

AASHTO LRFD 2007, Öngerilmeli Hazır Betonarme I-Kiriş Tasarımı

Alp Caner

Köprü Açıklığının Tanımı

Tasarım açıklığı	= 30 metre (basit açıklık)
Kiriş uzunluğu	= 31 metre
Köprü döşeme genişliği	= 12 metre

Tablo 2.5.2.6.3-1 e göre öngerilmeli hazır I-kirişli üst yapının döşeme dahil minimum derinliği = $0,045L$

Minimum derinlik = $0,045 \times 30 = 1,35$ m.

Derinliği 140 cm olan kirişlerden kullanalım. Döşeme kalınlığında standard sayılabilen 20 cm olsun. Toplam derinlik = $140 + 20 = 160 \text{ cm} > 135 \text{ cm}$

Kiriş Aralığı

Kiriş Aralığı (metre)	Yaklaşık Açıklık/Derinlik Oranı
1,0	27
1,5	25
2,0	22
2,5	19
3	17

Açıklık/Derinlik Oranı
 $= 30/1,40 = 21$

Yandaki tabloya göre kiriş aralığı 2 metre olarak seçilebilir. 7 kiriş kullanalım

Kiriş aralığı $= 12/7 = 1,715$ m

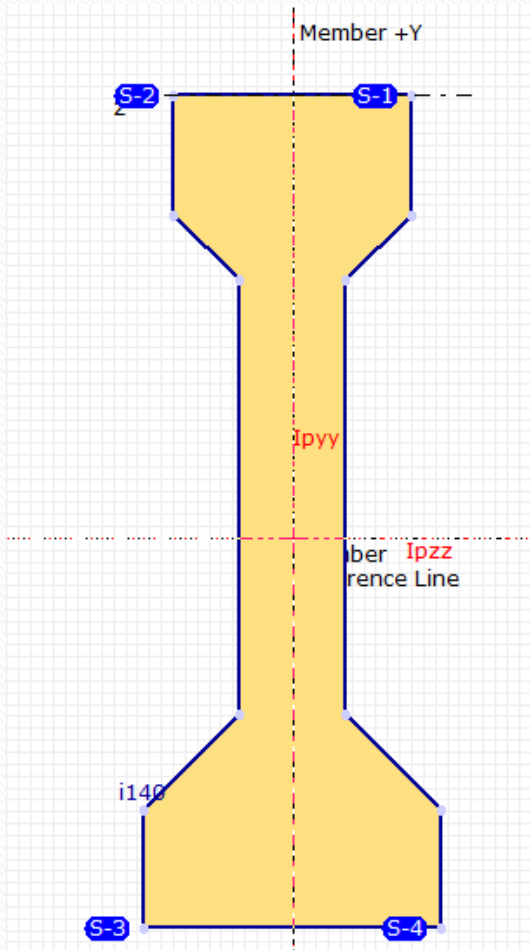
Yandaki tablo geçmiş senelerde CE767 dersinde yapılan bir inceleme ve çalışma sonucu ortaya çıkmıştır.

Köprü Döşeme Kalınlığı

Köprü tasarımlarında genellikle bu tip köprüler için döşeme kalınlıkları 20 cm ile 25 cm arası değişmektedir.

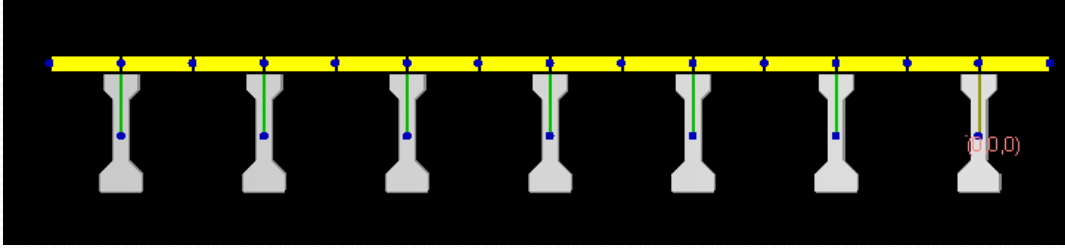
Bu köprü için 20 cm lik döşeme kalınlığı uygun görülmüştür.

Seçilen Kirişin Geometrik Özellikleri

