---------|----------|
| | | | | | LL | LL | |
| Moment | M | 835,32 | 294,00 | 172,80 | 0,00 | 1338,04 | kN.m |
| Yanal Moment | Mlat | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | kN.m |
| Burulma momenti | T | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | kN.m |
| Kesme | V | 139,22 | 49,00 | 28,80 | 0,00 | 321,43 | kN |

Tablo 4.17 : Dayanım durumu için faktörlü kesit tesirleri (I kiriş)

| Dayanım-I | | DC1 | DC2 | DW | min | max | Birimler |
|-----------------|------|---------|--------|--------|------|---------|----------|
| | | | | | LL | LL | |
| Moment | M | 1044,15 | 367,50 | 259,20 | 0,00 | 2341,57 | kN.m |
| Yanal Moment | Mlat | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | kN.m |
| Burulma momenti | T | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | kN.m |
| Kesme | V | 174,02 | 61,25 | 43,20 | 0,00 | 562,51 | kN |

4.3.5.1. Üst Başlık Kontrolleri

Başlık Gerilmesi

$$f_{bu} = \left[\left(\frac{M_{DC1}}{S_{üst}} \right) + \left(\frac{M_{DC2} + M_{DW}}{S_{3n_{üst}}} \right) + \left(\frac{M_{LL}}{S_{n_{üst}}} \right) \right]$$

$$f_{bu} = 119,0 \text{ MPa}$$

Eğilme Anma Dayanımı

$$F_{nc} = R_b R_h F_{yc}$$

$$F_{nc} = 235 \text{ MPa}$$

$$f_{bu} \leq \phi_f \cdot F_{nc}$$

$$119 < 235,00 \quad \text{OK}$$

Kesitin Plastik Moment Kapasitesi

Döşemenin Plastik Basınç Kuvveti

$$P_s = 0,85 \cdot f_c' \cdot b_{eff} \cdot t_s$$

$$P_s = 6375 \text{ kN}$$

Basınç Bölgesindeki Çelik Plastik Basınç Kuvveti

$$P_c = b_{cf} \cdot t_{cf} \cdot F_{yc}$$

$$P_c = 3701 \text{ kN}$$

Gövdenin Çelik Plastik Basınç Kuvveti

$$P_w = D \cdot t_w \cdot F_{yw}$$

$$P_w = 4876 \quad \text{kN}$$

Çekme Bölgesindeki Çelik Plastik Basınç Kuvveti

$$P_t = b_{bf} \cdot t_{bf} \cdot F_{yt}$$

$$P_t = 3701 \quad \text{kN}$$

Döşemede Boyuna Giden Alt Betonarme Donatı Plastik Kuvveti

$$P_{rb} = 0 \quad \text{kN}$$

Döşemede Boyuna Giden Üst Betonarme Donatı Plastik Kuvveti

$$P_{rt} = 0 \quad \text{kN}$$

Durum-I

$$P_t + P_w \geq P_c + P_s + P_{rb} + P_{rt}$$

$$8578 < 10076 \quad \text{Sağlanmadı}$$

Nötr Eksen Mesafesi

$$\bar{Y} = \left(\frac{D}{2} \right) \left[\frac{P_t - P_c - P_s - P_{rt} - P_{rb}}{P_w} + 1 \right]$$

$$\bar{Y} = -127,6 \quad \text{mm}$$

Tabliye Mesafesi

$$d_s = -28 \quad \text{mm}$$

Gövde Mesafesi

$$d_w = 578 \quad \text{mm}$$

Alt Başlık Mesafesi

$$d_t = 1010 \quad \text{mm}$$

Üst Başlık Mesafesi

$$d_c = -110 \quad \text{mm}$$

Alt Donatı Mesafesi

$$d_{rb} = -43 \quad \text{mm}$$

Üst Donatı Mesafesi

$$d_{rt} = 57 \quad \text{mm}$$

Plastik Moment Kapasitesi

$$M_p = \frac{P_w}{2 \cdot D} \left[\bar{Y}^2 + (D - \bar{Y})^2 \right] + [P_s \cdot d_s + P_{rt} \cdot d_{rt} + P_{rb} \cdot d_{rb} + P_c \cdot d_c + P_t \cdot d_t]$$

$$M_p = 5897 \quad \text{kN.m}$$

Durum-II

$$P_t + P_w + P_c \geq P_s + P_{rb} + P_{rt}$$

$$12279 > 6375 \quad \text{Sağlandı}$$

Nötr Eksen Mesafesi

$$\bar{Y} = \left(\frac{t_f}{2} \right) \left[\frac{P_w + P_t - P_s - P_{rt} - P_{rb}}{P_c} + 1 \right]$$

$$\bar{Y} = 27,9 \text{ mm}$$

Tabliye Mesafesi

$$d_s = 128 \text{ mm}$$

Gövde Mesafesi

$$d_w = 422 \text{ mm}$$

Alt Başlık Mesafesi

$$d_t = 855 \text{ mm}$$

Üst Başlık Mesafesi

$$d_c = 45 \text{ mm}$$

Alt Donatı Mesafesi

$$d_{rb} = 113 \text{ mm}$$

Üst Donatı Mesafesi

$$d_{rt} = 213 \text{ mm}$$

Plastik Moment Kapasitesi

$$M_p = \frac{P_c}{2.t_f} \left[\bar{Y}^2 + (t_f - \bar{Y})^2 \right] + [P_s.d_s + P_{rt}.d_{rt} + P_{rb}.d_{rb} + P_w.d_w + P_t.d_t]$$

$$M_p = 6081 \text{ kN.m}$$

Üst Başlık Plastik Moment Kapasitesi

$$M_p = 5897 \text{ kN.m}$$

Süneklik Kontrolü

Kompozit Kesit Yüksekliği

$$D_t = 1100 \text{ mm}$$

Kompozit kesitin nötr ekseninden plak üstüne olan mesafe

$$D_p = 227,91 \text{ mm}$$

$$0,42.D_t = 462 \text{ mm}$$

$$D_p < 0,42.D_t \quad \text{OK}$$

4.3.5.2. Gövde Kontrolleri

Gövde Burkulma Kontrolü

Narinlik Kontrolü

$$\frac{2D_c}{t_w} \leq 5,7 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}}$$

$$33,2 < 168,8$$

Gövde narin değil kontrole ihtiyaç yoktur.

Gövde Burulma Katsayısı

$$k = \frac{9}{\left(\frac{D_c}{D}\right)^2}$$

$$k = 36,0$$

Nominal Gövde Burkulma Dayanımı

$$F_{crw} = \frac{0,9Ek}{\left(\frac{D}{t_w}\right)^2}$$

$$F_{crw} = 6061 \text{ MPa}$$

$$F_{crw} < \begin{cases} R_h \cdot F_{yc} = 235,00 & \text{Mpa} \\ \frac{F_{yw}}{0,7} = 335,71 & \text{Mpa} \end{cases}$$

$$F_{crw} = 235,00 \text{ Mpa}$$

$$f_{bu} \leq \phi_f \cdot F_{crw}$$

$$214 < 235,00 \quad \text{OK}$$

Gövde Kesme Dayanım Kontrolü

$$\frac{2Dt_w}{(b_{tf} \cdot t_{tf} + b_{bf} \cdot t_{bf})} \leq 2,5$$

$$1,32 < 2,5 \quad \text{Sağlandı}$$

Sınır değeri aşılmadı ilk kesme anma dayanımı formülü kullanılır.

$$\frac{D}{t_w} = 33,20$$

$$\frac{D}{t_w} \leq 1,12 \sqrt{\frac{E.k}{F_{yw}}} \Rightarrow C = 1$$

$$1,12 \sqrt{\frac{E.k}{F_{yw}}} \leq \frac{D}{t_w} \leq 1,40 \sqrt{\frac{E.k}{F_{yw}}} \Rightarrow C = \frac{1,12}{(D/t_w)} \cdot \sqrt{\frac{E.k}{F_{yw}}}$$

$$\frac{D}{t_w} \geq 1,40 \sqrt{\frac{E.k}{F_{yw}}} \Rightarrow C = \frac{1,57}{(D/t_w)^2} \cdot \left(\frac{E.k}{F_{yw}}\right)$$

$$1,12 \sqrt{\frac{E.k}{F_{yw}}} = 199,05$$

$$1,40 \sqrt{\frac{E.k}{F_{yw}}} = 248,81$$

$$C = 1,00$$

Plastik Kesme Kuvveti $V_p = 0,58.F_{yw}.D.t_w = 2828 \text{ kN}$

İlk Kesme Anma Dayanımı
$$V_n = V_p \left[C + \frac{0,87.(1-C)}{\sqrt{1 + \left(\frac{d_o}{D}\right)^2}} \right]$$

$$V_n = 2828 \text{ kN}$$

İkinci Kesme Anma Dayanımı

$$V_n = V_p \left[C + \frac{0,87.(1-C)}{\left(\sqrt{1 + \left(\frac{d_o}{D}\right)^2} + \left(\frac{d_o}{D}\right) \right)} \right]$$

$$V_n = 2828 \text{ kN}$$

Seçilen

$$V_n = 2828 \text{ kN}$$

$$V_u \leq \phi_v.V_n$$

$$841 < 2828$$

OK

4.3.5.3. Alt Başlık Kontrolleri

Yanal Eğilme Kontrolü

| | | | | |
|---|-----------|---|-----|----|
| Alt Başlık Levhasının Genişliği | b_{bfc} | = | 450 | mm |
| Üst Başlık Et Kalınlığı | t_{bf} | = | 35 | mm |
| Nötr Eksenin Gövde Üst Nkts. olan Uzkl. | D_c | = | 415 | mm |
| Gövde Levhası Et Kalınlığı | t_w | = | 25 | mm |

Yanal Burkulma Etkili Eğriligi

$$r_t = \frac{b_{fc}}{\sqrt{12 \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \frac{D_c \cdot t_w}{b_{fc} \cdot t_{fc}}\right)}}$$

$$r_t = 117,63 \text{ mm}$$

Desteksiz Uzunluk Sınırı

$$L_p = 1,0 \cdot r_t \cdot \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}}$$

$$L_p = 3484 \text{ mm}$$

Kesit Mesnetsiz Mesafesi

$$L_b = 6000 \text{ mm}$$

Eğim Düzeltme Katsayısı

$$C_b = 1$$

Basınç Gerilmesi Aktarma Katsayısı

$$R_b = 1$$

Başlık Gerilmesi

$$f_{bu} = \left[\left(\frac{M_{DC1}}{S_{alt}} \right) + \left(\frac{M_{DC2} + M_{DW}}{S_{3n_alt}} \right) + \left(\frac{M_{LL}}{S_{n_alt}} \right) \right]$$

$$f_{bu} = 214,0 \text{ MPa}$$

Yanal Başlık Gerilmesi

$$f_l = \left[\left(\frac{M_{lat_DC1}}{S_{alt}} \right) + \left(\frac{M_{lat_DC2} + M_{lat_DW}}{S_{3n_alt}} \right) + \left(\frac{M_{lat_LL}}{S_{n_alt}} \right) \right]$$

$$f_l = 0,00 \text{ MPa}$$

$$L_b \leq 1,2 \cdot L_p \cdot \sqrt{\frac{C_b \cdot R_b}{\frac{f_{bu}}{F_{yc}}}}$$

$$6000 > 4382 \quad \text{Sağlanmadı}$$

Kontrol sağlanmadığı durumda Yanal Başlık Gerilmesi için ikinci yolda bulunan başlık gerilmesi kullanılacaktır.

Yanal Başlık Gerilmesi İkinci Yol

Elastik Yanal Burkulma Gerilmesi

$$F_{cr} = \frac{C_b \cdot R_b \cdot \pi^2 \cdot E}{\left(\frac{L_b}{r_t}\right)^2}$$

$$F_{cr} = 782,14 \quad \text{MPa}$$

Yanal Başlık Gerilmesi

$$f_l = \left(\frac{0,85}{1 - \frac{f_{bu}}{F_{cr}}} \right) \cdot f_{l1} \geq f_{l1}$$

$$f_l = 0,00 \quad \text{MPa}$$

$$f_{bu} + f_l \leq \phi_f \cdot R_h \cdot F_{yc}$$

$$214 < 235,00 \quad \text{OK}$$

Lokal Burkulma Kontrolü

Alt Başlık Levhasının Genişliği

$$b_{bf} = 450 \quad \text{mm}$$

Alt Başlık Et Kalınlığı

$$t_{bf} = 35 \quad \text{mm}$$

Basınç Başlığı Narinlik Oranı

$$\lambda_f = \frac{b_{bf}}{2t_{bf}}$$

$$\lambda_f = 6,43 \quad \text{mm}$$

Kompakt Olmayan Başlık Sınır Narinlik Oranı

$$\lambda_{rf} = 0,56 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_{yr}}}$$

$$\lambda_{rf} = 19,83 \quad \text{mm}$$

Kompakt Başlık Sınır Narinlik Oranı

$$\lambda_{pf} = 0,38 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}}$$

$$\lambda_{pf} = 13,45 \quad \text{mm}$$

$$\lambda_f \leq \lambda_{pf}$$

$$6,43 < 13,45 \quad \text{Sağlandı}$$

Kontrolün sağlanması durumu ;

Basınç Başlığı Eğilme Anma Dayanımı

$$F_{nc} = R_b \cdot R_h \cdot F_{yc}$$

$$F_{nc} = 235 \quad \text{MPa}$$

Kontrolün sağlanmaması durumu ;

Basınç Başlığı Eğilme Anma Dayanımı

$$F_{nc} = \left[1 - \left(1 - \frac{F_{yr}}{R_h \cdot F_{yc}} \right) \cdot \left(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] \cdot R_b \cdot R_h \cdot F_{yc}$$

$$F_{nc} = 313 \quad \text{MPa}$$

Lokal Burkulma için seçilen

$$F_{nc} = 235 \quad \text{MPa}$$

Yanal burkulmadan kaynaklanan nominal eğilme anma dayanımı hesaplanarak minimum anma dayanımı değeri seçilerek kontrol yapılacaktır.

I.Durum

$$L_b \leq L_p$$

$$6000 > 3484 \quad \text{Sağlanmadı}$$

Basınç Başlığı Eğilme Anma Dayanımı

$$F_{nc} = R_b \cdot R_h \cdot F_{yc}$$

$$F_{nc} = 235 \quad \text{MPa}$$

II.Durum

Mesnetlenmemiş Uzunluk Sınır Değeri

$$L_r = \pi \cdot r_t \cdot \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}}$$

$$L_r = 13083 \quad \text{mm}$$

$$L_p < L_b \leq L_r$$

$$3484 < 6000 < 13083 \quad \text{Sağlandı}$$

Düzeltilme Katsayısı

$$C_b = 1$$

$$F_{nc} = C_b \left[1 - \left(1 - \frac{F_{yr}}{R_h F_{yc}} \right) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] R_b R_h F_{yc} \leq R_b R_h F_{yc}$$

$$F_{nc} = 217 \text{ MPa OK}$$

III.Durum

$$L_b \geq L_r$$

$$6000 < 13083 \quad \text{Sağlanmadı}$$

$$F_{nc} = F_{cr} \leq R_b \cdot R_h \cdot F_{yc}$$

$$F_{nc} = 782,14 \text{ MPa}$$

Yanal Burkulma için seçilen

$$F_{nc} = 216,52 \text{ MPa}$$

$$f_{bu} + \frac{1}{3} f_l \leq \phi_f \cdot F_{nc}$$

$$214 < 217 \quad \text{OK}$$

4.3.6.2. Gövde Kontrolü

Gövde levhalarının başlık levhaları ile birleşim bölgesi kontrolü

Enine Berkitme Aralığı

$$\begin{aligned} d_o &= 2500 \text{ mm} \\ k &= 5 + \frac{5}{(d_o/D)^2} = 5,55 \\ \frac{D}{t_w} &= 33,20 \end{aligned}$$

$$\frac{D}{t_w} \leq 1,12 \sqrt{\frac{E.k}{F_{yw}}} \Rightarrow C = 1$$

$$1,12 \sqrt{\frac{E.k}{F_{yw}}} \leq \frac{D}{t_w} \leq 1,40 \sqrt{\frac{E.k}{F_{yw}}} \Rightarrow C = \frac{1,12}{(D/t_w)} \cdot \sqrt{\frac{E.k}{F_{yw}}}$$

$$\frac{D}{t_w} \geq 1,40 \sqrt{\frac{E.k}{F_{yw}}} \Rightarrow C = \frac{1,57}{(D/t_w)^2} \cdot \left(\frac{E.k}{F_{yw}} \right)$$

$$1,12 \sqrt{\frac{E.k}{F_{yw}}} = 78,16$$

$$1,40 \cdot \sqrt{\frac{E.k}{F_{yw}}} = 97,70$$

$$C = 1,00$$

Plastik Kesme Kuvveti

$$V_p = 0,58 \cdot F_{yw} \cdot D \cdot t_w = 2828 \text{ kN}$$

$$V_{cr} = C \cdot V_p = 2828 \text{ kN}$$

$$V_u = 489 \text{ kN}$$

$$V_u < V_{cr} \quad \text{OK}$$

4.3.7. Sehim Kontrolleri

| | | | | |
|----------------------------|-------|---|-------|----|
| Kiriş Boyu | L | = | 24000 | mm |
| Hareketli Yük Sehim Sınırı | L/800 | = | 30,00 | mm |
| Zati Yük Sehim Sınırı | L/500 | = | 48,00 | mm |

4.3.7.1. Hareketli Yük Sehim Kontrolleri

H30-S24 Kamyon Yüklemesinden Oluşan Sehim

| | | | | | |
|--|-------------|----------------|--------|-------|----|
| X1, X2 ve X3 mesafeleri Kiriş başlangıcına olan mesafelerdir. | 1. Aks Yüğü | = | 60,00 | kN | |
| | | X ₁ | = | 16250 | mm |
| | | d ₁ | = | 4,87 | mm |
| | 2. Aks Yüğü | = | 240,00 | kN | |
| | | X ₂ | = | 12000 | mm |
| | | d ₂ | = | 23,36 | mm |
| | 3. Aks Yüğü | = | 240,00 | kN | |
| | | X ₃ | = | 7750 | mm |
| | | d ₃ | = | 19,48 | mm |

| | | | | |
|------------------------------|------------------|---|-------|----|
| Kamyon Yüğünden Oluşan Sehim | Δ_{truck} | = | 47,71 | mm |
|------------------------------|------------------|---|-------|----|

Eşdeğer Şerit Yüklemesinden Oluşan Sehim

| | | | | |
|-------------------|----------------|---|-------|----|
| Sabit Yayılı Yüğü | g | = | 15,00 | kN |
| | d ₁ | = | 21,90 | mm |

| | | | | |
|-------------|----------------|---|--------|----|
| Moment için | P | = | 135,00 | kN |
| | d ₁ | = | 13,14 | mm |

| | | | | |
|----------------------------------|-----------------|---|-------|----|
| Şerit Yüklemesinden Oluşan Sehim | Δ_{lane} | = | 35,04 | mm |
|----------------------------------|-----------------|---|-------|----|

Kontrol

| | | | | |
|--------------------|----------------|---|------|------|
| Şerit Sayısı | N _L | = | 2 | |
| Kiriş Adedi | N _b | = | 6 | adet |
| Şerit Yüğü Faktörü | m | = | 1,00 | |

| | | | | |
|-----------------------|-------------------------------------|---|------|--|
| Dağılım Faktör Hesabı | $g\Delta = \frac{N_L}{N_B} \cdot m$ | = | 0,33 | |
|-----------------------|-------------------------------------|---|------|--|

| | | | | |
|---------------------------------------|---|---|----|----|
| Kamyon Yükünden Oluşan Maksimum Sehim | = | $[1 + IM] \cdot (g\Delta) \cdot (\Delta_{truck})$ | | |
| | = | 21,15 | mm | OK |

| | | | | |
|--|---|--|----|----|
| Şerit ve Kamyon Yükünden Oluşan Maksimum Sehim | = | $0,25 \Delta_{truck_max} + (g\Delta) \cdot (\Delta_{lane})$ | | |
| | = | 16,97 | mm | OK |

4.3.7.2. Zati Yük Sehim Kontrolleri

DC1-Zati Yük

| | | | | |
|---------------------|-------|---|------|------|
| Kiriş Zati Ağırlığı | g_1 | = | 4,10 | kN/m |
| Tabliye Zati Yüğü | g_2 | = | 7,50 | kN/m |

DC1 Zati Yükünden Oluşan Sehim

$$\Delta_{DC1} = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I}$$

| | | | |
|----------------|---|-------|----|
| Δ_{DC1} | = | 34,30 | mm |
|----------------|---|-------|----|

DC2-Zati Yük

| | | | | |
|-----------------------|-------|---|------|------|
| Kaldırım Zati Yüğü | g_3 | = | 2,08 | kN/m |
| Korkuluk Bariyer Yüğü | g_4 | = | 2 | kN/m |

DC2 Zati Yükünden Oluşan Sehim

$$\Delta_{DC2} = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I_{3n}}$$

| | | | |
|----------------|---|------|----|
| Δ_{DC2} | = | 8,13 | mm |
|----------------|---|------|----|

DW-Zati Yük

| | | | | |
|-------------------|-------|---|------|------|
| Kaplama Zati Yüğü | g_5 | = | 2,40 | kN/m |
|-------------------|-------|---|------|------|

DC2 Zati Yükünden Oluşan Sehim

$$\Delta_{DW} = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I_{3n}}$$

| | | | |
|---------------|---|------|----|
| Δ_{DW} | = | 4,78 | mm |
|---------------|---|------|----|

| | | | | | |
|------------------------|------------|---|----|----|----|
| Toplam Zati Yük Sehimi | Δ_t | = | 47 | mm | OK |
|------------------------|------------|---|----|----|----|

4.3.8. Berkitme Hesapları

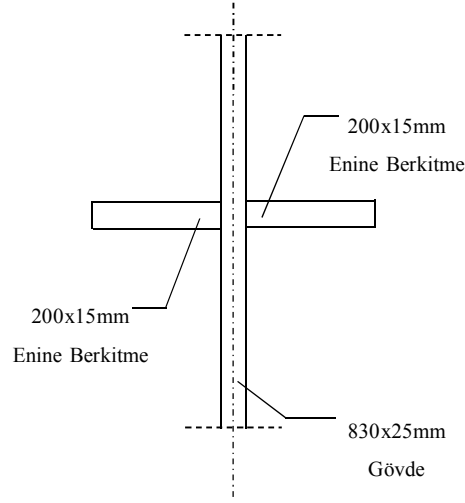
4.3.8.1. Enine Berkitme Dizaynı

| | | | | |
|--------------------|----------------|---|-----|----|
| Gövde Yüksekliği | D | = | 830 | mm |
| Gövde Et Kalınlığı | t _w | = | 25 | mm |

$$\frac{D}{t_w} \leq 2,5 \sqrt{\frac{E}{F_{yw}}}$$

| | | | |
|-------|---|-------|----|
| 33,20 | ≤ | 74,05 | OK |
|-------|---|-------|----|

| | | | | |
|----------------------------------|----------------|---|-----|------|
| Enine Berkitme Elemanı Genişliği | b _t | = | 200 | mm |
| Enine Berkitme Elemanı Kalınlığı | t _p | = | 15 | mm |
| Berkitme Sayısı | = | | 2 | adet |



Şekil 4.17: Enine berkitme kesiti

Projelendirme Genişlik Kontrolü

| | | | | |
|---------------------------|-----------------|---|-----|----|
| Toplam Kesit Yükselikliği | d | = | 900 | mm |
| Üst Başlık Genişliği | b _{tf} | = | 450 | mm |

$$b_t \geq 50 + \frac{d}{30}$$

| | | | |
|--------|---|-------|----|
| 200,00 | ≥ | 80,00 | OK |
|--------|---|-------|----|

$$16.t_p \geq b_t \geq \frac{b_f}{4}$$

| | | | | | |
|--------|---|--------|---|--------|----|
| 240,00 | ≥ | 200,00 | ≥ | 112,50 | OK |
|--------|---|--------|---|--------|----|

Atalet Moment Kontrolü

| | | | | |
|------------------------|----------------|---|------|----|
| Enine Berkitme Aralığı | d _o | = | 2500 | mm |
|------------------------|----------------|---|------|----|

Berkitme Eğilme Rijitliği

$$J = 2,5 \cdot \left(\frac{D}{d_0} \right)^2 - 2 \geq 0,5$$

| | | | |
|---------|---|---|-------------|
| | J | = | -1,72 |
| Seçilen | J | = | 0,50 |

$$I_t \geq d_o \cdot t_w^3 \cdot J$$

| | | | |
|------|---|------|----|
| 8000 | ≥ | 1953 | OK |
|------|---|------|----|

Berkitme Alan Kontrolü

| | | | | |
|----------------------|-------|---|------|---------------|
| Enine Berkitme Alanı | A_s | = | 6000 | mm^2 |
|----------------------|-------|---|------|---------------|

B_b katsayısı;

- Çift levhalı berkitmeler için 1
- Tekli köşebent berkitmeler için 1,8
- Tek levhalı berkitmeler için 2,4

| | | | | |
|---------------------------------|----------|---|--------|-------------------|
| Katsayı | B_b | = | 1 | |
| Berkitme Minimum Akma Gerilmesi | C | = | 1,00 | |
| Kesme Tesiri | F_{ys} | = | 235,00 | N/mm ² |
| Kesme Anma Dayanımı | V_u | = | 841 | kN |
| | V_n | = | 2828 | kN |

Yerel Elastik Burulma Gerilmesi

$$F_{crs} = \frac{0,31 \cdot E}{\left(\frac{b_t}{t_p} \right)^2} \leq F_{ys}$$

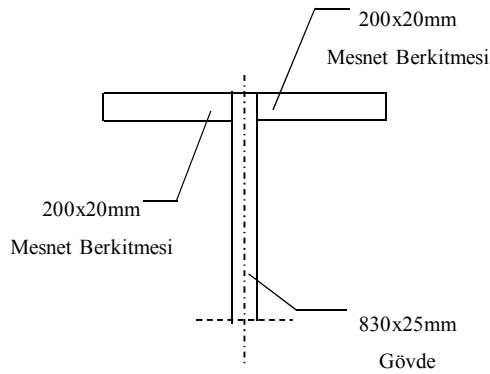
| | | | |
|---------|-----------|---|---------------|
| | F_{crs} | = | 359,53 |
| Seçilen | F_{crs} | = | 235,00 |

$$A_s \geq \left[0,15 \cdot B_b \cdot \frac{D}{t_w} \cdot (1 - C) \cdot \left(\frac{V_u}{\phi_v \cdot V_n} \right) - 18 \right] \cdot \frac{F_{yw}}{F_{crs}} \cdot t_w^2$$

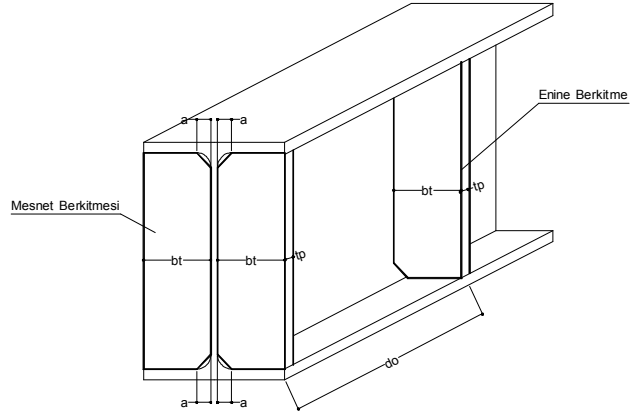
| | | | |
|------|---|--------|----|
| 6000 | ≥ | -11250 | OK |
|------|---|--------|----|

4.3.8.2. Mesnet Berkitme Dizaynı

| | | | | |
|----------------------------------|-------|---|-----|----|
| Enine Berkitme Elemanı Genişliği | b_t | = | 200 | mm |
| Enine Berkitme Elemanı Kalınlığı | t_p | = | 20 | mm |
| Köşe Mesafe | a | = | 40 | mm |
| Berkitme Sayısı | | = | 2 | |



Şekil 4.18: Mesnet berkitme kesiti



Şekil 4.19: Berkitme görünüşleri

Projelendirme Genişlik Kontrolü

$$b_t \leq 0,48 \cdot t_p \cdot \sqrt{\frac{E}{F_{ys}}}$$

$$200,00 \leq 284,36 \quad \text{OK}$$

Mesnet Berkitmesi Taşıma Dayanım Kontrolü

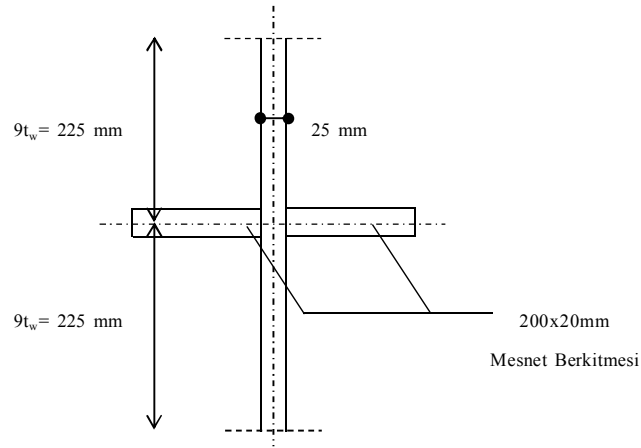
$$\text{Mesnet Berkitme Alanı} \quad A_{pn} = 6400 \quad \text{mm}^2$$

$$B_r = \phi_b \cdot A_{pn} \cdot F_{ys}$$

$$B_r = 1504 \quad \text{kN}$$

$$B_r > V_u$$

$$1504,00 > 840,98 \quad \text{OK}$$

Mesnet Berkitmesi Eksenel Dayanım Kontrolü

Şekil 4.20: Mesnet berkitmesi efektif etki alanı

| | | | | |
|--|--------------------------------|---|-----------|---------------|
| Efektif Kolon Alanı | A_s | = | 19750 | mm^2 |
| Mesnet Berkitme Atalet Momenti | I_s | = | 128528646 | mm^4 |
| Dönme Yarıçapı | $r_s = \sqrt{\frac{I_s}{A_s}}$ | | | |
| | r_s | = | 80,67 | mm |
| Efektif Uzunluk Faktörü K; | | | | |
| -Bulonlanmış veya kaynaklanmış berkitme elemanlarında 0,75 | | | | |
| -Sıkıştırılarak tutulmuş berkitme elemanlarında 0,875 | | | | |
| -Diğer tüm durumlarda 1 alınır. | | | | |
| | K | = | 0,75 | |
| Gövde Yüksekliği | l | = | 830,00 | mm |

$$\lambda = \left(\frac{Kl}{r_s \pi} \right)^2 \cdot \frac{F_y}{E}$$

$$\lambda = 0,0069$$

$$\lambda \leq 2,25 \Rightarrow P_n = 0,66^\lambda \cdot F_y \cdot A_s$$

$$\lambda > 2,25 \Rightarrow P_n = \frac{0,88 \cdot F_y \cdot A_s}{\lambda}$$

| | | | | |
|-------------------------|-------|---|------|----|
| Nominal Basınç Dayanımı | P_n | = | 4628 | kN |
|-------------------------|-------|---|------|----|

Katsayılı Eksenel Dayanım

$$P_r = \phi_c \cdot P_n$$

| | | | | |
|--|-------|---|---------|----|
| | P_r | = | 4165,21 | kN |
|--|-------|---|---------|----|

| | | | | |
|--|-------|---|-------|--|
| | P_r | > | V_u | |
|--|-------|---|-------|--|

| | | | | |
|--|------|---|-----|----|
| | 4165 | > | 841 | OK |
|--|------|---|-----|----|

4.3.9. Kesme Saplama Hesapları

4.3.9.1. Geometrik Kesit Kontrolleri

| | | | | | |
|---------------------|-------|---|-----------------|----|----|
| Saplama çapı | d_s | = | 20,00 | mm | |
| Saplmama yüksekliği | h_s | = | 100,00 | mm | |
| Saplama çapı | d_s | < | $\frac{h_s}{4}$ | | |
| Saplama çapı | d_s | < | 25,00 | mm | OK |
| Saplmama yüksekliği | h_s | < | $t_s - 50$ | | |
| Saplmama yüksekliği | h_s | < | 150,00 | mm | OK |

4.3.9.2. Yorulma ve Göçme Kontrolleri

| | Min | Max | |
|--------------------|------|--------|------|
| Faktörsüz tesirler | LL | LL | |
| Burulma momenti T | 0,00 | 0,00 | kN.m |
| Kesme V | 0,00 | 321,43 | kN |

| | | | | |
|--------------------------------------|-----------|---|-------------|-----------------|
| Efektif Tabliye Genişliği | b_{eff} | = | 1500,00 | mm |
| Tabliye Kalınlığı | t_s | = | 200,00 | mm |
| Tabliyenin Kesit Nötr Eksenine Uzkl. | h' | = | 302,16 | mm |
| Tabliyenin Statik Momenti | Q | = | 12949680,81 | mm ³ |
| Kesitin atalet momenti n | I | = | 14351892006 | mm ⁴ |

| | Min | Max | |
|-------------------|------|--------|------|
| Yorulma Durumu | LL | LL | |
| Burulma momenti T | 0,00 | 0,00 | kN.m |
| Kesme V | 0,00 | 241,07 | kN |

$$V = 241,07 \text{ kN.m}$$

$$\text{Boyuna doğrultuda kesme etkisi} \quad V_{fat} = \frac{V \cdot Q}{I} = 218 \text{ N / mm}$$

$$\text{Burulma etkili alanı} \quad A_o = 221063 \text{ mm}^2$$

$$\text{Etkili burulma momenti} \quad T_{fat} = 0,00 \text{ kN.m}$$

$$F_{fat} = \frac{T_{fat}}{2 \cdot A_o} = 0,00 \text{ N / mm}$$

$$V_{sr} = \sqrt{(V_{fat})^2 + (F_{fat})^2} = 218 \text{ N / mm}$$

| | | | | |
|-------------------------------------|---------------------------------|---|------------------|-------|
| Saplama kesme dayanımı | $Z_r = \frac{38.d_s^2}{2}$ | = | 7600 | N |
| Enine Doğrultudaki Saplama Aralığı | S_t | = | 200,00 | mm |
| Boyuna Doğrultuda Saplama Aralığı | p | = | 200,00 | mm |
| Enine doğrultudaki saplama adeti | n_w | = | 7,50 | adet |
| | $p \leq \frac{n_w.Z_r}{V_{sr}}$ | | | |
| | 200,00 | < | 262,04 | OK |
| Boyuna doğrultudaki saplama aralığı | p | = | 200,00 | |
| | p | < | 600,00 | mm OK |
| | p | > | $6.d_s = 120,00$ | mm OK |
| Enine doğrultudaki saplama aralığı | S_t | = | 200,00 | |
| | S_t | > | $4.d_s = 80,00$ | mm OK |

Enine Yön Saplama Aralığı Kontrolü

| Faktörsüz tesirler | | | | Min | Max | |
|--------------------------------|------|------|----------|------|-----------|-----------------|
| | DC1 | DC2 | DW | LL | LL | |
| Burulma momenti T | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | kN.m |
| Etkili Burulma Alanı | | | A_o | = | 221062,50 | mm ² |
| Basınç Bölgesi Levha Kalınlığı | | | t_{br} | = | 35,00 | mm |
| Hiprid Faktör | | | R_h | = | 1,00 | |

| Faktörlü tesirler | | | | Min | Max | |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|
| Dayanım I | DC1 | DC2 | DW | LL | LL | |
| Burulma momenti T | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | kN.m |
| Etkili burulma momenti | | | T | = | 0,00 | kN.m |

Faktörlü Yükler Altında St. Venant Burulma Gerilmesi

$$f_v = \frac{T}{2.A_o.t_{ef}} = 0,00 \text{ Mpa}$$

| | | | | |
|-------------------------|-------|---|-------|----|
| Basıç Başlığı Kalınlığı | t_f | = | 35,00 | mm |
| | k | = | 4,00 | |
| | k_s | = | 5,34 | |

$$\Delta = \sqrt{1 - 3 \cdot \left(\frac{f_v}{F_{yc}} \right)^2} = 1,00$$

$$R_1 = \frac{0,57}{\sqrt{\frac{1}{2} \cdot \left[\Delta + \sqrt{\Delta^2 + 4 \cdot \left(\frac{f_v}{F_{yc}} \right)^2 \cdot \left(\frac{k}{k_s} \right)^2} \right]}} = 0,57$$

| | | | | |
|------------------------------------|-------|---|--------|----|
| Enine Doğrultudaki Saplama Aralığı | S_t | = | 200,00 | mm |
| Boyuna Doğrultuda Saplama Aralığı | p | = | 200,00 | mm |

$$S_t \leq \frac{R_1 t_f}{\sqrt{\frac{F_{yf}}{k \cdot E}}} = 1181,86$$

$$200,00 < 1181,86 \quad \text{OK}$$

4.3.9.3. Dayanım Kontrolleri

| | | | | |
|---------------------------------|----------|---|--------|-----------------|
| Saplama alanı | A_{sc} | = | 314,16 | mm ² |
| Saplama Minimum Çekme Gerilmesi | F_u | = | 420,00 | Mpa |

$$\text{Nominal Saplama Kesme Dayanımı} \quad Q_n = 0,5 A_{sc} \cdot \sqrt{f'_c \cdot E_c} \leq A_{sc} \cdot F_u$$

$$Q_n = 136035 \quad \text{N}$$

$$A_{sc} \cdot F_u = 131947 \quad \text{N} \quad \text{OK}$$

$$Q_n = 131947 \quad \text{N}$$

$$\text{Saplama kesme dayanımı} \quad Q_r = \phi_{sc} \cdot Q_n$$

$$\text{Kesme saptaması gerilme faktörü} \quad \phi_{sc} = 0,85$$

$$Q_r = 112154,86 \quad \text{N}$$

Kenar ayak ve taşıt yükü momentinin pozitif maksimum olduğu nokta arasındaki uzaklık

| | | | | | |
|------------------------------------|-----------------------------|---|--|------|----|
| | L1 | = | 12000 | mm | |
| Minimum Saplama Sayısı | n_{tot} | = | $\frac{P}{Q_r}$ | | |
| Boyuna doğrultuda kesme kuvveti | P_{1p} | = | $0,55 \cdot f'_c \cdot b_{eff} \cdot t_s$ | | |
| Etkili tabliye genişliği | b_{eff} | = | 1500,00 | mm | |
| Etkili tabliye yüksekliği | t_s | = | 200,00 | mm | |
| | P_{1p} | = | 4125000,00 | N | |
| Boyuna doğrultuda kesme kuvveti | P_{2p} | = | $F_{yw} \cdot D \cdot t_w + F_{yt} \cdot b_{ft} \cdot t_{ft} + F_{yc} \cdot b_{fc} \cdot t_{fc}$ | | |
| | P_{2p} | = | 12278750,00 | N | |
| | P_p | = | $\min (P_{1p}, P_{2p})$ | | |
| | P_p | = | 4125000,00 | N | |
| Minimum saplama sayısı | n_{tot} | = | 37 | adet | |
| Enine doğrultudaki saplama aralığı | S_t | = | 200,00 | mm | |
| Boyuna doğrultuda saplama aralığı | p | = | 200,00 | mm | |
| Enine doğrultudaki saplama adeti | n_w | = | 7,50 | adet | |
| Saplama sıra sayısı | $n_1 = \frac{n_{tot}}{n_w}$ | = | 4,93 | adet | |
| | | | $p < \frac{L1}{n_1}$ | | |
| | 200,00 | < | 2432,43 | | OK |
| | p | < | 600,00 | mm | OK |
| | p | > | $6 \cdot d_s = 120,00$ | mm | OK |
| Enine doğrultudaki saplama aralığı | S_t | = | 200,00 | | |
| | S_t | > | $4 \cdot d_s = 80,00$ | mm | OK |

Taşıt yükü momentinin pozitif maksimum olduğu nokta ile sıfır olduğu nokta arasındaki uzaklık

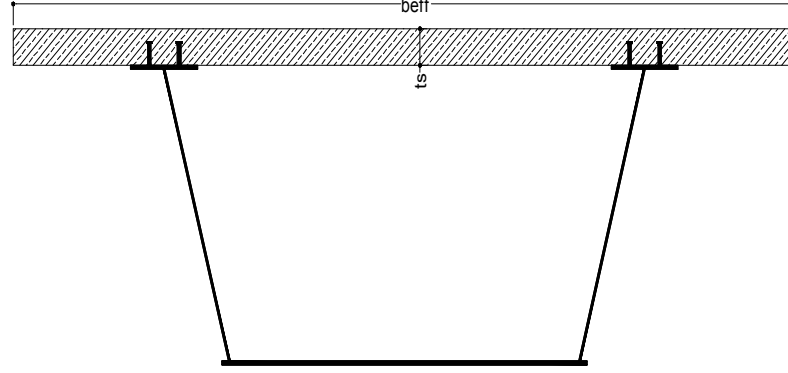
| | | | | | |
|------------------------------------|--|---|--|------|----|
| | L ₂ | = | 12000 | mm | |
| Minimum Saplama Sayısı | n _{tot} | = | $\frac{P}{Q_r}$ | | |
| Boyuna doğrultuda kesme kuvveti | P _{1p} | = | $0,55 \cdot f'_c \cdot b_{eff} \cdot t_s$ | | |
| Etkili tabliye genişliği | b _{eff} | = | 1500,00 | mm | |
| Etkili tabliye yüksekliği | t _s | = | 200,00 | mm | |
| | P _{1p} | = | 4125000,00 | N | |
| Boyuna doğrultuda kesme kuvveti | P _{2p} | = | $F_{yw} \cdot D \cdot t_w + F_{yt} \cdot b_{ft} \cdot t_{ft} + F_{yc} \cdot b_{fc} \cdot t_{fc}$ | | |
| | P _{2p} | = | 12278750,00 | N | |
| | P _p | = | min (P _{1p} , P _{2p}) | | |
| | P _p | = | 4125000,00 | N | |
| Minimum saplama sayısı | n _{tot} | = | 37 | adet | |
| Enine doğrultudaki saplama aralığı | S _i | = | 200,00 | mm | |
| Boyuna doğrultuda saplama aralığı | p | = | 200,00 | mm | |
| Enine doğrultudaki saplama adedi | n _w | = | 7,50 | adet | |
| Saplama sıra sayısı | n ₁ = $\frac{n_{tot}}{n_w}$ | = | 4,93 | adet | |
| | | | $p < \frac{L1}{n_1}$ | | |
| | 200,00 | < | 2432,43 | | OK |
| | p | < | 600,00 | mm | OK |
| | p | > | 6 · d _s = 120,00 | mm | OK |
| Enine doğrultudaki saplama aralığı | S _i | = | 200,00 | | |
| | S _i | > | 4 · d _s = 80,00 | mm | OK |

Taşıt yükü momentinin sıfır olduğu noktanın mesnete uzaklığı

| | | | | |
|---------------------------------|-------------------|---|--|----|
| | L3 | = | 12000 | mm |
| Minimum saplama sayısı | n_{tot} | = | $\frac{P}{Q_r}$ | |
| Boyuna doğrultuda kesme kuvveti | P_{1p} | = | $0,55 \cdot f'_c \cdot b_{eff} \cdot t_s$ | |
| Etkili tabliye genişliği | b_{eff} | = | 1500,00 | mm |
| Etkili tabliye yüksekliği | t_s | = | 200,00 | mm |
| | P_{1p} | = | 4125000,00 | N |
| Boyuna doğrultuda kesme kuvveti | P_{2p} | = | $F_{yw} \cdot D \cdot t_w + F_{yt} \cdot b_{ft} \cdot t_{ft} + F_{yc} \cdot b_{fc} \cdot t_{fc}$ | |
| | P_{2p} | = | 12278750,00 | N |
| | P_p | = | $\min (P_{1p}, P_{2p})$ | |
| | P_p | = | 4125000,00 | N |
| Boyuna doğrultuda kesme kuvveti | P_{1n} | = | $0,45 \cdot f'_c \cdot b_{eff} \cdot t_s$ | |
| | P_{1n} | = | 3375000,00 | N |
| Boyuna doğrultuda kesme kuvveti | P_{2n} | = | $F_{yw} \cdot D \cdot t_w + F_{yt} \cdot b_{ft} \cdot t_{ft} + F_{yc} \cdot b_{fc} \cdot t_{fc}$ | |
| | P_{2n} | = | 12278750,00 | N |
| | P_n | = | $\min (P_{1n}, P_{2n})$ | |
| | P_n | = | 3375000,00 | N |
| | $P_t = P_p + P_n$ | = | 7500000,00 | N |

| | | | | | |
|------------------------------------|-----------------------------|---|------------------|------|----|
| Minimum saplama sayısı | n_{tot} | = | 67 | adet | |
| Enine doğrultudaki saplama aralığı | S_t | = | 200,00 | mm | |
| Boyuna doğrultuda saplama aralığı | p | = | 200,00 | mm | |
| Enine doğrultudaki saplama adeti | $n_w = \frac{b_{ef}}{S_t}$ | = | 8,00 | adet | |
| Saplama sıra sayısı | $n_1 = \frac{n_{tot}}{n_w}$ | = | 8,00 | adet | |
| | p | = | 200,00 | mm | |
| | $\frac{L3}{n_1}$ | = | 1500,00 | mm | |
| | p | < | $\frac{L3}{n_1}$ | | OK |
| | p | < | 600,00 | mm | OK |
| | p | < | $6.d_s = 120,00$ | mm | OK |
| Enine doğrultudaki saplama aralığı | S_t | = | 200,00 | | |
| | S_t | > | $4.d_s = 80,00$ | mm | OK |

| | | | | |
|---------------------------------------|----------|---|---------|-----------------|
| Gövde Yüksekliği | h_s | = | 825 | mm |
| Gövde Levhalarının Düşeyle Yaptığı Aç | α | = | 115 | derece |
| Kesit Ağırlığı | G | = | 1149,33 | kg/m |
| Alan | A | = | 146411 | mm ² |
| Alt Başlık Konsol Genişliği | b_{fc} | = | 40 | mm |



Şekil 4.23: Kompozit kutu kiriş kesiti

Efektif Tabliye Genişliğinin Belirlenmesi

İç Gövde için Efektif Başlık Genişliği

$$b_{\text{eff}} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{L}{4} = 6000 \text{ mm} \\ S = 2000 \text{ mm} \\ 12.t_s + \frac{b_{gf}}{2} = 2650 \text{ mm} \end{array} \right\} = 2000 \text{ mm}$$

Dış Gövde için Efektif Başlık Genişliği

$$b_{\text{eff}} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{L}{8} = 3000 \text{ mm} \\ S = 2000 \text{ mm} \\ 6t_s + \frac{b_{gf}}{4} = 1325 \text{ mm} \\ b_k = 1330,592 \text{ mm} \end{array} \right\} = 1325 \text{ mm}$$

$$b_{\text{eff}} = 1325 + 2000/2 + 2000 = 4325 \text{ mm}$$

| | | | | |
|---------------------------------|--------------------|----|---|----|
| Modüler Oran | $n = \frac{E}{Ec}$ | n | = | 7 |
| Kısa Süreli Yükleme Durumu İçin | | n | = | 7 |
| Uzun Süreli Yükleme Durumu için | | 3n | = | 21 |

Tablo 4.20 : Kutu kiriş kesit özellikleri

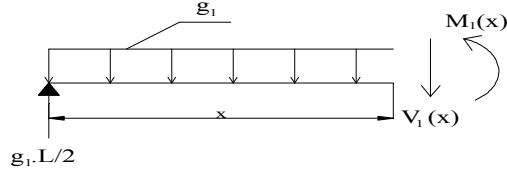
| KESİT | Alan (A) | Ağr.Mrk.(d) | A.d | I _o | A.d ² | I _{top} |
|----------------------|--------------------|------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| | (mm ²) | (mm) | (mm ³) | (mm ⁴) | (mm ⁴) | (mm ⁴) |
| Kutu Kesit | | | | | | |
| Üst Başlıklar | 40000 | 880,00 | 35200000 | 5333333 | 10812873725 | 10818207058 |
| Gövde | 36411 | 447,50 | 16294133 | 2514278933 | 278296637 | 2792575570 |
| Alt Başlık | 70000 | 17,50 | 1225000 | 7145833 | 8215041639 | 8222187472 |
| Toplam | 146411 | 360,1 | 52719133 | 2526758100 | 19306212000 | 21832970100 |
| Kompozit (3n) | | | | | | |
| Kiriş | 146411 | 360,1 | 52719133 | 21832970100 | 2890360327 | 24723330427 |
| Döşeme | 41190 | 1000 | 41190476 | 137301587 | 10273780429 | 10411082017 |
| Toplam | 187602 | 501 | 93909610 | 21970271687 | 13164140757 | 35134412444 |
| Kompozit (n) | | | | | | |
| Kiriş | 146411 | 360,1 | 52719133 | 21832970100 | 12560203226 | 34393173326 |
| Döşeme | 123571 | 1000 | 123571429 | 411904762 | 14881739700 | 15293644462 |
| Toplam | 269983 | 653 | 176290562 | 22244874862 | 27441942926 | 49686817788 |
| KESİT | y _{alt} | y _{üst} | y _{üsttab} | S _{alt} | S _{üst} | S _{üsttab} |
| | (mm) | (mm) | (mm) | (mm ³) | (mm ³) | (mm ³) |
| Kutu Kesit | 360,1 | 539,9 | --- | 60634481 | 40437054 | --- |
| Kompozit (3n) | 500,6 | 399,4 | 599,4 | 70187537 | 87963375 | 58613924 |
| Kompozit (n) | 653,0 | 247,0 | 447,0 | 76093643 | 201136257 | 111148574 |

4.4.2. Yükleme Durumları ve Tesirler

4.4.2.1. Zati Yük Uygulaması (DC1)

Kiriş Zati Yüğü

| | | | | |
|---------------------|----------------|---|--------|----------------|
| Kiriş Kesit Alanı | A | = | 0,1464 | m ² |
| Kiriş Zati Ağırlığı | g ₁ | = | 11,49 | kN/m |



$$M_1(x) = g_1 \cdot x \cdot \frac{L}{2} - g_1 \cdot \frac{x^2}{2}$$

$$V_1(x) = g_1 \cdot \frac{L}{2} - g_1 \cdot x$$

Şekil 4.24: Kiriş zati yükü için reaksiyon kuvvetleri (Kutu kiriş)

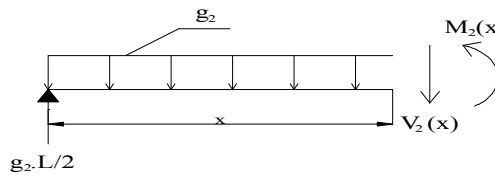
Bulunan tesirler 0 - L/2 noktaları arasında her L/20 noktasında bulunmuştur.

Tablo 4.21 : Kiriş zati yükü için moment ve kesme tesirleri (Kutu kiriş)

| x (m) | 0,00 | 1,20 | 2,40 | 3,60 | 4,80 | 6,00 | 7,20 | 8,40 | 9,60 | 10,80 | 12,00 |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| M ₁ (kNm) | 0,00 | 157,23 | 297,91 | 422,03 | 529,61 | 620,64 | 695,11 | 753,04 | 794,42 | 819,24 | 827,52 |
| V ₁ (kN) | 137,92 | 124,13 | 110,34 | 96,54 | 82,75 | 68,96 | 55,17 | 41,38 | 27,58 | 13,79 | 0,00 |

Tabliye Zati Yüğü

| | | | | |
|-------------------|----------------|------|-------|------|
| Etkiyen Aralık | = | 5000 | mm | |
| Tabliye Kalınlığı | t | = | 200 | mm |
| Tabliye Zati Yüğü | g ₂ | = | 25,00 | kN/m |



$$M_2(x) = g_2 \cdot x \cdot \frac{L}{2} - g_2 \cdot \frac{x^2}{2}$$

$$V_2(x) = g_2 \cdot \frac{L}{2} - g_2 \cdot x$$

Şekil 4.25: Tabliye zati yükü için reaksiyon kuvvetleri (Kutu kiriş)

Bulunan tesirler 0 - L/2 noktaları arasında her L/20 noktasında bulunmuştur.

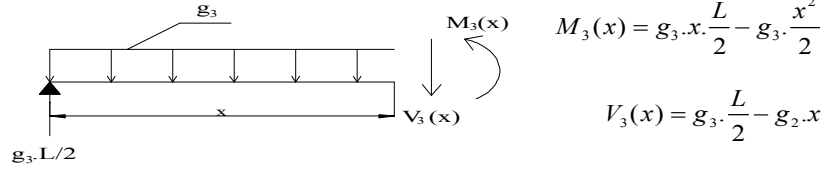
Tablo 4.22 : Tabliye zati yükü için moment ve kesme tesirleri (Kutu kiriş)

| x (m) | 0,00 | 1,20 | 2,40 | 3,60 | 4,80 | 6,00 | 7,20 | 8,40 | 9,60 | 10,80 | 12,00 |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| M ₂ (kNm) | 0,00 | 342,00 | 648,00 | 918,00 | 1152,00 | 1350,00 | 1512,00 | 1638,00 | 1728,00 | 1782,00 | 1800,00 |
| V ₂ (kN) | 300,00 | 270,00 | 240,00 | 210,00 | 180,00 | 150,00 | 120,00 | 90,00 | 60,00 | 30,00 | 0,00 |

4.3.2.2. Zati Yük Uygulaması (DC2)

Kaldırım Zati Yüğü

| | | | | |
|------------------------|-------|---|------|------|
| Sol Kaldırım Genişliği | $p1$ | = | 1000 | mm |
| Sağ Kaldırım Genişliği | $p2$ | = | 1000 | mm |
| Kaldırım Yüksekliği | d_p | = | 250 | mm |
| Kiriş Adedi | N_b | = | 2 | adet |
| Kaldırım Zati Yüğü | g_3 | = | 6,25 | kN/m |



Şekil 4.26: Kaldırım zati yükü için reaksiyon kuvvetleri (Kutu kiriş)

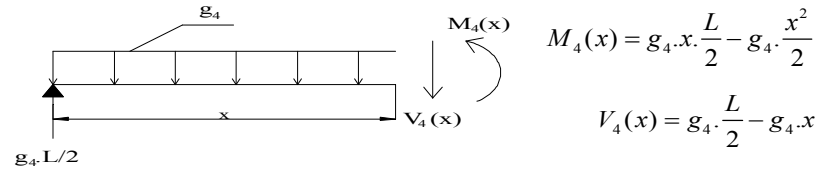
Bulunan tesirler 0 - L/2 noktaları arasında her L/20 noktasında bulunmuştur.

Tablo 4.23 : Kaldırım zati yükü için moment ve kesme tesirleri (Kutu kiriş)

| x (m) | 0,00 | 1,20 | 2,40 | 3,60 | 4,80 | 6,00 | 7,20 | 8,40 | 9,60 | 10,80 | 12,00 |
|-------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| M_3 (kNm) | 0,00 | 85,50 | 162,00 | 229,50 | 288,00 | 337,50 | 378,00 | 409,50 | 432,00 | 445,50 | 450,00 |
| V_3 (kN) | 75,00 | 67,50 | 60,00 | 52,50 | 45,00 | 37,50 | 30,00 | 22,50 | 15,00 | 7,50 | 0,00 |

İlave Zati Yük

| | | | | |
|--------------------------|-------|---|---|------|
| Korkuluk Bariyer Yükleri | g_4 | = | 2 | kN/m |
| Kiriş Adedi | N_b | = | 2 | adet |



Şekil 4.27: İlave zati yük için reaksiyon kuvvetleri (Kutu kiriş)

Bulunan tesirler 0 - L/2 noktaları arasında her L/20 noktasında bulunmuştur.

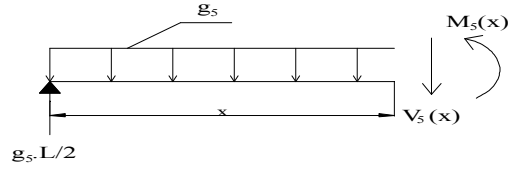
Tablo 4.24 : İlave zati yük için moment ve kesme tesirleri (Kutu kiriş)

| x (m) | 0,00 | 1,20 | 2,40 | 3,60 | 4,80 | 6,00 | 7,20 | 8,40 | 9,60 | 10,80 | 12,00 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| M_4 (kNm) | 0,00 | 27,36 | 51,84 | 73,44 | 92,16 | 108,00 | 120,96 | 131,04 | 138,24 | 142,56 | 144,00 |
| V_4 (kN) | 24,00 | 21,60 | 19,20 | 16,80 | 14,40 | 12,00 | 9,60 | 7,20 | 4,80 | 2,40 | 0,00 |

4.4.2.3. Kaplama Zati Yük Uygulaması (DW)

Kaplama Zati Yüğü

| | | | | |
|------------------------------|-------|---|------|-------------------|
| Yol Genişliği | w | = | 8000 | mm |
| Kaplama Kalınlığı | a | = | 80 | mm |
| Kaplama Birim Hacim Ağırlığı | W_k | = | 2250 | kg/m ³ |
| Kiriş Adedi | N_b | = | 2 | adet |
| Kaplama Zati Yüğü | g_5 | = | 7,20 | kN/m |



$$M_5(x) = g_5 \cdot x \cdot \frac{L}{2} - g_5 \cdot \frac{x^2}{2}$$

$$V_5(x) = g_5 \cdot \frac{L}{2} - g_5 \cdot x$$

şekil 4.28: Kaplama zati yüğü için reaksiyon kuvvetleri (Kutu kiriş)

Bulunan tesirler 0 - L/2 noktaları arasında her L/20 noktasında bulunmuştur.

Tablo 4.25 : Kaplama zati yüğü için moment ve kesme tesirleri (Kutu kiriş)

| x (m) | 0,00 | 1,20 | 2,40 | 3,60 | 4,80 | 6,00 | 7,20 | 8,40 | 9,60 | 10,80 | 12,00 |
|-------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| M_5 (kNm) | 0,00 | 98,50 | 186,62 | 264,38 | 331,78 | 388,80 | 435,46 | 471,74 | 497,66 | 513,22 | 518,40 |
| V_5 (kN) | 86,40 | 77,76 | 69,12 | 60,48 | 51,84 | 43,20 | 34,56 | 25,92 | 17,28 | 8,64 | 0,00 |

4.4.2.4. Hareketli Yük Uygulaması (LL)

Boyuna Sertlik Parametresi Hesabı $K_g = n \cdot (I + A \cdot e_g^2)$

Boyuna sertlik parametresi hesabından önce uygulanabilirlik aralığının kontrolü gerekir.

$$0,5 \leq \left(\frac{N_L}{N_b} \right) \leq 1,5$$

$$0,5 \leq 1,0 \leq 1,5 \quad \text{OK}$$

| | | | |
|---------------------------------|-----------|---|------------------------|
| Modüler Oran | n | = | 7 |
| Kesit Atalet Momenti | I_{top} | = | 0,0218 m ⁴ |
| Kesit Alanı | A | = | 0,14641 m ² |
| Ağırlık Merkezleri arası Mesafe | e_g | = | 0,46 m |
| Boyuna Sertlik Parametresi | K_g | = | 0,3698 m ⁴ |

İç Kirişler için Hareketli Yük Dağılım Moment Faktör Hesabı

Tüm şerit yüklemelerinde

$$0.05 + 0.85 \cdot \frac{N_L}{N_b} + \frac{0.425}{N_L} \quad g_{ic_moment} = 1,11 \quad \text{şerit}$$

İç Kirişler için Hareketli Yük Dağılım Kesme Kuvvet Faktör Hesabı

Tüm Şerit Yüklemelerinde

$$0.05 + 0.85 \cdot \frac{N_L}{N_b} + \frac{0.425}{N_L} \quad g_{iç_kesme} = 1,11 \quad \text{şerit}$$

Dış Kirişler için Hareketli Yük Dağılım Moment Faktör Hesabı

Tüm Şerit Yüklemelerinde

$$0.05 + 0.85 \cdot \frac{N_L}{N_b} + \frac{0.425}{N_L} \quad g_{dış_moment} = 1,11 \quad \text{şerit}$$

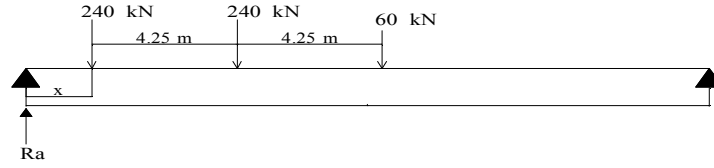
Dış Kirişler için Hareketli Yük Dağılım Kesme Faktör Hesabı

Tüm Şerit Yüklemelerinde

$$0.05 + 0.85 \cdot \frac{N_L}{N_b} + \frac{0.425}{N_L} \quad g_{dış_kesme} = 1,11 \quad \text{şerit}$$

H30-S24 Kamyon Yükleme

1.Durum: Kamyon arka tekerleğinin nokta üstünde olması



Şekil 4.29: Kamyon arka tekerleğinin nokta üstünde olma durumu (Kutu kiriş)

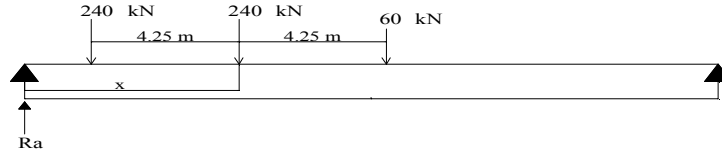
$$R_a = \frac{[60 \cdot (L - x - 8,5) + 240 \cdot (L - x - 4,25) + 240 \cdot (L - x)]}{L}$$

$$V_{61(x)} = R_a \quad M_{61(x)} = R_a \cdot x$$

Tablo 4.26 : Kamyon yük. 1.durumunda moment ve kesme tesirleri (Kutu kiriş)

| x (m) | 0,00 | 1,20 | 2,40 | 3,60 | 4,80 | 6,00 | 7,20 | 8,40 | 9,60 | 10,80 | 12,00 |
|----------------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| M_{61} (kNm) | 0,00 | 539,10 | 1013,40 | 1422,90 | 1767,60 | 2047,50 | 2262,60 | 2412,90 | 2498,40 | 2519,10 | 2475,00 |
| V_{61} (kN) | 476,25 | 449,25 | 422,25 | 395,25 | 368,25 | 341,25 | 314,25 | 287,25 | 260,25 | 233,25 | 206,25 |

2.Durum: Kamyon orta tekerleğinin nokta üstünde olması



Şekil 4.30: Kamyon orta tekerleğinin nokta üstünde olma durumu (Kutu kiriş)

$$R_a = \frac{[60 \cdot (L - x - 4,25) + 240 \cdot (L - x) + 240 \cdot (L - x + 4,25)]}{L}$$

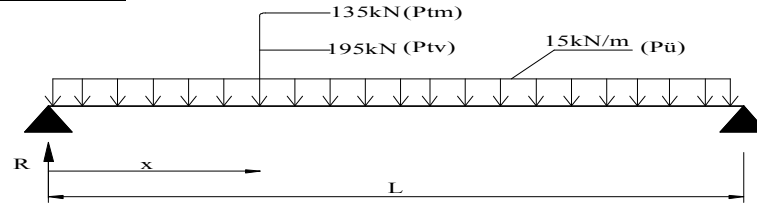
$$V_{62(x)} = R_a - 240 \quad M_{62(x)} = R_a \cdot x - 240 \cdot 4,25$$

Tablo 4.27 : Kamyon yük. 2.durumunda moment ve kesme tesirleri (Kutu kiriş)

| x (m) | 0,00 | 1,20 | 2,40 | 3,60 | 4,80 | 6,00 | 7,20 | 8,40 | 9,60 | 10,80 | 12,00 |
|----------------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| M_{62} (kNm) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1206,60 | 1601,25 | 1931,10 | 2196,15 | 2396,40 | 2531,85 | 2602,50 |
| V_{62} (kN) | 331,88 | 304,88 | 277,88 | 250,88 | 223,88 | 196,88 | 169,88 | 142,88 | 115,88 | 88,88 | 61,88 |

Tablo 4.28 : H30-S24 kamyon yüklemesi tesir sonuçları (Kutu kiriş)

| x (m) | 0,00 | 1,20 | 2,40 | 3,60 | 4,80 | 6,00 | 7,20 | 8,40 | 9,60 | 10,80 | 12,00 |
|---------------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| $M_{H30-S24}$ | 0,00 | 678,02 | 1274,53 | 1789,55 | 2223,08 | 2575,10 | 2845,63 | 3034,66 | 3142,19 | 3184,26 | 3273,12 |
| $V_{H30-S24}$ | 598,97 | 565,01 | 531,06 | 497,10 | 463,14 | 429,18 | 395,23 | 361,27 | 327,31 | 293,35 | 259,40 |

Eşdeğer Şerit Yükleme

Şekil 4.31: Eşdeğer şerit yükleme durumu (Kutu kiriş)

Tablo 4.29 : Eşdeğer şerit yüklemesinden oluşan kesme tesirleri (Kutu kiriş)

| x (m) | 0,00 | 1,20 | 2,40 | 3,60 | 4,80 | 6,00 | 7,20 | 8,40 | 9,60 | 10,80 | 12,00 |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| R_v | 375,00 | 365,25 | 355,50 | 345,75 | 336,00 | 326,25 | 316,50 | 306,75 | 297,00 | 287,25 | 277,50 |
| V_{63} (kN) | 375,00 | 347,25 | 319,50 | 291,75 | 264,00 | 236,25 | 208,50 | 180,75 | 153,00 | 125,25 | 97,50 |

Tablo 4.30 : Eşdeğer şerit yüklemesinden oluşan moment tesirleri (Kutu kiriş)

| x (m) | 0,00 | 1,20 | 2,40 | 3,60 | 4,80 | 6,00 | 7,20 | 8,40 | 9,60 | 10,80 | 12,00 |
|----------------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| R_m | 315,00 | 308,25 | 301,50 | 294,75 | 288,00 | 281,25 | 274,50 | 267,75 | 261,00 | 254,25 | 247,50 |
| M_{63} (kNm) | 0,00 | 359,10 | 680,40 | 963,90 | 1209,60 | 1417,50 | 1587,60 | 1719,90 | 1814,40 | 1871,10 | 1890,00 |

Tablo 4.31 : Eşdeğer şerit yüklemesi tesir sonuçları (Kutu kiriş)

| x (m) | 0,00 | 1,20 | 2,40 | 3,60 | 4,80 | 6,00 | 7,20 | 8,40 | 9,60 | 10,80 | 12,00 |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| $M_{\text{şerit}}$ | 0,00 | 339,57 | 643,40 | 911,49 | 1143,83 | 1340,42 | 1501,27 | 1626,38 | 1715,74 | 1769,36 | 1787,23 |
| $V_{\text{şerit}}$ | 354,61 | 328,37 | 302,13 | 275,89 | 249,65 | 223,40 | 197,16 | 170,92 | 144,68 | 118,44 | 92,20 |

LL Hareketli yük moment tesirleri içerisinde Hareketli yük dağılım faktörleri, şerit yük azaltma katsayısı ve kamyon yükü için dinamik etki katsayısı (%33) bulunmaktadır.

$$\text{Trafik Şeridi Azaltma Katsayısı } p_t = 0,85$$

Tablo 4.32 : Özet kesit tesirleri (Kutu kiriş)

| <i>DC1 Zati Yük (Moment ve Kesme Tesirleri)</i> | | | | | | | | | | | |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| x (m) | 0,00 | 1,20 | 2,40 | 3,60 | 4,80 | 6,00 | 7,20 | 8,40 | 9,60 | 10,80 | 12,00 |
| M_{DC1} (kNm) | 0,00 | 499,23 | 945,91 | 1340,03 | 1681,61 | 1970,64 | 2207,11 | 2391,04 | 2522,42 | 2601,24 | 2627,52 |
| V_{DC1} (kN) | 437,92 | 394,13 | 350,34 | 306,54 | 262,75 | 218,96 | 175,17 | 131,38 | 87,58 | 43,79 | 0,00 |
| <i>DC2 Zati Yük (Moment ve Kesme Tesirleri)</i> | | | | | | | | | | | |
| x (m) | 0,00 | 1,20 | 2,40 | 3,60 | 4,80 | 6,00 | 7,20 | 8,40 | 9,60 | 10,80 | 12,00 |
| M_{DC2} (kNm) | 0,00 | 112,86 | 213,84 | 302,94 | 380,16 | 445,50 | 498,96 | 540,54 | 570,24 | 588,06 | 594,00 |
| V_{DC2} (kN) | 99,00 | 89,10 | 79,20 | 69,30 | 59,40 | 49,50 | 39,60 | 29,70 | 19,80 | 9,90 | 0,00 |
| <i>DW Zati Yük (Moment ve Kesme Tesirleri)</i> | | | | | | | | | | | |
| x (m) | 0,00 | 1,20 | 2,40 | 3,60 | 4,80 | 6,00 | 7,20 | 8,40 | 9,60 | 10,80 | 12,00 |
| M_{DW} (kNm) | 0,00 | 98,50 | 186,62 | 264,38 | 331,78 | 388,80 | 435,46 | 471,74 | 497,66 | 513,22 | 518,40 |
| V_{DW} (kN) | 86,40 | 77,76 | 69,12 | 60,48 | 51,84 | 43,20 | 34,56 | 25,92 | 17,28 | 8,64 | 0,00 |
| <i>LL Hareketli Yük (Moment ve Kesme Tesirleri)</i> | | | | | | | | | | | |
| x (m) | 0,00 | 1,20 | 2,40 | 3,60 | 4,80 | 6,00 | 7,20 | 8,40 | 9,60 | 10,80 | 12,00 |
| M_{LL} (kNm) | 0,00 | 678,02 | 1274,53 | 1789,55 | 2223,08 | 2575,10 | 2845,63 | 3034,66 | 3142,19 | 3184,26 | 3273,12 |
| V_{LL} (kN) | 598,97 | 565,01 | 531,06 | 497,10 | 463,14 | 429,18 | 395,23 | 361,27 | 327,31 | 293,35 | 259,40 |

4.4.3. Enkesit Boyut Kontrolleri

4.4.3.1. Başlık Boyut Kontrolleri

Kontrol-1

Üst Başlık Kontrolü

| | | | | | |
|---------------------------------|---------------------------------|---|-----|----|----|
| Üst Başlık Levhasının Genişliği | b_{tf} | = | 500 | mm | |
| Üst Başlık Et Kalınlığı | t_{tf} | = | 40 | mm | |
| | $\frac{b_{tf}}{2 \cdot t_{tf}}$ | = | 6 | | |
| | $\frac{b_{tf}}{2 \cdot t_{tf}}$ | < | 12 | | OK |

Kontrol-2

Üst Başlık Kontrolü

| | | | | | |
|---------------------------------|----------|--------|---------------------------|----|----|
| Gövde Yüksekliği | D | = | 910 | mm | |
| Üst Başlık Levhasının Genişliği | b_{tf} | = | 500 | mm | |
| | | | $b_{tf} \geq \frac{D}{6}$ | | |
| | 500 | \geq | 152 | mm | OK |

Alt Başlık Kontrolü

| | | | | | |
|---------------------------------|----------|--------|---------------------------|----|----|
| Gövde Yüksekliği | D | = | 910 | mm | |
| Alt Başlık Levhasının Genişliği | b_{bf} | = | 2000 | mm | |
| | | | $b_{bf} \geq \frac{D}{6}$ | | |
| | 2000 | \geq | 152 | mm | OK |

Kontrol-3

Üst Başlık Kontrolü

| | | | | | |
|----------------------------|----------|--------|-----------------------------|----|----|
| Gövde Levhası Et Kalınlığı | t_w | = | 20 | mm | |
| Üst Başlık Et Kalınlığı | t_{tf} | = | 40 | mm | |
| | | | $t_{tf} \geq 1,1 \cdot t_w$ | | |
| | 40 | \geq | 22 | mm | OK |

Alt Başlık Kontrolü

| | | | | | |
|----------------------------|----------|--------|-----------------------------|----|----|
| Gövde Levhası Et Kalınlığı | t_w | = | 20 | mm | |
| Alt Başlık Et Kalınlığı | t_{bf} | = | 35 | mm | |
| | | | $t_{bf} \geq 1,1 \cdot t_w$ | | |
| | 35 | \geq | 22 | mm | OK |

4.4.3.2. Gövde Boyut Kontrolleri

Boyuna Berkitmesi Bulunmayan Gövdelerde

| | | | | | |
|-----------------------------|-----------------|---|-----|----|----|
| Gövde Levhası Eğik Uzunluğu | D | = | 910 | mm | |
| Gövde Levhası Et Kalınlığı | t_w | = | 20 | mm | |
| | $\frac{D}{t_w}$ | = | 46 | | |
| | $\frac{D}{t_w}$ | < | 150 | | OK |

Boyuna Berkitmesi Bulunan Gövdelerde

| | | | | | |
|-----------------------------|-----------------|---|-----|----|----|
| Gövde Levhası Eğik Uzunluğu | D | = | 910 | mm | |
| Gövde Levhası Et Kalınlığı | t_w | = | 20 | mm | |
| | $\frac{D}{t_w}$ | = | 46 | | |
| | $\frac{D}{t_w}$ | < | 300 | | OK |

4.4.4. Konstrüksiyon Aşaması Kontrolleri

Konstrüksiyon aşaması için kullanılacak faktörsüz ve faktörlü tesirleri Tablo 4.33 ve 4.34'de sunulmaktadır.

Tablo 4.33 : Konstrüksiyon aşaması için faktörsüz kesit tesirleri (Kutu kiriş)

| Kuvvetler | DC1 | DC2 | DW | min | max | Birimler |
|-------------------|---------|--------|--------|------|---------|----------|
| | | | | LL | LL | |
| Moment M | 2627,52 | 594,00 | 518,40 | 0,00 | 3273,12 | kN.m |
| Yanal Moment Mlat | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | kN.m |
| Burulma momenti T | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | kN.m |
| Kesme V | 437,92 | 99,00 | 86,40 | 0,00 | 598,97 | kN |

Tablo 4.34 : Konstrüksiyon aşaması için faktörlü kesit tesirleri (Kutu kiriş)

| Dayanım-I | | DC1 | Birimler |
|-------------------|--|---------|----------|
| Moment M | | 3284,40 | kN.m |
| Yanal Moment Mlat | | 0,00 | kN.m |
| Burulma momenti T | | 0,00 | kN.m |

4.4.4.1. Üst Başlık Kontrolleri

Yanal Eğilme Kontrolü

| | | | | |
|---|----------|---|-----|----|
| Üst Başlık Levhasının Genişliği | b_{fc} | = | 500 | mm |
| Üst Başlık Et Kalınlığı | t_{tf} | = | 40 | mm |
| Nötr Eksenin Gövde Üst Nkts. olan Uzkl. | D_c | = | 500 | mm |
| Gövde Levhası Et Kalınlığı | t_w | = | 20 | mm |

Yanal Burkulma Etkili Eğriliği

$$r_t = \frac{b_{fc}}{\sqrt{12 \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \frac{D_c \cdot t_w}{b_{fc} \cdot t_{fc}}\right)}}$$

$$r_t = 133,63 \text{ mm}$$

Desteksiz Uzunluk Sınırı

$$L_p = 1,0 \cdot r_t \cdot \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}}$$

$$L_p = 3958 \text{ mm}$$

$$L_b = 6000 \text{ mm}$$

$$C_b = 1$$

$$R_b = 1$$

Başlık Gerilmesi

$$f_{bu} = \frac{M_{DC1}}{S_{üst}}$$

$$f_{bu} = 81,22 \quad \text{MPa}$$

Yanal Başlık Gerilmesi

$$f_i = \frac{M_{lat}}{S_{üst}}$$

$$f_i = 0,00 \quad \text{MPa}$$

$$L_b \leq 1,2 \cdot L_p \cdot \sqrt{\frac{C_b \cdot R_b}{\frac{f_{bu}}{F_{yc}}}}$$

$$6000 < 8079$$

Sağlandı

Kontrol sağlanmadığı durumda Yanal Başlık Gerilmesi için ikinci yolda bulunan başlık gerilmesi kullanılacaktır.

Yanal Başlık Gerilmesi İkinci Yol

$$F_{cr} = \frac{C_b \cdot R_b \cdot \pi^2 \cdot E}{\left(\frac{L_b}{r_t}\right)^2}$$

Elastik Yanal Burkulma Gerilmesi

$$F_{cr} = 1009,41 \quad \text{MPa}$$

Yanal Başlık Gerilmesi

$$f_i = \left(\frac{0,85}{1 - \frac{f_{bu}}{F_{cr}}} \right) \cdot f_{i1} \geq f_{i1}$$

$$f_i = 0,00 \quad \text{MPa}$$

$$f_{bu} + f_i \leq \phi_f \cdot R_h \cdot F_{yc}$$

$$81 < 235,00$$

OK

Lokal Burkulma Kontrolü

Üst Başlık Levhasının Genişliği

$$b_{fc} = 500 \quad \text{mm}$$

Üst Başlık Et Kalınlığı

$$t_{fc} = 40 \quad \text{mm}$$

Basınç Başlığı Narinlik Oranı

$$\lambda_f = \frac{b_{fc}}{2t_{fc}}$$

$$\lambda_f = 6,25 \quad \text{mm}$$

Kompakt Olmayan Başlık Sınır Narinlik Oranı

$$\lambda_{rf} = 0,56 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_{yr}}}$$

$$\lambda_{rf} = 19,83 \quad \text{mm}$$

Kompakt Başlık Sınır Narinlik Oranı

$$\lambda_{pf} = 0,38 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}}$$

$$\lambda_{pf} = 11,26 \quad \text{mm}$$

$$\lambda_f \leq \lambda_{pf}$$

$$6,25 < 11,26 \quad \text{Sağlandı}$$

Kontrolün sağlanması durumu ;

Basınç Başlığı Eğilme Anma Dayanımı

$$F_{nc} = R_b \cdot R_h \cdot F_{yc}$$

$$F_{nc} = 235 \quad \text{MPa}$$

Kontrolün sağlanmaması durumu ;

Basınç Başlığı Eğilme Anma Dayanımı

$$F_{nc} = \left[1 - \left(1 - \frac{F_{yr}}{R_h \cdot F_{yc}} \right) \cdot \left(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] \cdot R_b \cdot R_h \cdot F_{yc}$$

$$F_{nc} = 276 \quad \text{MPa}$$

Lokal Burkulma için seçilen

$$F_{nc} = 235 \quad \text{MPa}$$

Yanal burkulmadan kaynaklanan nominal eğilme anma dayanımı hesaplanarak minimum anma dayanımı değeri seçilerek kontrol yapılacaktır.

1.Durum

$$L_b \leq L_p$$

$$6000 > 3958 \quad \text{Sağlanmadı}$$

Basınç Başlığı Eğilme Anma Dayanımı

$$F_{nc} = R_b \cdot R_h \cdot F_{yc}$$

$$F_{nc} = 235 \text{ MPa}$$

II.Durum

Mesnetlenmemiş Uzunluk Sınır Değeri

$$L_r = \pi \cdot r_t \cdot \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}}$$

$$L_r = 14862,88 \text{ mm}$$

$$L_p < L_b \leq L_r$$

$$3958 < 6000 < 14863 \text{ Sağlandı}$$

Düzeltilme Katsayısı

$$C_b = 1$$

$$F_{nc} = C_b \left[1 - \left(1 - \frac{F_{yr}}{R_h F_{yc}} \right) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] R_b R_h F_{yc} \leq R_b R_h F_{yc}$$

$$F_{nc} = 221,80 \text{ MPa OK}$$

III.Durum

$$L_b \geq L_r$$

$$6000 < 14863 \text{ Sağlanmadı}$$

$$F_{nc} = F_{cr} \leq R_b \cdot R_h \cdot F_{yc}$$

$$F_{nc} = 1009,41 \text{ MPa}$$

Yanal Burkulma için seçilen

$$F_{nc} = 221,80 \text{ MPa}$$

$$f_{bu} + \frac{1}{3} f_l \leq \phi_f \cdot F_{nc}$$

$$81 < 222 \text{ OK}$$

4.4.4.2. Gövde Kontrolleri

Gövde Burkulma Kontrolü

Narinlik Kontrolü

$$\frac{2D_c}{t_w} \leq 5,7 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}}$$

$$50,0 < 168,8$$

Gövde narin değil kontrole ihtiyaç yoktur.

Gövde Burulma Katsayısı

$$k = \frac{9}{\left(\frac{D_c}{D}\right)^2}$$

$$k = 29,8$$

Nominal Gövde Burkulma Dayanımı

$$F_{crw} = \frac{0,9Ek}{\left(\frac{D}{t_w}\right)^2}$$

$$F_{crw} = 2673 \text{ MPa}$$

$$F_{crw} < \begin{cases} R_h \cdot F_{yc} = 235,00 \text{ Mpa} \\ \frac{F_{yw}}{0.7} = 335,71 \text{ Mpa} \end{cases}$$

$$F_{crw} = \mathbf{235,00} \text{ Mpa}$$

$$f_{bu} \leq \phi_f \cdot F_{crw}$$

$$81 < 235,00 \quad \text{OK}$$

Düşey Gerilme Kontrolü

Düşey Eğilme Gerilmesi

$$f_{cw} = \frac{M_{DC} \cdot D_c}{I_{top}}$$

$$f_{cw} = 75,21 \text{ MPa}$$

$$|f_{cw}| < \phi_f \cdot F_{crw}$$

$$75 < 235 \quad \text{OK}$$

4.4.4.3. Alt Başlık Kontrolleri

Yanal Eğilme Kontrolü

| | | | | |
|---|----------|---|------|----|
| Alt Başlık Levhasının Genişliği | b_{bf} | = | 2000 | mm |
| Alt Başlık Et Kalınlığı | t_{bf} | = | 35 | mm |
| Nötr Eksenin Gövde Üst Noktasına olan U | D_c | = | 500 | mm |
| Gövde Levhası Et Kalınlığı | t_w | = | 20 | mm |

Yanal Burkulma Etkili Eğriliği

$$r_t = \frac{b_{bf}}{\sqrt{12 \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \frac{D_c \cdot t_w}{b_{bf} \cdot t_{bf}}\right)}}$$

$$r_t = 564,08 \text{ mm}$$

Desteksiz Uzunluk Sınırı

$$L_p = 1,0 \cdot r_t \cdot \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}}$$

$$L_p = 16708 \text{ mm}$$

Kesit Mesnetsiz Mesafesi

$$L_b = 6000 \text{ mm}$$

Eğim Düzeltme Katsayısı

$$C_b = 1$$

Basınç Gerilmesi Aktarma Katsayısı

$$R_b = 1$$

Başlık Gerilmesi

$$f_{bu} = \frac{M_{DC}}{S_{alt}}$$

$$f_{bu} = 54,17 \text{ MPa}$$

Yanal Başlık Gerilmesi

$$f_i = \frac{M_{lat}}{S_{alt}}$$

$$f_i = 0,00 \text{ MPa}$$

$$L_b \leq 1,2 \cdot L_p \cdot \sqrt{\frac{C_b \cdot R_b}{\frac{f_{bu}}{F_{yc}}}}$$

$$6000 < 41762$$

Sağlandı

Kontrol sağlanmadığı durumda Yanal Başlık Gerilmesi için ikinci yolda bulunan başlık gerilmesi kullanılacaktır.

Yanal Başlık Gerilmesi İkinci Yol

Elastik Yanal Burkulma Gerilmesi

$$F_{cr} = \frac{C_b \cdot R_b \cdot \pi^2 \cdot E}{\left(\frac{L_b}{r_t}\right)^2}$$

$$F_{cr} = 17985,66 \text{ MPa}$$

Yanal Başlık Gerilmesi

$$f_l = \left(\frac{0,85}{1 - \frac{f_{bu}}{F_{cr}}} \right) \cdot f_{l1} \geq f_{l1}$$

$$f_l = 0,00 \text{ MPa}$$

$$f_{bu} + f_l \leq \phi_f \cdot R_h \cdot F_{yc}$$

$$54 < 235,00$$

OK

Lokal Burkulma Kontrolü

Altt Başlık Levhasının Genişliği

$$b_{bf} = 2000 \text{ mm}$$

Altt Başlık Et Kalınlığı

$$t_{bf} = 35 \text{ mm}$$

Basınç Başlığı Narinlik Oranı

$$\lambda_f = \frac{b_{bf}}{2t_{bf}}$$

$$\lambda_f = 28,57 \text{ mm}$$

Kompakt Olmayan Başlık Sınır Narinlik Oranı

$$\lambda_{rf} = 0,56 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_{yr}}}$$

$$\lambda_{rf} = 19,83 \quad \text{mm}$$

Kompakt Başlık Sınır Narinlik Oranı

$$\lambda_{pf} = 0,38 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}}$$

$$\lambda_{pf} = 11,26 \quad \text{mm}$$

$$\lambda_f \leq \lambda_{pf}$$

$$28,57 > 11,26 \quad \text{Sağlanmadı}$$

Kontrolün sağlanması durumu ;

Basınç Başlığı Eğilme Anma Dayanımı

$$F_{nc} = R_b \cdot R_h \cdot F_{yc}$$

$$F_{nc} = 235 \quad \text{MPa}$$

Kontrolün sağlanmaması durumu ;

Basınç Başlığı Eğilme Anma Dayanımı

$$F_{nc} = \left[1 - \left(1 - \frac{F_{yr}}{R_h \cdot F_{yc}} \right) \cdot \left(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] \cdot R_b \cdot R_h \cdot F_{yc}$$

$$F_{nc} = 93 \quad \text{MPa}$$

Lokal Burkulma için seçilen

$$F_{nc} = 93 \quad \text{MPa}$$

Yanal burkulmadan kaynaklanan nominal eğilme anma dayanımı hesaplanarak minimum anma dayanımı değeri seçilerek kontrol yapılacaktır.

L Durum

$$L_b \leq L_p$$

$$6000 < 16708 \quad \text{Sağlandı}$$

Basınç Başlığı Eğilme Anma Dayanımı

$$F_{nc} = R_b \cdot R_h \cdot F_{yc}$$

$$F_{nc} = 235 \quad \text{MPa}$$

II.Durum

Mesnetlenmemiş Uzunluk Sınır Değeri

$$L_r = \pi \cdot r_t \cdot \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}}$$

$$L_r = 62738,11 \text{ mm}$$

$$L_p < L_b \leq L_r$$

$$16708 > 6000 < 62738 \text{ Sağlanmadı}$$

Düzeltilme Katsayısı

$$C_b = 1$$

$$F_{nc} = C_b \left[1 - \left(1 - \frac{F_{yr}}{R_h F_{yc}} \right) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] R_b R_h F_{yc} \leq R_b R_h F_{yc}$$

$$F_{nc} = 251,40 \text{ MPa}$$

III.Durum

$$L_b \geq L_r$$

$$6000 < 62738 \text{ Sağlanmadı}$$

$$F_{nc} = F_{cr} \leq R_b \cdot R_h \cdot F_{yc}$$

$$F_{nc} = 17986 \text{ MPa}$$

Yanal Burkulma için seçilen

$$F_{nc} = \mathbf{235,00} \text{ MPa}$$

$$f_{bu} + \frac{1}{3} f_l \leq \phi_f \cdot F_{nc}$$

$$54 < 93 \text{ OK}$$

4.4.5. Dayanım Kontrolleri

Dayanım durumu için kullanılacak faktörsüz ve faktörlü tesirleri Tablo 4.35 ve 4.36'da sunulmaktadır.

Tablo 4.35 : Dayanım durumu için faktörsüz kesit tesirleri (Kutu kiriş)

| Kuvvetler | | DC1 | DC2 | DW | min | max | Birimler |
|-----------------|------|---------|--------|--------|------|---------|----------|
| | | | | | LL | LL | |
| Moment | M | 2627,52 | 594,00 | 518,40 | 0,00 | 3273,12 | kN.m |
| Yanal Moment | Mlat | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | kN.m |
| Burulma momenti | T | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | kN.m |
| Kesme | V | 437,92 | 99,00 | 86,40 | 0,00 | 598,97 | kN |

Tablo 4.36 : Dayanım durumu için faktörlü kesit tesirleri (Kutu kiriş)

| Dayanım-I | | DC1 | DC2 | DW | min | max | Birimler |
|-----------------|------|---------|--------|--------|------|---------|----------|
| | | | | | LL | LL | |
| Moment | M | 3284,40 | 742,50 | 777,60 | 0,00 | 5727,95 | kN.m |
| Yanal Moment | Mlat | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | kN.m |
| Burulma momenti | T | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | kN.m |
| Kesme | V | 547,40 | 123,75 | 129,60 | 0,00 | 1048,20 | kN |

4.4.5.1. Üst Başlık Kontrolleri

Burulma Kontrolü

| | | | | |
|--------------------------------|----------|---|---------|---------------|
| Etkili burulma alanı | A_o | = | 1799849 | mm^2 |
| Basınç bölgesi levha kalınlığı | t_{tf} | = | 40,00 | mm |
| Minimum başlık akma gerilmesi | F_{yf} | = | 235,00 | Mpa |
| Hiprid faktör | R_h | = | 1,00 | |
| Etkili burulma momenti | T | = | 0,00 | kN.m |

Faktörlü yükler altında St. Venant burulma gerilmesi

$$f_v = \frac{T}{2 \cdot A_o \cdot t_{tf}} = 0,00 \text{ Mpa}$$

$$f_{vr} = 0.75 \cdot \phi_v \cdot \frac{F_{yf}}{\sqrt{3}} = 101,76 \text{ Mpa}$$

$$f_v = 0,00$$

$$f_v < f_{vr}$$

OK

$$\Delta = \sqrt{1 - 3 \cdot \left(\frac{f_v}{F_{yc}} \right)^2} = 1,00$$

| | | | | |
|--------------------------------|----------|---|----------|-----------------|
| Basınç Başlığı Akma Gerilmesi | F_{yc} | = | 235,00 | Mpa |
| Gövde Akma Gerilmesi | F_{yw} | = | 235,00 | Mpa |
| Boyuna Berkitme Mesafesi | w | = | 1000 | mm |
| Boyuna Berkitme Yüksekliği | D_b | = | 220 | mm |
| Boyuna Berkitme Kalınlığı | t_r | = | 25 | mm |
| Üst Başlık Et Kalınlığı | t_{tf} | = | 40 | mm |
| Boyuna Berkitme Atalet Momenti | I_s | = | 22788333 | mm ⁴ |
| Boyuna Berkitme Adedi | n | = | 1 | |

$$\text{Burkulma katsayısı} \quad k = \left(\frac{8 \cdot I_s}{w \cdot t_{rf}^3} \right)^{1/3} = 1,42$$

$$k < 2,00$$

$$k < 4,00$$

$$k = 2,00$$

$$\text{Burkulma katsayısı} \quad k = \left(\frac{0,894 \cdot I_s}{w \cdot t_{rf}^3} \right)^{1/3} = 0,68$$

$$k < 2,00$$

$$k < 4,00$$

$$k = 2,00$$

Boyuna berkitme sayısı 1 olduğundan dolayı seçilen burkulma katsayısı;

$$k = \mathbf{2,00}$$

$$k_s = \frac{5,34 + 2,84 \cdot \left(\frac{I_s}{w \cdot t_{fc}^3} \right)^{1/3}}{(n+1)^2} = 5,84$$

$$R_1 = \frac{0,57}{\sqrt{\frac{1}{2} \cdot \left[\Delta + \sqrt{\Delta^2 + 4 \cdot \left(\frac{f_v}{F_{yc}} \right)^2 \cdot \left(\frac{k}{k_s} \right)^2} \right]}} = 0,57$$

$$F_{yr} = (\Delta - 0,4) \cdot F_{yc} = 141,00 \quad \text{Mpa}$$

$$\begin{aligned} F_{yw} &= 235,00 \quad \text{Mpa} \\ F_{yr} &< F_{yw} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

$$R_2 = \frac{1,23}{\sqrt{\frac{1}{1,2} \cdot \left[\frac{F_{yr}}{F_{yc}} + \sqrt{\left(\frac{F_{yr}}{F_{yc}} \right)^2 + 4 \cdot \left(\frac{f_v}{F_{yc}} \right)^2 \cdot \left(\frac{k}{k_s} \right)^2} \right]}} = 1,23$$

$$\text{Basınc başlığı narinliği} \quad \lambda_f = \frac{w}{t_{fc}} = 25,00$$

$$\begin{aligned} \lambda_f &> R_1 \cdot \sqrt{\frac{k \cdot E}{F_{yc}}} &= 23,88 \\ \lambda_f &< R_2 \cdot \sqrt{\frac{k \cdot E}{F_{yc}}} &= 51,52 \end{aligned}$$

$$\lambda_f \leq R_1 \cdot \sqrt{\frac{k \cdot E}{F_{yc}}} \Rightarrow F_{nc} = R_b \cdot R_h \cdot F_{yc} \cdot \Delta$$

$$F_{nc} = 235,00 \quad \text{Mpa}$$

$$R_1 \cdot \sqrt{\frac{k \cdot E}{F_{yc}}} < \lambda_f < R_2 \cdot \sqrt{\frac{k \cdot E}{F_{yc}}} \quad \Downarrow$$

$$F_{nc} = R_b \cdot R_h \cdot F_{yc} \cdot \left[\Delta - \left(\Delta - \frac{F_{yr}}{R_h \cdot F_{yc}} \right) * \left\{ 1 - \sin \frac{\pi}{2} \left(\frac{R_2 - \frac{w}{t_{fc}} \cdot \sqrt{\frac{k \cdot E}{F_{yc}}}}{R_2 - R_1} \right) \right\} \right]$$

$$F_{nc} = 234,81 \quad \text{Mpa}$$

$$\lambda_f \geq R_2 \cdot \sqrt{\frac{k \cdot E}{F_{yc}}} \Rightarrow \frac{0,9 \cdot E \cdot R_b \cdot k}{\left(\frac{w}{t_{fc}} \right)^2} - \frac{R_b \cdot f_v^2 \cdot k}{0,9 \cdot E \cdot k_s^2} \cdot \left(\frac{w}{t_{fc}} \right)^2$$

$$F_{nc} = 593,80 \text{ Mpa}$$

$$\text{Seçilen } F_{nc} = 234,81 \text{ Mpa}$$

Başlık Gerilmesi

$$f_{bu} = \left[\left(\frac{M_{DC1}}{S_{üst}} \right) + \left(\frac{M_{DC2} + M_{DW}}{S_{3n_{üst}}} \right) + \left(\frac{M_{LL}}{S_{n_{üst}}} \right) \right]$$

$$f_{bu} = 127 \text{ MPa}$$

$$f_{bu} \leq \phi_f \cdot F_{nc}$$

$$127 < 235 \quad \text{OK}$$

4.4.5.2. Alt Başlık Kontrolleri

Burulma Kontrolü

$$\text{Etkili burulma alanı } A_o = 1799849 \text{ mm}^2$$

$$\text{Basınç bölgesi levha kalınlığı } t_{lf} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Minimum başlık akma gerilmesi } F_{yf} = 235 \text{ Mpa}$$

$$\text{Hiprid faktör } R_h = 1$$

$$\text{Etkili burulma momenti } T = 0,00 \text{ kN.m}$$

Faktörlü yükler altında St. Venant burulma gerilmesi

$$f_v = \frac{T}{2 \cdot A_o \cdot t_{lf}} = 0,00 \text{ Mpa}$$

$$f_{vr} = 0,75 \cdot \phi_v \cdot \frac{F_{yf}}{\sqrt{3}} = 101,76 \text{ Mpa}$$

$$f_v = 0,00$$

$$f_v < f_{vr} \quad \text{OK}$$

$$\Delta = \sqrt{1 - 3 \cdot \left(\frac{f_v}{F_{yc}} \right)^2} = 1,00$$

Çekme Başlığı Levhası Akma Dayanım Gerilmesi

$$F_{yt} = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{nt} = R_h \cdot F_{yt} \cdot \Delta = 235,00 \text{ Mpa}$$

$$F_{nt} = 235 \text{ Mpa}$$

Başlık Gerilmesi

$$f_{bu} = \left[\left(\frac{M_{DC1}}{S_{alt}} \right) + \left(\frac{M_{DC2} + M_{DW}}{S_{3n_alt}} \right) + \left(\frac{M_{LL}}{S_{n_alt}} \right) \right]$$

$$f_{bu} = 151 \text{ MPa}$$

$$f_{bu} \leq \phi_f \cdot F_{nt}$$

$$151 < 235 \quad \text{OK}$$

Kesitin Plastik Moment Kapasitesi

Döşemenin Plastik Basınç Kuvveti

$$P_s = 0,85 \cdot f_c' \cdot b_{eff} \cdot t_s$$

$$P_s = 18381 \text{ kN}$$

Basınç Bölgesindeki Çelik Plastik Basınç Kuvveti

$$P_c = b_{tf} \cdot t_{tf} \cdot F_{yc}$$

$$P_c = 9400 \text{ kN}$$

Gövdenin Çelik Plastik Basınç Kuvveti

$$P_w = D \cdot t_w \cdot F_{yw}$$

$$P_w = 4278 \text{ kN}$$

Çekme Bölgesindeki Çelik Plastik Basınç Kuvveti

$$P_t = b_{bf} \cdot t_{bf} \cdot F_{yt}$$

$$P_t = 16450 \text{ kN}$$

Döşemede Boyuna Giden Alt Betonarme Donatı Plastik Kuvveti

$$P_{rb} = 0 \text{ kN}$$

Döşemede Boyuna Giden Üst Betonarme Donatı Plastik Kuvveti

$$P_{rt} = 0 \quad \text{kN}$$

Durum-I

$$P_t + P_w \geq P_c + P_s + P_{rb} + P_{rt}$$

$$20728 < 27781 \quad \text{Sağlanmadı}$$

Nötr Eksen Mesafesi

$$\bar{Y} = \left(\frac{D}{2} \right) \left[\frac{P_t - P_c - P_s - P_{rt} - P_{rb}}{P_w} + 1 \right]$$

$$\bar{Y} = -750,3 \quad \text{mm}$$

Tabliye Mesafesi

$$d_s = -650 \quad \text{mm}$$

Gövde Mesafesi

$$d_w = 1245 \quad \text{mm}$$

Alt Başlık Mesafesi

$$d_t = 1633 \quad \text{mm}$$

Üst Başlık Mesafesi

$$d_c = -730 \quad \text{mm}$$

Alt Donatı Mesafesi

$$d_{rb} = -660 \quad \text{mm}$$

Üst Donatı Mesafesi

$$d_{rt} = -560 \quad \text{mm}$$

Plastik Moment Kapasitesi

$$M_p = \frac{P_w}{2.D} \left[\bar{Y}^2 + (D - \bar{Y})^2 \right] + [P_s \cdot d_s + P_{rt} \cdot d_{rt} + P_{rb} \cdot d_{rb} + P_c \cdot d_c + P_t \cdot d_t]$$

$$M_p = 15845 \quad \text{kN.m}$$

Durum-II

$$P_t + P_w + P_c \geq P_s + P_{rb} + P_{rt}$$

$$30128 > 18381 \quad \text{Sağlandı}$$

Nötr Eksen Mesafesi

$$\bar{Y} = \left(\frac{t_f}{2} \right) \left[\frac{P_w + P_t - P_s - P_{rt} - P_{rb}}{P_c} + 1 \right]$$

$$\bar{Y} = 25,0 \quad \text{mm}$$

| | | | | |
|---------------------|----------|---|-----|----|
| Tabliye Mesafesi | d_s | = | 125 | mm |
| Gövde Mesafesi | d_w | = | 470 | mm |
| Alt Başlık Mesafesi | d_t | = | 858 | mm |
| Üst Başlık Mesafesi | d_c | = | 45 | mm |
| Alt Donatı Mesafesi | d_{tb} | = | 115 | mm |
| Üst Donatı Mesafesi | d_{tt} | = | 215 | mm |

Plastik Moment Kapasitesi

$$M_p = \frac{P_c}{2.t_{tf}} \left[\bar{Y}^2 + (t_{tf} - \bar{Y})^2 \right] + [P_s.d_s + P_{rt}.d_{rt} + P_{rb}.d_{rb} + P_w.d_w + P_t.d_t]$$

$$M_p = 18515 \text{ kN.m}$$

$$\text{Üst Başlık Plastik Moment Kapasitesi } M_p = \mathbf{15845} \text{ kN.m}$$

Süneklik Kontrolü

$$\text{Kompozit Kesit Yüksekliği } D_t = 1100 \text{ mm}$$

Kompozit kesitin nötr ekseninden plak üstüne olan mesafe

$$D_p = 224,99 \text{ mm}$$

$$0,42.D_t = 462 \text{ mm}$$

$$D_p < 0,42.D_t \quad \text{OK}$$

4.4.6. Yorulma Kontrolleri

Yorulma durumu için kullanılacak faktörsüz ve faktörlü tesirleri Tablo 4.37 ve 4.38'de sunulmaktadır.

Tablo 4.37 : Yorulma durumu için faktörsüz kesit tesirleri (Kutu kiriş)

| Kuvvetler | | DC1 | DC2 | DW | min | max | Birimler |
|-----------------|------|---------|--------|--------|------|---------|----------|
| | | | | | LL | LL | |
| Moment | M | 2627,52 | 594,00 | 518,40 | 0,00 | 3273,12 | kN.m |
| Yanal Moment | Mlat | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | kN.m |
| Burulma momenti | T | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | kN.m |
| Kesme | V | 437,92 | 99,00 | 86,40 | 0,00 | 598,97 | kN |

*Araç dinamik yük etkisi yorulma durumu faktörlü kesit tesirlerinde %15 olarak alınmıştır.

Tablo 4.38 : Yorulma durumu için faktörlü kesit tesirleri (Kutu kiriş)

| | | |
|--------------------|---------|------|
| Mmin = 0,75.(LL) | 0,00 | kN.m |
| Mmax = 0,75.(LL) | 2086,61 | kN.m |

4.4.6.1. Başlık Kontrolü

Maksimum araç yükü momenti $M_{max} = 2086,61$ kN.m

Minimum araç yükü momenti $M_{min} = 0,00$ kN.m

Araç yükü moment değişimi $M_{range} = 2086,61$ kN.m

$$\Delta_f = \frac{M_{range}}{I_{top}} \cdot (y_{alt} - t_{bf}) = 25,95 \text{ Mpa}$$

$$(\Delta F)_n = \left(\frac{A}{N} \right)^{\frac{1}{3}} \geq \frac{1}{2} \cdot (\Delta F)_{TH}$$

C sınıfı köprüler için (ADTT)SL = 745 Tablo C 6.6.1.2.5-1

$n_y = 1$ Tablo 6.6.1.2.5-2

$N = 365.75 \cdot n_y \cdot (ADTT)SL$

$N = 20394375,00$ S 6.6.1.2.5-2

C sınıfı köprüler için $A = 1,44E+12$ Mpa
Tablo 6.6.1.2.5-1

$$\begin{aligned}
 (\Delta F)_{TH} &= 82,7 && \text{Mpa} \\
 &&& \text{Tablo 6.6.1.2.5-3} \\
 (\Delta F)_n &= 41,35 && \text{Mpa} \\
 \Delta_f &< (\Delta F)_n && \text{OK}
 \end{aligned}$$

4.4.6.2. Gövde Kontrolü

Gövde levhalarının başlık levhaları ile birleşim bölgesi kontrolü

Enine Berkitme Aralığı

$$d_o = 2500 \quad \text{mm}$$

$$k = 5 + \frac{5}{(d_o/D)^2} = 5,66$$

$$\frac{D}{t_w} = 45,51$$

$$\frac{D}{t_w} \leq 1,12 \sqrt{\frac{E.k}{F_{yw}}} \Rightarrow C = 1$$

$$1,12 \sqrt{\frac{E.k}{F_{yw}}} \leq \frac{D}{t_w} \leq 1,40 \sqrt{\frac{E.k}{F_{yw}}} \Rightarrow C = \frac{1,12}{(D/t_w)} \cdot \sqrt{\frac{E.k}{F_{yw}}}$$

$$\frac{D}{t_w} \geq 1,40 \sqrt{\frac{E.k}{F_{yw}}} \Rightarrow C = \frac{1,57}{(D/t_w)^2} \cdot \left(\frac{E.k}{F_{yw}} \right)$$

$$1,12 \sqrt{\frac{E.k}{F_{yw}}} = 78,95$$

$$1,40 \cdot \sqrt{\frac{E.k}{F_{yw}}} = 98,68$$

$$C = 1,00$$

Plastik Kesme Kuvveti

$$V_p = 0,58 \cdot F_{yw} \cdot D \cdot t_w = 2481 \quad \text{kN}$$

$$V_n = C \cdot V_p = 2481 \quad \text{kN}$$

$$V_u = 1222 \quad \text{kN}$$

$$V_u < V_{cr} \quad \text{OK}$$

4.4.7. Şehim Kontrolleri

| | | | | |
|----------------------------|-------|---|-------|----|
| Kiriş Boyu | L | = | 24000 | mm |
| Hareketli Yük Şehim Sınırı | L/800 | = | 30,00 | mm |
| Zati Yük Şehim Sınırı | L/500 | = | 48,00 | mm |

4.4.7.1. Hareketli Yük Şehim Kontrolleri

H30-S24 Kamyon Yüklemesinden Oluşan Şehim

| | | | | |
|--|----------------|---|--------|----|
| X1, X2 ve X3 mesafeleri Kiriş başlangıcına olan mesafelerdir. | 1. Aks Yüğü | = | 60,00 | kN |
| | X ₁ | = | 16250 | mm |
| | d ₁ | = | 1,41 | mm |
| | 2. Aks Yüğü | = | 240,00 | kN |
| | X ₂ | = | 12000 | mm |
| | d ₂ | = | 6,75 | mm |
| | 3. Aks Yüğü | = | 240,00 | kN |
| | X ₃ | = | 7750 | mm |
| | d ₃ | = | 5,63 | mm |

| | | | | |
|------------------------------|------------------|---|-------|----|
| Kamyon Yüğünden Oluşan Şehim | Δ_{truck} | = | 13,78 | mm |
|------------------------------|------------------|---|-------|----|

Eşdeğer Şerit Yüklemesinden Oluşan Şehim

| | | | | |
|------------------|----------------|---|-------|----|
| Sabit Yaylı Yüğü | g | = | 15,00 | kN |
| | d ₁ | = | 6,33 | mm |

| | | | | |
|-------------|----------------|---|--------|----|
| Moment için | P | = | 135,00 | kN |
| | d ₁ | = | 3,80 | mm |

| | | | | |
|----------------------------------|-----------------|---|-------|----|
| Şerit Yüklemesinden Oluşan Şehim | Δ_{lane} | = | 10,12 | mm |
|----------------------------------|-----------------|---|-------|----|

Kontrol

| | | | | |
|--------------------|----------------|---|------|------|
| Şerit Sayısı | N _L | = | 2 | |
| Kiriş Adedi | N _b | = | 2 | adet |
| Şerit Yüğü Faktörü | m | = | 1,00 | |

| | | | | |
|-----------------------|---------------------------------|---|------|--|
| Dağılım Faktör Hesabı | $g\Delta = \frac{N_L}{N_B} . m$ | = | 1,00 | |
|-----------------------|---------------------------------|---|------|--|

$$\begin{aligned} \text{Kamyon Yükünden Oluşan Maksimum Sehim} &= [1 + IM] \cdot (g\Delta) \cdot (\Delta_{truck}) \\ &= 18,33 \quad \text{mm} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Şerit ve Kamyon Yükünden Oluşan Maksimum Sehim} &= 0,25 \cdot \Delta_{truck_max} + (g\Delta) \cdot (\Delta_{lane}) \\ &= 14,70 \quad \text{mm} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

4.4.7.2. Zati Yük Sehim Kontrolleri

DC1-Zati Yük

$$\begin{aligned} \text{Kiriş Zati Ağırlığı} &g_1 = 11,49 \quad \text{kN/m} \\ \text{Tabliye Zati Yüğü} &g_2 = 25,00 \quad \text{kN/m} \end{aligned}$$

DC1 Zati Yükünden Oluşan Sehim

$$\Delta_{DC1} = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I}$$

$$\Delta_{DC1} = 35,02 \quad \text{mm}$$

DC2-Zati Yük

$$\begin{aligned} \text{Kaldırım Zati Yüğü} &g_3 = 6,25 \quad \text{kN/m} \\ \text{Korkuluk Bariyer Yüğü} &g_4 = 2 \quad \text{kN/m} \end{aligned}$$

DC2 Zati Yükünden Oluşan Sehim

$$\Delta_{DC2} = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I_{3n}}$$

$$\Delta_{DC2} = 4,92 \quad \text{mm}$$

DW-Zati Yük

$$\text{Kaplama Zati Yüğü} \quad g_5 = 7,20 \quad \text{kN/m}$$

DC2 Zati Yükünden Oluşan Sehim

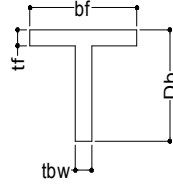
$$\Delta_{DW} = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I_{3n}}$$

$$\Delta_{DW} = 4,29 \quad \text{mm}$$

$$\text{Toplam Zati Yük Sehimi} \quad \Delta_t = 44 \quad \text{mm} \quad \text{OK}$$

4.4.8. Berkitme Hesapları

4.4.8.1. Boyuna Berkitme Dizaynı



Şekil 4.32: Boyuna berkitme kesiti

| | | | | |
|--------------------------------------|----------|---|------|----|
| Boyuna Berkitme Yüksekliği | D_b | = | 220 | mm |
| Boyuna Berkitme Üst Başlık Genişliği | b_f | = | 200 | mm |
| Boyuna Berkitme Üst Başlık Kalınlığı | t_f | = | 25 | mm |
| Boyuna Berkitme Gövde Kalınlığı | t_{bw} | = | 25 | mm |
| Boyuna Berkitme Mesafesi | w | = | 1000 | mm |
| Boyuna Berkitme Adedi | n | = | 1 | |

Projelendirme Genişlik Kontrolü

$$b_l \leq 0,48 \cdot t_f \cdot \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}}$$

$$100,00 \leq 355,45 \quad \text{OK}$$

4.4.8.2. İç Diyafram Dizaynı

| | Dayanım-I | DC1 | DC2 | DW | min | max | Birimler |
|-----------------|-----------|--------|--------|--------|------|---------|----------|
| | | | | | LL | LL | |
| Burulma momenti | T | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | kN.m |
| Kesme | V | 547,40 | 123,75 | 129,60 | 0,00 | 1048,20 | kN |

| | | | | |
|-------------------------------------|----------|---|---------|-----------------|
| Seçilen İç Diyafram Et Kalınlığı | t | = | 20 | mm |
| Etkili Burulma Alanı (Noncomposite) | A_o | = | 1616658 | mm ² |
| Minimum başlık akma gerilmesi | F_{yf} | = | 235,00 | Mpa |
| Hiprid faktör | R_h | = | 1,00 | |

| | | | | |
|------------------------|-----|---|------|------|
| Etkili burulma momenti | T | = | 0,00 | kN.m |
|------------------------|-----|---|------|------|

Faktörlü yükler altında St. Venant burulma gerilmesi

$$f_v = \frac{T}{2 \cdot A_o} = 0,00 \quad \text{Mpa}$$

| | | | | |
|----------------------------|-------|---|------|----|
| St. Venant burulma kuvveti | V_T | = | 0,00 | kN |
|----------------------------|-------|---|------|----|

$$(V_T)_V = 0,00 \quad \text{kN}$$

| | | | | |
|----------------------------------|----------|---|---------|-----------------|
| Etkili Kesme Kuvveti | V_b | = | 800,75 | kN |
| Etkili Burulma Alanı (Composite) | A_o | = | 1799849 | mm ² |
| Minimum başlık akma gerilmesi | F_{yf} | = | 235,00 | Mpa |
| Hiprid faktör | R_h | = | 1,00 | |
| Etkili burulma momenti | T | = | 0,00 | kN.m |

Faktörlü yükler altında St. Venant burulma gerilmesi

$$f_v = \frac{T}{2.A_o} = 0,00 \text{ Mpa}$$

| | | | | |
|----------------------------|-----------|---|--------|----|
| St. Venant burulma kuvveti | V_T | = | 0,00 | kN |
| | $(V_T)_v$ | = | 0,00 | kN |
| Etkili Kesme Kuvveti | V_b | = | 800,75 | kN |

Burulma Momentinden Oluşan Kesme Gerilmesi

$$(f_v)_T = 0,00 \text{ Mpa}$$

Eğilme Kuvvetinden Oluşan Ortalama Kesme Gerilmesi

$$(f_v)_b = 0,10 \text{ Mpa}$$

$$f_v = 0,10 \text{ Mpa}$$

Huber-von Mises-Hencky Akma Sınır Kontrolü

$$\sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2} \leq F_y$$

$$\text{Maksimum ve minimum Diyafram Gerilmeleri } \sigma_1, \sigma_2 = \left(\frac{\sigma_y + \sigma_z}{2} \right) \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_y - \sigma_z}{2} \right)^2 + f_v^2}$$

$$\sigma_y, \sigma_z = 0$$

$$\sigma_1, \sigma_2 = 0,10$$

$$0,17 \leq 235,00$$

$$\text{Plastik Kesme Kuvveti } V_p = 0,58.F_{yw}.D.t = 2481 \text{ kN}$$

$$V_n = C.V_p = 2481 \text{ kN}$$

$$V_u = 1849 \text{ kN}$$

$$V_u < V_n$$

OK

4.4.9. Kesme Saplama Hesapları

4.4.9.1. Geometrik Kesit Kontroller

| | | | | | |
|---------------------|-------|---|-----------------|----|----|
| Saplama çapı | d_s | = | 20,00 | mm | |
| Saplmama yüksekliği | h_s | = | 100,00 | mm | |
| Saplama çapı | d_s | < | $\frac{h_s}{4}$ | | |
| Saplama çapı | d_s | < | 25,00 | mm | OK |
| Saplmama yüksekliği | h_s | < | $t_s - 50$ | | |
| Saplmama yüksekliği | h_s | < | 150,00 | mm | OK |

4.4.9.2. Yorulma ve Göçme Kontrolleri

| | | Min | Max | |
|--------------------|---|------|--------|------|
| Faktörsüz tesirler | | LL | LL | |
| Burulma momenti | T | 0,00 | 0,00 | kN.m |
| Kesme | V | 0,00 | 598,97 | kN |

| | | | | |
|--------------------------------------|-----------|---|-------------|-----------------|
| Efektif Tabliye Genişliği | b_{eff} | = | 4325,00 | mm |
| Tabliye Kalınlığı | t_s | = | 200,00 | mm |
| Tabliyenin Kesit Nötr Eksenine Uzkl. | h' | = | 347,03 | mm |
| Tabliyenin Statik Momenti | Q | = | 42883071,65 | mm ³ |
| Kesitin atalet momenti | I | = | 49686817788 | mm ⁴ |

| | | Min | Max | |
|-----------------|---|------|--------|------|
| Yorulma Durumu | | LL | LL | |
| Burulma momenti | T | 0,00 | 0,00 | kN.m |
| Kesme | V | 0,00 | 449,23 | kN |

$$V = 449,23 \text{ kN.m}$$

$$\text{Boyuna doğrultuda kesme etkisi} \quad V_{fat} = \frac{V \cdot Q}{I} = 388 \text{ N / mm}$$

$$\text{Burulma etkili alanı} \quad A_o = 819269 \text{ mm}^2$$

$$\text{Etkili burulma momenti} \quad T_{fat} = 0,00 \text{ kN.m}$$

$$F_{fat} = \frac{T_{fat}}{2 \cdot A_o} = 0,00 \text{ N / mm}$$

$$V_{sr} = \sqrt{(V_{fat})^2 + (F_{fat})^2} = 388 \text{ N / mm}$$

$$\text{Saplama kesme dayanımı} \quad Z_r = \frac{38 \cdot d_s^2}{2} = 7600 \text{ N}$$

| | | | | | | |
|-------------------------------------|-------|---|---------------------------------------|------|--------|----|
| Enine Doğrultudaki Saplama Aralığı | S_t | = | 200,00 | mm | | |
| Boyuna Doğrultuda Saplama Aralığı | p | = | 200,00 | mm | | |
| Enine doğrultudaki saplama adeti | n_w | = | 21,63 | adet | | |
| | | | $p \leq \frac{n_w \cdot Z_r}{V_{sr}}$ | | | |
| | | | 200,00 | < | 423,89 | OK |
| Boyuna doğrultudaki saplama aralığı | p | = | 200,00 | | | |
| | p | < | 600,00 | mm | OK | |
| | p | > | $6 \cdot d_s = 120,00$ | mm | OK | |
| Enine doğrultudaki saplama aralığı | S_t | = | 200,00 | | | |
| | S_t | > | $4 \cdot d_s = 80,00$ | mm | OK | |

Enine Yön Saplama Aralığı Kontrolü

| Faktörsüz tesirler | | | | Min | Max | |
|--------------------------------|------|------|----------|-------|-----------|-----------------|
| | DC1 | DC2 | DW | LL | LL | |
| Burulma momenti T | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | kN.m |
| Etkili Burulma Alanı | | | A_o | = | 819269,25 | mm ² |
| Basınç Bölgesi Levha Kalınlığı | | | t_{bf} | = | 35,00 | mm |
| Hiprid Faktör | | | R_h | = | 1,00 | |
| Faktörlü tesirler | | | | Min | Max | |
| Dayanım I | DC1 | DC2 | DW | LL+IM | LL+IM | |
| Burulma momenti T | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | kN.m |
| Etkili burulma momenti | | | T | = | 0,00 | kN.m |

Faktörlü Yükler Altında St. Venant Burulma Gerilmesi

| | | | | |
|--------------------------|---|---|-------|-----|
| | $f_v = \frac{T}{2 \cdot A_o \cdot t_{if}}$ | = | 0,00 | Mpa |
| Basınç Başlığı Kalınlığı | t_{if} | = | 40,00 | mm |
| | k | = | 4,00 | |
| | k_s | = | 5,34 | |
| | $\Delta = \sqrt{1 - 3 \cdot \left(\frac{f_v}{F_{yc}} \right)^2}$ | = | 1,00 | |

$$R_1 = \frac{0,57}{\sqrt{\frac{1}{2} \cdot \left[\Delta + \sqrt{\Delta^2 + 4 \cdot \left(\frac{f_v}{F_{yc}} \right)^2 \cdot \left(\frac{k}{k_s} \right)^2} \right]}} = 0,57$$

| | | | | |
|------------------------------------|-------|---|--------|----|
| Enine Doğrultudaki Saplama Aralığı | S_t | = | 200,00 | mm |
| Boyuna Doğrultuda Saplama Aralığı | p | = | 200,00 | mm |

$$S_t \leq \frac{R_1 \cdot t_f}{\sqrt{\frac{F_{yf}}{k \cdot E}}} = 1350,69$$

$$200,00 < 1350,69 \quad \text{OK}$$

4.4.9.3. Dayanım Kontrolleri

| | | | | |
|---------------------------------|----------|---|--------|-----------------|
| Saplama alanı | A_{sc} | = | 314,16 | mm ² |
| Saplama Minimum Çekme Gerilmesi | F_u | = | 420,00 | Mpa |

$$\text{Nominal Saplama Kesme Dayanımı} \quad Q_n = 0,5 A_{sc} \cdot \sqrt{f'_c \cdot E_c} \leq A_{sc} \cdot F_u$$

$$Q_n = 136035 \quad \text{N}$$

$$A_{sc} \cdot F_u = 131947 \quad \text{N} \quad \text{OK}$$

$$Q_n = 131947 \quad \text{N}$$

$$\text{Saplama kesme dayanımı} \quad Q_r = \phi_{sc} \cdot Q_n$$

$$\text{Kesme saptaması gerilme faktörü} \quad \phi_{sc} = 0,85$$

$$Q_r = 112154,86 \quad \text{N}$$

Kenar ayak ve taşıt yükü momentinin pozitif maksimum olduğu nokta arasındaki uzaklık

$$L1 = 12000 \quad \text{mm}$$

$$\text{Minimum Saplama Sayısı} \quad n_{\text{tot}} = \frac{P}{Q_r}$$

$$\text{Boyuna doğrultuda kesme kuvveti} \quad P_{1p} = 0,55 \cdot f'_c \cdot b_{\text{eff}} \cdot t_s$$

$$\text{Etkili tabliye genişliği} \quad b_{\text{eff}} = 4325,00 \quad \text{mm}$$

$$\text{Etkili tabliye yüksekliği} \quad t_s = 200,00 \quad \text{mm}$$

$$P_{1p} = 11893750,00 \quad \text{N}$$

| | | | |
|------------------------------------|---|------|----|
| Boyuna doğrultuda kesme kuvveti | $P_{2p} = F_{yw} \cdot D \cdot t_w + F_{yt} \cdot b_{fi} \cdot t_{fi} + F_{yc} \cdot b_{fc} \cdot t_{fc}$ | | |
| | $P_{2p} = 25428347,88$ | N | |
| | $P_p = \min (P_{1p}, P_{2p})$ | | |
| | $P_p = 11893750,00$ | N | |
| Minimum saplama sayısı | $n_{tot} = 106$ | adet | |
| Enine doğrultudaki saplama aralığı | $S_t = 200,00$ | mm | |
| Boyuna doğrultuda saplama aralığı | $p = 200,00$ | mm | |
| Enine doğrultudaki saplama adeti | $n_w = 21,63$ | adet | |
| Saplama sıra sayısı | $n_1 = \frac{n_{tot}}{n_w} = 4,90$ | adet | |
| | $p < \frac{L1}{n_1}$ | | |
| | $200,00 < 2448,11$ | | OK |
| | $p < 600,00$ | mm | OK |
| | $p > 6 \cdot d_s = 120,00$ | mm | OK |
| Enine doğrultudaki saplama aralığı | $S_t = 200,00$ | | |
| | $S_t > 4 \cdot d_s = 80,00$ | mm | OK |

Taşıt yükü momentinin pozitif maksimum olduğu nokta ile sıfır olduğu nokta arasındaki uzaklık

| | | | |
|---------------------------------|---|----|--|
| | $L2 = 12000$ | mm | |
| Minimum Saplama Sayısı | $n_{tot} = \frac{P}{Q_r}$ | | |
| Boyuna doğrultuda kesme kuvveti | $P_{1p} = 0,55 \cdot f'_c \cdot b_{eff} \cdot t_s$ | | |
| Etkili tabliye genişliği | $b_{eff} = 4325,00$ | mm | |
| Etkili tabliye yüksekliği | $t_s = 200,00$ | mm | |
| | $P_{1p} = 11893750,00$ | N | |
| Boyuna doğrultuda kesme kuvveti | $P_{2p} = F_{yw} \cdot D \cdot t_w + F_{yt} \cdot b_{fi} \cdot t_{fi} + F_{yc} \cdot b_{fc} \cdot t_{fc}$ | | |
| | $P_{2p} = 25428347,88$ | N | |

| | | | | |
|------------------------------------|-----------------------------|---|-------------------------|-------|
| | P_p | = | $\min (P_{1p}, P_{2p})$ | |
| | P_p | = | 11893750,00 | N |
| Minimum saplama sayısı | n_{tot} | = | 106 | adet |
| Enine doğrultudaki saplama aralığı | S_t | = | 200,00 | mm |
| Boyuna doğrultuda saplama aralığı | p | = | 200,00 | mm |
| Enine doğrultudaki saplama adeti | n_w | = | 21,63 | adet |
| Saplama sıra sayısı | $n_l = \frac{n_{tot}}{n_w}$ | = | 4,90 | adet |
| | | | $p < \frac{L1}{n_l}$ | |
| | 200,00 | < | 2448,11 | OK |
| | p | < | 600,00 | mm OK |
| | p | > | $6.d_s = 120,00$ | mm OK |
| Enine doğrultudaki saplama aralığı | S_t | = | 200,00 | |
| | S_t | > | $4.d_s = 80,00$ | mm OK |

Taşıt yükü momentinin sıfır olduğu noktanın mesnete uzaklığı

| | | | | |
|---------------------------------|-----------|---|--|----|
| | $L3$ | = | 12000 | mm |
| Minimum saplama sayısı | n_{tot} | = | $\frac{P}{Q_r}$ | |
| Boyuna doğrultuda kesme kuvveti | P_{1p} | = | $0,55 \cdot f'_c \cdot b_{eff} \cdot t_s$ | |
| Etkili tabliye genişliği | b_{eff} | = | 4325,00 | mm |
| Etkili tabliye yüksekliği | t_s | = | 200,00 | mm |
| | P_{1p} | = | 11893750,00 | N |
| Boyuna doğrultuda kesme kuvveti | P_{2p} | = | $F_{yw} \cdot D \cdot t_w + F_{yt} \cdot b_{ft} \cdot t_{ft} + F_{yc} \cdot b_{fc} \cdot t_{fc}$ | |
| | P_{2p} | = | 25428347,88 | N |
| | P_p | = | $\min (P_{1p}, P_{2p})$ | |
| | P_p | = | 11893750,00 | N |

| | | | | |
|------------------------------------|-----------------------------|---|--|-------|
| Boyuna doğrultuda kesme kuvveti | P_{1n} | = | $0,45 \cdot f'_c \cdot b_{eff} \cdot t_s$ | |
| | P_{1n} | = | 9731250,00 | N |
| Boyuna doğrultuda kesme kuvveti | P_{2n} | = | $F_{yw} \cdot D \cdot t_w + F_{yt} \cdot b_{ft} \cdot t_{ft} + F_{ye} \cdot b_{fe} \cdot t_{fe}$ | |
| | P_{2n} | = | 25428347,88 | N |
| | P_n | = | $\min (P_{1n}, P_{2n})$ | |
| | P_n | = | 9731250,00 | N |
| | $P_t = P_p + P_n$ | = | 21625000,00 | N |
| Minimum saplama sayısı | n_{tot} | = | 193 | adet |
| Enine doğrultudaki saplama aralığı | S_t | = | 200,00 | mm |
| Boyuna doğrultuda saplama aralığı | p | = | 200,00 | mm |
| Enine doğrultudaki saplama adeti | $n_w = \frac{b_{ef}}{S_t}$ | = | 22,00 | adet |
| Saplama sıra sayısı | $n_1 = \frac{n_{tot}}{n_w}$ | = | 9,00 | adet |
| | p | = | 200,00 | mm |
| | $\frac{L3}{n_1}$ | = | 1333,33 | mm |
| | p | < | $\frac{L3}{n_1}$ | OK |
| | p | < | 600,00 | mm OK |
| | p | < | $6 \cdot d_s = 120,00$ | mm OK |
| Enine doğrultudaki saplama aralığı | S_t | = | 200,00 | |
| | S_t | > | $4 \cdot d_s = 80,00$ | mm OK |

4.5. YAPILAN HESAPLAMALAR

I ve kutu kesitli çelik-betonarme kompozit köprü kirişleri, ACIB ve ACBB adını verdiğimiz excel tabanlı programlar ile analiz edilmiştir. Analizlerde tek, iki ve üç açıklıklı durumlara ait hesaplar yapılmıştır. Seçilen profil boyutları belirlenen her boy için ayrı ayrı kontrol edilmiştir. Analizlerde 16m'den 32m'ye kadar ikişer metre artımlarla 9 farklı açıklık için kontroller yapılmıştır. Tek, iki ve üç açıklıklı sistemlerde kutu ve I kesitli olmak üzere toplam 54 üstyapı tipi incelenerek tasarımları yapılmıştır. İki ve üç açıklıklı sistemlerde, açıklıkların aynı uzunlukta olduğu kabulü yapılmıştır.

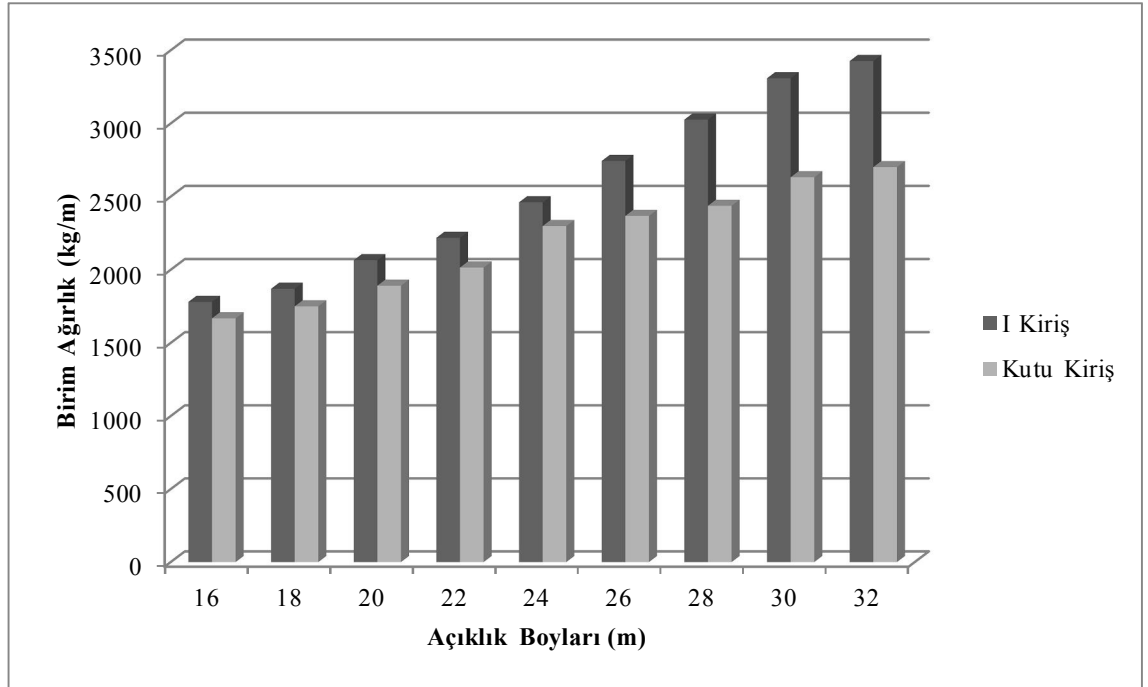
Yapılan bilgisayar analizleri sonucu her bir açıklık için ayrı olmak üzere kiriş kesit özellikleri ve yaklaşık birim metre için çelik ağırlıkları hesaplanarak tablolar oluşturulmuştur. I ve kutu kesitler için hazırlanan tablolar sonucu iki kiriş tipi arasında kıyaslamalı grafikler yapılarak aralarındaki farklar gözlemlenmiştir. Hesaplar sonucu tek açıklık için elde edilen kesit özelliklerine ait bilgiler I kesitli kiriş için Tablo 4.39, kutu kesitli kiriş için ise Tablo 4.40'de görülmektedir. I ve kutu kesitli kirişlerin tek açıklıklı sistem için birim ağırlık kıyaslama grafiği ise Şekil 4.33'de gözlemlenmektedir.

Tablo 4.39 : I-kesitli kiriş için kesit özellikleri (tek açıklık)

| Açıklık Boyu | Kesit Yüks. | Üst Başlık Genş. | Üst Başlık Et Kalın. | Gövde Et Kalın. | Alt Başlık Geniş. | Alt Başlık Et Kalın. | Kesit Alanı | Kesit Ağr. | Kiriş Ad. | Birim Ağr. |
|--------------|-------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------|----------------|------------|
| L (m) | h (mm) | b _{tf} (mm) | t _{tf} (mm) | t _w (mm) | b _{bf} (mm) | t _{bf} (mm) | A (cm ²) | (kg/m) | N _b | (kg/m) |
| 16 | 750 | 400 | 30 | 20 | 400 | 30 | 378,0 | 296,7 | 6 | 1780,4 |
| 18 | 750 | 400 | 30 | 20 | 400 | 35 | 397,0 | 311,6 | 6 | 1869,9 |
| 20 | 800 | 450 | 30 | 20 | 450 | 35 | 439,5 | 345,0 | 6 | 2070,0 |
| 22 | 850 | 450 | 35 | 20 | 450 | 35 | 471,0 | 369,7 | 6 | 2218,4 |
| 24 | 900 | 450 | 35 | 25 | 450 | 35 | 522,5 | 410,2 | 6 | 2461,0 |
| 26 | 1000 | 500 | 35 | 25 | 500 | 35 | 582,5 | 457,3 | 6 | 2743,6 |
| 28 | 1100 | 550 | 35 | 25 | 550 | 35 | 642,5 | 504,4 | 6 | 3026,2 |
| 30 | 1200 | 600 | 35 | 25 | 600 | 35 | 702,5 | 551,5 | 6 | 3308,8 |
| 32 | 1300 | 600 | 35 | 25 | 600 | 35 | 727,5 | 571,1 | 6 | 3426,5 |

Tablo 4.40 : Kutu kesitli kiriş için kesit özellikleri (tek açıklık)

| Açıklık Boyu | Kesit Yüks. | Üst Başlık Geniş. | Üst Başlık Et Kalın. | Gövde Et Kalın. | Alt Başlık Geniş. | Alt Başlık Et Kalın. | Kesit Alanı | Kesit Ağr. | Kiriş Adedi | Birim Ağr. |
|--------------|-------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------|----------------|------------|
| L (m) | h (mm) | b _{tr} (mm) | t _{tr} (mm) | t _w (mm) | b _{br} (mm) | t _{br} (mm) | A (cm ²) | (kg/m) | N _b | (kg/m) |
| 16 | 700 | 300 | 30 | 20 | 2000 | 30 | 1062,5 | 834,0 | 2 | 1668,1 |
| 18 | 750 | 350 | 30 | 20 | 2000 | 30 | 1114,5 | 874,9 | 2 | 1749,8 |
| 20 | 800 | 400 | 35 | 20 | 2000 | 30 | 1204,4 | 945,4 | 2 | 1890,9 |
| 22 | 900 | 450 | 35 | 20 | 2000 | 30 | 1283,5 | 1007,6 | 2 | 2015,1 |
| 24 | 900 | 500 | 40 | 20 | 2000 | 35 | 1464,1 | 1149,3 | 2 | 2298,7 |
| 26 | 1000 | 500 | 40 | 20 | 2000 | 35 | 1508,2 | 1184,0 | 2 | 2368,0 |
| 28 | 1100 | 500 | 40 | 20 | 2000 | 35 | 1552,4 | 1218,6 | 2 | 2437,2 |
| 30 | 1200 | 600 | 40 | 20 | 2000 | 35 | 1676,5 | 1316,1 | 2 | 2632,1 |
| 32 | 1300 | 600 | 40 | 20 | 2000 | 35 | 1720,7 | 1350,7 | 2 | 2701,4 |



Şekil 4.33: Kutu ve I kesitli kiriş birim ağırlık kıyaslaması (tek açıklık)

İki açıklık için elde edilen kesit özelliklerine ait bilgiler ise I kesitli kiriş için Tablo 4.41, kutu kesitli kiriş için ise Tablo 4.42'de görülmektedir. I ve kutu kesitli kirişlerin

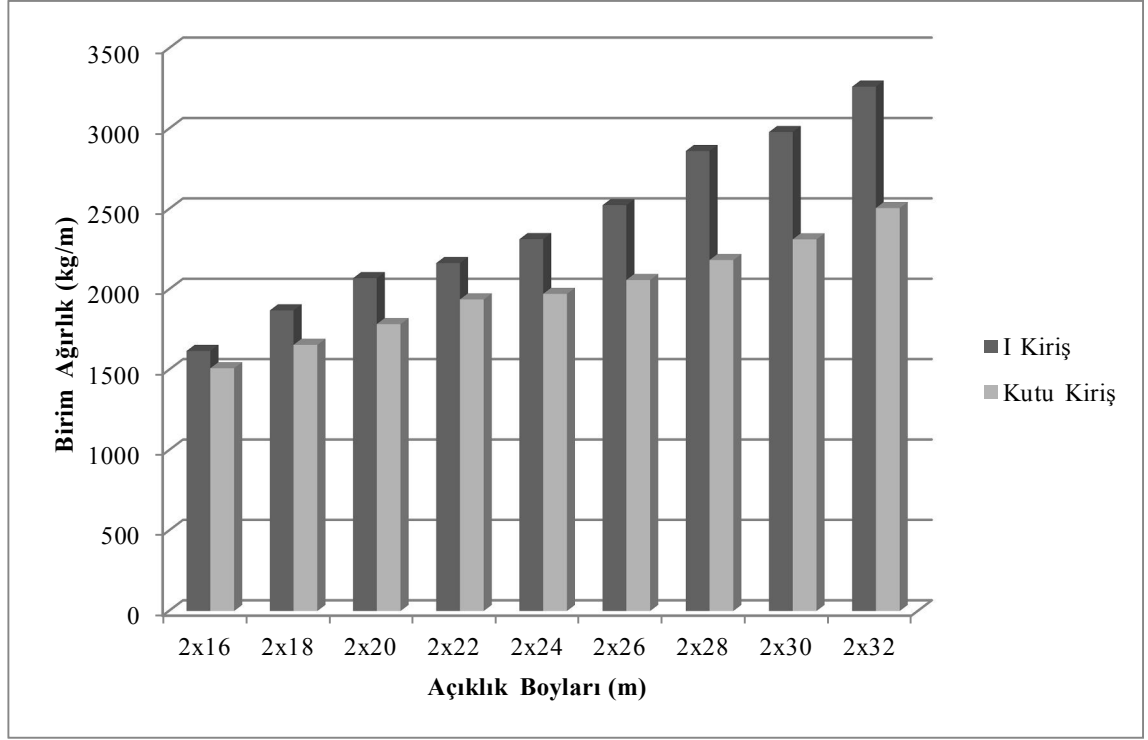
iki açıklıklı sistem için birim ağırlık kıyaslama grafiği ise Şekil 4.34'de gözlemlenmektedir.

Tablo 4.41 : I-kesitli kiriş için kesit özellikleri (iki açıklık)

| Açıklık Boyu | Kesit Yüks. | Üst Başlık Genş. | Üst Başlık Et Kalın. | Gövde Et Kalın. | Alt Başlık Geniş. | Alt Başlık Et Kalın. | Kesit Alanı | Kesit Ağır. | Kiriş Ad. | Birim Ağır. |
|--------------|-------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------|----------------|-------------|
| L (m) | h (mm) | b _{if} (mm) | t _{if} (mm) | t _w (mm) | b _{bf} (mm) | t _{bf} (mm) | A (cm ²) | (kg/m) | N _b | (kg/m) |
| 2x16 | 750 | 400 | 30 | 15 | 400 | 30 | 343,5 | 269,648 | 6 | 1617,9 |
| 2x18 | 750 | 400 | 30 | 20 | 400 | 35 | 397,0 | 311,645 | 6 | 1869,9 |
| 2x20 | 800 | 450 | 30 | 20 | 450 | 35 | 439,5 | 345,008 | 6 | 2070,0 |
| 2x22 | 900 | 450 | 30 | 20 | 450 | 35 | 459,5 | 360,708 | 6 | 2164,2 |
| 2x24 | 950 | 450 | 35 | 20 | 450 | 35 | 491,0 | 385,435 | 6 | 2312,6 |
| 2x26 | 1000 | 500 | 35 | 20 | 500 | 35 | 536,0 | 420,760 | 6 | 2524,6 |
| 2x28 | 1100 | 500 | 35 | 25 | 500 | 35 | 607,5 | 476,888 | 6 | 2861,3 |
| 2x30 | 1200 | 500 | 35 | 25 | 500 | 35 | 632,5 | 496,513 | 6 | 2979,1 |
| 2x32 | 1300 | 550 | 35 | 25 | 550 | 35 | 692,5 | 543,613 | 6 | 3261,7 |

Tablo 4.42 : Kutu kesitli kiriş için kesit özellikleri (iki açıklık)

| Açıklık Boyu | Kesit Yüks. | Üst Başlık Genş. | Üst Başlık Et Kalın. | Gövde Et Kalın. | Alt Başlık Geniş. | Alt Başlık Et Kalın. | Kesit Alanı | Kesit Ağır. | Kiriş Ad. | Birim Ağır. |
|--------------|-------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------|----------------|-------------|
| L (m) | h (mm) | b _{if} (mm) | t _{if} (mm) | t _w (mm) | b _{bf} (mm) | t _{bf} (mm) | A (cm ²) | (kg/m) | N _b | (kg/m) |
| 2x16 | 700 | 250 | 30 | 15 | 2000 | 30 | 961,8 | 755,1 | 2 | 1510,1 |
| 2x18 | 750 | 250 | 30 | 20 | 2000 | 30 | 1054,5 | 827,8 | 2 | 1655,6 |
| 2x20 | 800 | 350 | 30 | 20 | 2000 | 30 | 1136,6 | 892,2 | 2 | 1784,5 |
| 2x22 | 800 | 350 | 30 | 20 | 2000 | 35 | 1234,4 | 969,0 | 2 | 1938,0 |
| 2x24 | 850 | 350 | 30 | 20 | 2000 | 35 | 1256,5 | 986,3 | 2 | 1972,06 |
| 2x26 | 900 | 350 | 35 | 20 | 2000 | 35 | 1311,3 | 1029,4 | 2 | 2058,8 |
| 2x28 | 1000 | 400 | 35 | 20 | 2000 | 35 | 1390,5 | 1091,5 | 2 | 2183,0 |
| 2x30 | 1100 | 400 | 40 | 20 | 2000 | 35 | 1472,4 | 1155,8 | 2 | 2311,6 |
| 2x32 | 1200 | 500 | 40 | 20 | 2000 | 35 | 1596,5 | 1253,3 | 2 | 2506,5 |



Şekil 4.34: Kutu ve I kesitli kiriş birim ağırlık kıyaslaması (iki açıklık)

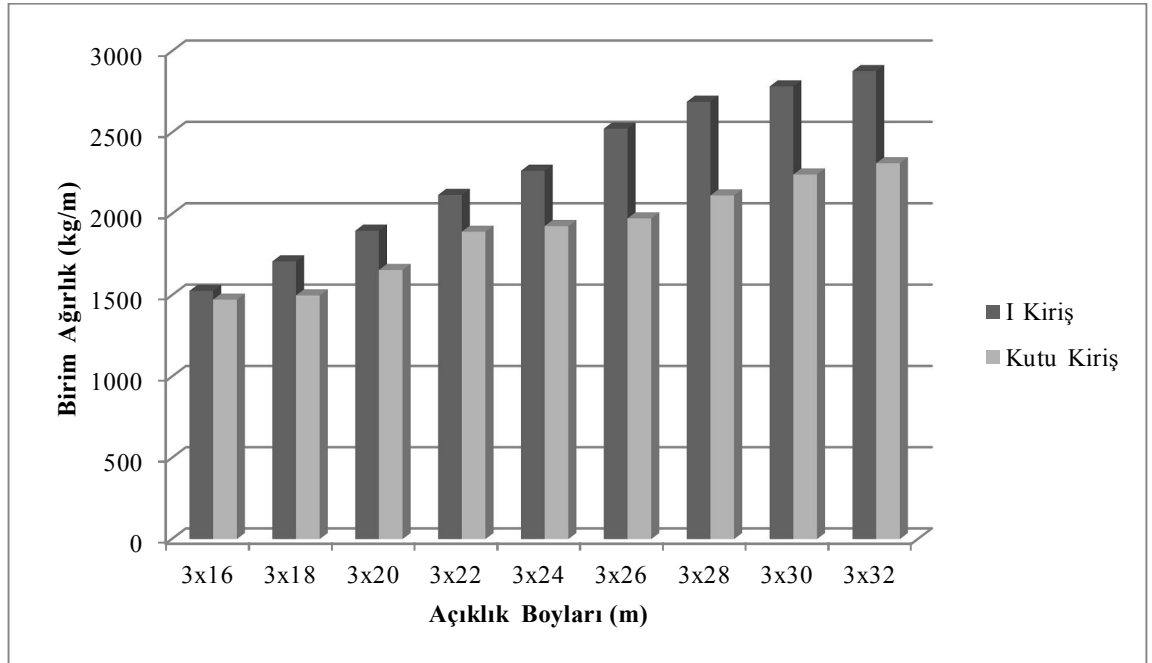
Üç açıklık için elde edilen kesit özelliklerine ait bilgiler ise I kesitli kiriş için Tablo 4.43, kutu kesitli kiriş için ise Tablo 4.44’de görülmektedir. I ve kutu kesitli kirişlerin üç açıklıklı sistem için birim ağırlık kıyaslama grafiği ise Şekil 4.35’de gözlemlenmektedir.

Tablo 4.43 : I-kesitli kiriş için kesit özellikleri (üç açıklık)

| Açıklık Boyu | Kesit Yüks. | Üst Başlık Geniş. | Üst Başlık Et Kalın. | Gövde Et Kalın. | Alt Başlık Geniş. | Alt Başlık Et Kalın. | Kesit Alanı | Kesit Ağırl. | Kiriş Ad. | Birim Ağırl. |
|--------------|-------------|-------------------|----------------------|-----------------|-------------------|----------------------|----------------------|--------------|-----------|--------------|
| L (m) | h (mm) | b_{bf} (mm) | t_{bf} (mm) | t_w (mm) | b_{bf} (mm) | t_{bf} (mm) | A (cm ²) | (kg/m) | N_b | (kg/m) |
| 3x16 | 750 | 400 | 25 | 15 | 400 | 30 | 324,3 | 254,5 | 6 | 1527,2 |
| 3x18 | 750 | 400 | 30 | 15 | 400 | 35 | 362,8 | 284,8 | 6 | 1708,6 |
| 3x20 | 800 | 450 | 30 | 15 | 450 | 35 | 402,8 | 316,2 | 6 | 1897,0 |
| 3x22 | 850 | 450 | 30 | 20 | 450 | 35 | 449,5 | 352,9 | 6 | 2117,1 |
| 3x24 | 900 | 450 | 35 | 20 | 450 | 35 | 481,0 | 377,6 | 6 | 2265,5 |
| 3x26 | 1000 | 500 | 35 | 20 | 500 | 35 | 536,0 | 420,8 | 6 | 2524,6 |
| 3x28 | 1000 | 550 | 35 | 20 | 550 | 35 | 571,0 | 448,2 | 6 | 2689,4 |
| 3x30 | 1100 | 550 | 35 | 20 | 550 | 35 | 591,0 | 463,9 | 6 | 2783,6 |
| 3x32 | 1200 | 550 | 35 | 20 | 550 | 35 | 611,0 | 479,6 | 6 | 2877,8 |

Tablo 4.44 : Kutu kesitli kiriş için kesit özellikleri (üç açıklık)

| Açıklık Boyu | Kesit Yüks. | Üst Başlık Geniş. | Üst Başlık Et Kalın. | Gövde Et Kalın. | Alt Başlık Geniş. | Alt Başlık Et Kalın. | Kesit Alanı | Kesit Ağırl. | Kiriş Ad. | Birim Ağırl. |
|--------------|-------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------|----------------|--------------|
| L (m) | h (mm) | b _{tf} (mm) | t _{tf} (mm) | t _w (mm) | b _{bf} (mm) | t _{bf} (mm) | A (cm ²) | (kg/m) | N _b | (kg/m) |
| 3x16 | 700 | 250 | 25 | 15 | 2000 | 30 | 938,5 | 736,7 | 2 | 1473,5 |
| 3x18 | 750 | 250 | 25 | 15 | 2000 | 30 | 955,1 | 749,7 | 2 | 1499,4 |
| 3x20 | 750 | 250 | 30 | 20 | 2000 | 30 | 1054,5 | 827,8 | 2 | 1655,6 |
| 3x22 | 800 | 300 | 30 | 20 | 2000 | 35 | 1204,4 | 945,4 | 2 | 1890,9 |
| 3x24 | 850 | 300 | 30 | 20 | 2000 | 35 | 1226,5 | 962,8 | 2 | 1925,5 |
| 3x26 | 850 | 350 | 30 | 20 | 2000 | 35 | 1256,5 | 986,3 | 2 | 1972,6 |
| 3x28 | 900 | 400 | 35 | 20 | 2000 | 35 | 1346,3 | 1056,9 | 2 | 2113,7 |
| 3x30 | 1000 | 400 | 40 | 20 | 2000 | 35 | 1428,2 | 1121,2 | 2 | 2242,4 |
| 3x32 | 1100 | 400 | 40 | 20 | 2000 | 35 | 1472,4 | 1155,8 | 2 | 2311,6 |



Şekil 4.35: Kutu ve I kesitli kiriş birim ağırlık kıyaslaması (üç açıklık)

Yapılan tasarım hesapları sonucu elde edilen kesit özelliklerine göre tek, iki ve üç açıklıkta olmak üzere I ve kutu kesitli kirişler için sehim incelemeleri yapılmıştır. Tek açıklıklı sistem için geliştirilen tasarım programı kullanılmış olup iki ve üç açıklıklı sistemlerde Sap 2000 programından yararlanılarak sehim değerleri elde edilmiştir. Tek açıklıkta elde edilen sehim değerleri ve sınır şartları Tablo 4.45’de görülmektedir.

Tablo 4.45 : Kıyaslamalı sehim değerleri (tek açıklık)

| Açıklık Boyu | Hareketli Yük Sehimi Sınırı | Kamyon Yükü Sehimi | | Şerit Yükü Sehimi | | Zati Yük Sehimi Sınırı | Zati Yük Sehimi | |
|--------------|-----------------------------|--------------------|------------|-------------------|------------|------------------------|-----------------|------------|
| | | I Kesit | Kutu Kesit | I Kesit | Kutu Kesit | | I Kesit | Kutu Kesit |
| L (m) | L/800 (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | L/500 (mm) | (mm) | (mm) |
| 16 | 20 | 10 | 9 | 7 | 6 | 32 | 16 | 21 |
| 18 | 23 | 13 | 11 | 10 | 8 | 36 | 25 | 27 |
| 20 | 25 | 15 | 14 | 12 | 11 | 40 | 31 | 32 |
| 22 | 28 | 19 | 15 | 15 | 12 | 44 | 38 | 35 |
| 24 | 30 | 21 | 18 | 17 | 15 | 48 | 47 | 44 |
| 26 | 33 | 21 | 19 | 17 | 16 | 52 | 49 | 49 |
| 28 | 35 | 20 | 20 | 17 | 17 | 56 | 51 | 54 |
| 30 | 38 | 20 | 21 | 19 | 18 | 60 | 53 | 55 |
| 32 | 40 | 21 | 22 | 19 | 20 | 64 | 58 | 61 |

İki açıklıkta elde edilen sehim değerleri ve sınır şartları Tablo 4.46'da görülmektedir.

Tablo 4.46 : Kıyaslamalı sehim değerleri (iki açıklık)

| Açıklık Boyu | Hareketli Yük Sehimi Sınırı | Kamyon Yükü Sehimi | | Şerit Yükü Sehimi | | Zati Yük Sehimi Sınırı | Zati Yük Sehimi | |
|--------------|-----------------------------|--------------------|------------|-------------------|------------|------------------------|-----------------|------------|
| | | I Kesit | Kutu Kesit | I Kesit | Kutu Kesit | | I Kesit | Kutu Kesit |
| L (m) | L/800 (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | L/500 (mm) | (mm) | (mm) |
| 2x16 | 20 | 9 | 9 | 7 | 6 | 32 | 9 | 12 |
| 2x18 | 23 | 13 | 11 | 9 | 7 | 36 | 13 | 16 |
| 2x20 | 25 | 14 | 12 | 10 | 7 | 40 | 15 | 18 |
| 2x22 | 28 | 15 | 15 | 11 | 10 | 44 | 17 | 25 |
| 2x24 | 30 | 17 | 17 | 12 | 15 | 48 | 20 | 31 |
| 2x26 | 33 | 18 | 19 | 13 | 16 | 52 | 23 | 35 |
| 2x28 | 35 | 17 | 17 | 13 | 16 | 56 | 24 | 36 |
| 2x30 | 38 | 18 | 17 | 14 | 16 | 60 | 26 | 37 |
| 2x32 | 40 | 17 | 15 | 13 | 16 | 64 | 28 | 40 |

Üç açıklıkta elde edilen sehim değerleri ve sınır şartları Tablo 4.47’de görülmektedir.

Tablo 4.47 : Kıyaslamalı sehim değerleri (üç açıklık)

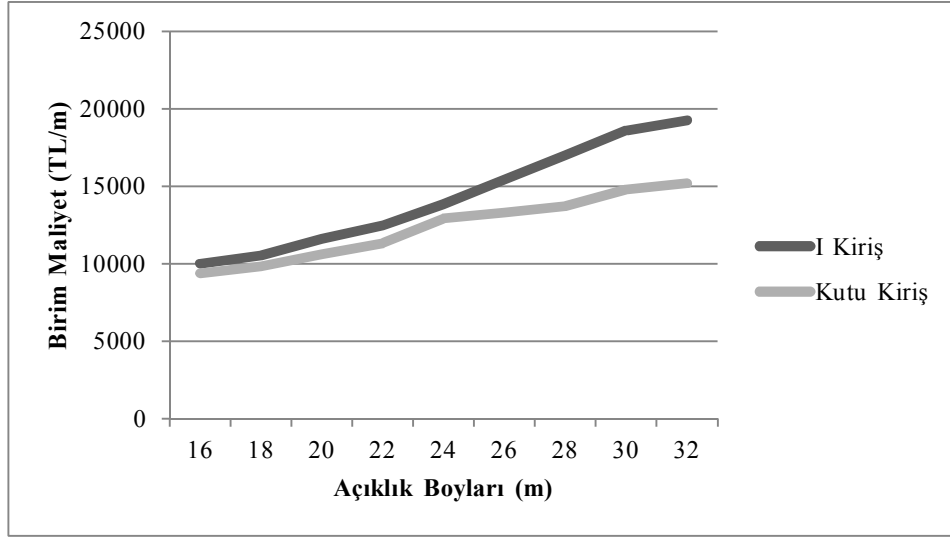
| Açıklık Boyu | Hareketli Yük Sehimi Sınırı | Kamyon Yükü Sehimi | | Şerit Yükü Sehimi | | Zati Yük Sehimi Sınırı | Zati Yük Sehimi | |
|--------------|-----------------------------|--------------------|------------|-------------------|------------|------------------------|-----------------|------------|
| | | I Kesit | Kutu Kesit | I Kesit | Kutu Kesit | | I Kesit | Kutu Kesit |
| L (m) | L/800 (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | L/500 (mm) | (mm) | (mm) |
| 3x16 | 20 | 9 | 9 | 7 | 7 | 32 | 12 | 14 |
| 3x18 | 23 | 12 | 11 | 10 | 8 | 36 | 16 | 20 |
| 3x20 | 25 | 13 | 14 | 11 | 10 | 40 | 19 | 26 |
| 3x22 | 28 | 15 | 14 | 13 | 11 | 44 | 24 | 29 |
| 3x24 | 30 | 17 | 17 | 15 | 13 | 48 | 28 | 36 |
| 3x26 | 33 | 15 | 20 | 14 | 16 | 52 | 29 | 46 |
| 3x28 | 35 | 18 | 20 | 17 | 17 | 56 | 37 | 48 |
| 3x30 | 38 | 18 | 20 | 18 | 16 | 60 | 39 | 49 |
| 3x32 | 40 | 18 | 20 | 18 | 17 | 64 | 42 | 51 |

Kesitlerin hesaplamalar sonucu çıkan birim ağırlıklara göre yaklaşık birim maliyet hesabı çıkartılmıştır. Birim fiyatlar Karayolları Genel Müdürlüğü 2011 fiyatları esas alınarak 23.101/K-2 pozunu kullanılmıştır. Pozun kapsamı; sacdan yüksek gövdeli I kiriş imali ve yerine konulması (boya dahil)’dir. Pozun birim fiyatı 5,619.41 TL/ton olarak hesaplarda alınmıştır.

Tek açıklık için elde edilen kutu ve I kesitli kiriş tiplerine ait birim maliyetleri Tablo 4.48’de görülmektedir. Kutu ve I kesitli kirişlerin tek açıklıklı sistem için birim maliyet kıyaslama grafiği ise Şekil 4.36’da gözlemlenmektedir.

Tablo 4.48 : Kutu ve I kesitli kiriş için birim maliyetler (tek açıklık)

| Açıklık Boyu | I Kesit | | Kutu Kesit | |
|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | Birim Ağırlık | Birim Maliyet | Birim Ağırlık | Birim Maliyet |
| L (m) | (kg/m) | TL/m | (kg/m) | TL/ton |
| 16 | 1780,4 | 10005 | 1668,1 | 9374 |
| 18 | 1869,9 | 10508 | 1749,8 | 9833 |
| 20 | 2070,1 | 11633 | 1890,9 | 10626 |
| 22 | 2218,4 | 12466 | 2015,1 | 11324 |
| 24 | 2461,0 | 13829 | 2298,7 | 12917 |
| 26 | 2743,6 | 15417 | 2368,0 | 13306 |
| 28 | 3026,2 | 17005 | 2437,2 | 13696 |
| 30 | 3308,8 | 18593 | 2632,1 | 14791 |
| 32 | 3426,5 | 19255 | 2701,4 | 15180 |

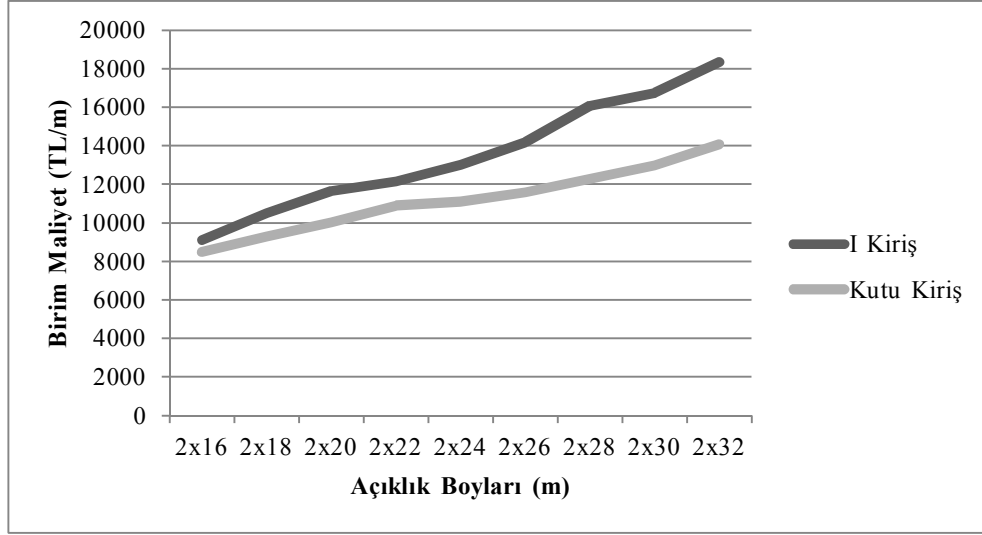


Şekil 4.36: Kutu ve I kesitli kiriş maliyet kıyaslaması (tek açıklık)

İki açıklık için elde edilen kutu ve I kesitli kiriş tiplerine ait birim maliyetleri Tablo 4.49'da görülmektedir. Kutu ve I kesitli kirişlerin iki açıklıklı sistem için birim maliyet kıyaslama grafiği ise Şekil 4.37'de gözlemlenmektedir.

Tablo 4.49 : Kutu ve I kesitli kiriş için birim maliyetler (iki açıklık)

| Açıklık Boyu | I Kesit | | Kutu Kesit | |
|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------------|
| | Birim Ağırlık (kg/m) | Birim Maliyet (TL/m) | Birim Ağırlık (kg/m) | Birim Maliyet (TL/ton) |
| L (m) | (kg/m) | TL/m | (kg/m) | TL/ton |
| 2x16 | 1617,9 | 9092 | 1510,1 | 8486 |
| 2x18 | 1869,9 | 10508 | 1655,6 | 9304 |
| 2x20 | 2070,0 | 11632 | 1784,5 | 10028 |
| 2x22 | 2164,2 | 12162 | 1938,0 | 10890 |
| 2x24 | 2312,6 | 12996 | 1972,6 | 11085 |
| 2x26 | 2524,6 | 14187 | 2058,8 | 11569 |
| 2x28 | 2861,3 | 16079 | 2183,0 | 12267 |
| 2x30 | 2979,1 | 16741 | 2311,6 | 12990 |
| 2x32 | 3261,7 | 18329 | 2506,5 | 14085 |

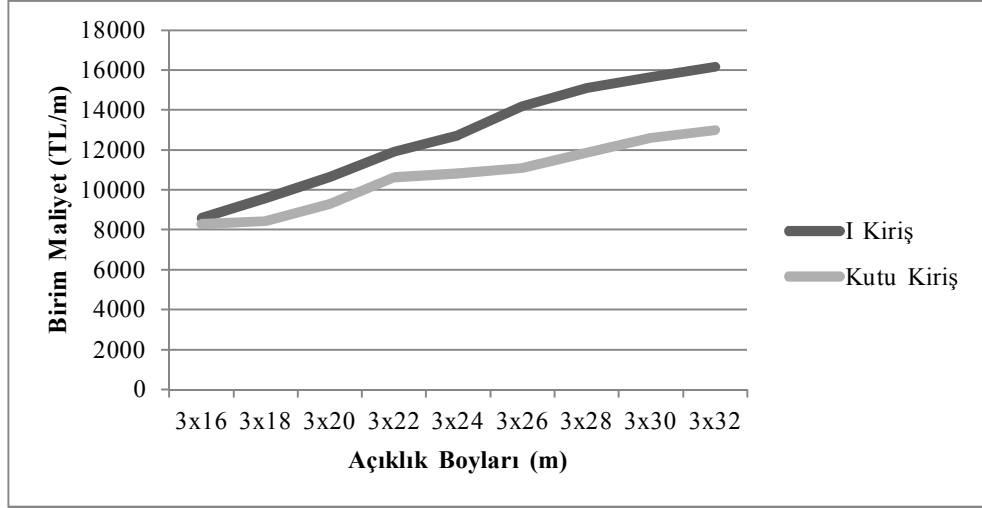


Şekil 4.37: Kutu ve I kesitli kiriş maliyet kıyaslaması (iki açıklık)

Üç açıklık için elde edilen kutu ve I kesitli kiriş tiplerine ait birim maliyetleri Tablo 4.50'de görülmektedir. Kutu ve I kesitli kirişlerin üç açıklıklı sistem için birim maliyet kıyaslama grafiği ise Şekil 4.38'de gözlemlenmektedir.

Tablo 4.50 : Kutu ve I kesitli kiriş için birim maliyetler (üç açıklık)

| Açıklık Boyu | I Kesit | | Kutu Kesit | |
|--------------|-------------------|----------------------|----------------------|------------------------|
| | Birim Ağr. (kg/m) | Birim Maliyet (TL/m) | Birim Ağırlık (kg/m) | Birim Maliyet (TL/ton) |
| 3x16 | 1527,2 | 8582 | 1473,5 | 8280 |
| 3x18 | 1708,6 | 9601 | 1499,4 | 8426 |
| 3x20 | 1897,0 | 10660 | 1655,6 | 9304 |
| 3x22 | 2117,1 | 11897 | 1890,9 | 10626 |
| 3x24 | 2265,5 | 12731 | 1925,5 | 10820 |
| 3x26 | 2524,6 | 14187 | 1972,6 | 11085 |
| 3x28 | 2689,4 | 15113 | 2113,7 | 11878 |
| 3x30 | 2783,6 | 15642 | 2242,4 | 12601 |
| 3x32 | 2877,8 | 16172 | 2311,6 | 12990 |



Şekil 4.38: Kutu ve I kesitli kiriş maliyet kıyaslaması (üç açıklık)

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

I ve kutu kesitli çelik-betonarme kompozit köprü kirişlerine ait tasarım esasları, hangi kontrollerin yapılması gerektiği ve kesitler arasında analitik incelemeleri sunan bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

1. İncelenen I ve kutu kesitli kiriş tiplerinde 16~20m aralığındaki açıklıklarında iki kiriş tipinde de birim ağırlıkların birbirine yakın olduğu, 20m'den daha büyük açıklıklarda I kesitli kiriş tipinin kutu kesitli kiriş tipine kıyasla daha ağır olduğu sonucuna varılmıştır.
2. Sap2000 programı ile yapılan analizlerde, incelenen kirişlere ait moment ve kesme tesirlerinin açıklık sayısındaki artışa bağlı olarak azaldığı ve bundan dolayı seçilen kesit özelliklerinin üç açıklığın iki açıklığa, iki açıklığında tek açıklığa göre daha uygun olduğu görülmüştür.
3. Yapılan analizlerde sehim kontrollerinin tek açıklıkta iki ve üç açıklığa göre kesit özelliklerinin belirlenmesinde önemli etken olduğu görülmüştür.
4. İki ve üç açıklıkta kullanılan kirişlerin uzunluğundan dolayı Sap2000 programından elde edilen tesirlerle kontroller yapıldığında konstrüksiyon aşamasındaki kontrollerde kiriş et kalınlıklarının yetersiz seçilmesi durumunda köprü imalatı yapım aşamasında kirişlerin yerine konulduktan sonraki gerilme durumlarının sınır değerleri aştığı sonucuna varılmıştır.
5. Zamana bağlı yorulma durumunda sistemde araç yükü değişiminden dolayı oluşacak gerilmelerin yönetmelik uyarınca ülke trafik yoğunluğuna ve ona uygun olarak tasarım ömrüne bağlı olduğu görülmüştür.

6. Eşit boylarda birden fazla açıklıklı sistemlerde mesnet bölgesinde çıkan tesirlerin açıklıkta çıkan tesirlere göre daha elverişsiz olmasından dolayı iki ve üç açıklıklı köprü sistemlerinde kesit özelliklerini belirleyici etkenin mesnet bölgesinde yapılan kontrollerin olduğu sonucuna varılmıştır.

7. Hareketli yük dağılım moment ve kesme faktörlerinin belirlenmesinde kiriş sayısının önemli bir etken olduğu sonucuna varılmıştır. Belirlenen tipik üstyapı kesitinde I kesitli kiriş sayısı, kutu kesitli kiriş sayısına göre daha fazladır. Bu durumda kutu kesitli sistemin I kesitli sisteme göre hareketli yük dağılım faktörlerinin daha büyük çıktığı görülmüştür.

8. Maliyet karşılaştırması sonucu; kısa açıklıklarda I kesitli kiriş tipleri ile kutu kesitli kiriş tiplerinin maliyetlerinin birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir. Açıklık boyu arttıkça ise I kesitli kiriş maliyetinin kutu kesitli kiriş maliyetine göre arttığı sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

1. GÜLHAN, İ.E., 2005, *Öngerilmeli betondan sandık kesitli köprülerin yapay sinir ağları ile analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erciyes Üniversitesi.
2. ERCİYES, F., 2006, *Çelik kafes kemerli bir köprüünün analizi ve tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde Üniversitesi.
3. Karayolları Genel Müdürlüğü, 1982, *Yol Köprüleri için Teknik Şartname*, Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası Yayın No:207, Ankara.
4. AASHTO LRFD, 2005, *Bridge Design Specifications*, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington D.C.
5. ULUĞ, N.İ., 2008, *Öngerilmeli bir köprü tasarımı ve performans değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi.
6. ERTEKİN, B., 2011, *Sürme Metodunun Çelik Yapı Köprü İnşaatında Uygulanabilirliğinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erciyes Üniversitesi.
7. REMŞİT, 2008, *Kutu kirişli köprü*, [online], Gelişim Yayınları, <http://www.nuveforum.net/1104-genel-araclar/62770-kutu-kirisli-kopru/>, [Ziyaret Tarihi: 21 Nisan 2011].
8. BLADE, 2011, *Köprü*, [online], Vikipedi Özgür Ansiklopedi, <http://tr.wikipedia.org/wiki/Köprü>, [Ziyaret Tarihi: 08 Temmuz 2011].

9. National Cooperative Highway Research Program Transportation Research Board National Research Council, 2005, *AASHTO-LRFD Design example horizontally curved steel I-girder bridge*, Harrisburg, Pennsylvania.
10. National Cooperative Highway Research Program Transportation Research Board National Research Council, 2005, *AASHTO-LRFD Design example horizontally curved steel box girder bridge*, Harrisburg, Pennsylvania.
11. CHEN, W., 2000, *Bridge Engineering Handbook*, Boca Raton London New York Washington, D. C..
12. GRUBB, M.A. and SCHMIDT, R.E., 2004, *Three-span continuous straight composite I girder*, Cranberry Township and Pittsburg.
13. BARKER, M.G. and SCHRAGE, S.D., 2000, *High performance steel: Design and cost comparions*, Washington, DC.
14. THANG, D.D., KOO, M. and HAMEED, A., 2009, *Optimum cost design of steel box-girder by varying plate thickness*, 13 (1), 31-37.
15. CLINGENPEEL, B.F., 2001, *The economical use of high performance steel in slab-on-steel stringer bridge design*, Master of science, College of Engineering and Mineral Resources, West Virginia University.
16. LIN, W., and YODA, T., 2010, *Analysis, design and construciton of curved composite girder bridges: State-of-the-Art*, Intenational Journal of Steel Structures, 10 (3), 207-220.
17. SAFAEI, F., 2010, *Betonarme köprü modellemesi üzerine bir çalışma*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi.
18. LOK, M.S., 2004, *Türk köprü standart ve tekniklerinin değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi.

19. AKOĞUL, C., 2007, *Prekast kirişli betonarme köprülerin AASHTO'ya göre depreme dayanıklı tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi.
20. AYDIN, Z., 2006, *Öngerilmeli beton kirişli köprü üstyapılarının genetik algoritma ile optimum tasarımı*, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi.
21. AKTAŞ, E., 2010, *Öngerilme kirişli bir köprü tasarımı ve performansının değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi.

ÖZGEÇMİŞ

1986 yılında İstanbul'da doğdu. İlköğretimi Basıncıköy İlköğretim Okulunda tamamladıktan sonra lise öğrenimini Florya Tevfik Ercan Lisesinde tamamladı.

2003 yılında girdiği İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünden 2007 yılında İnşaat Mühendisi olarak mezun oldu. 2008 yılında İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine başladı.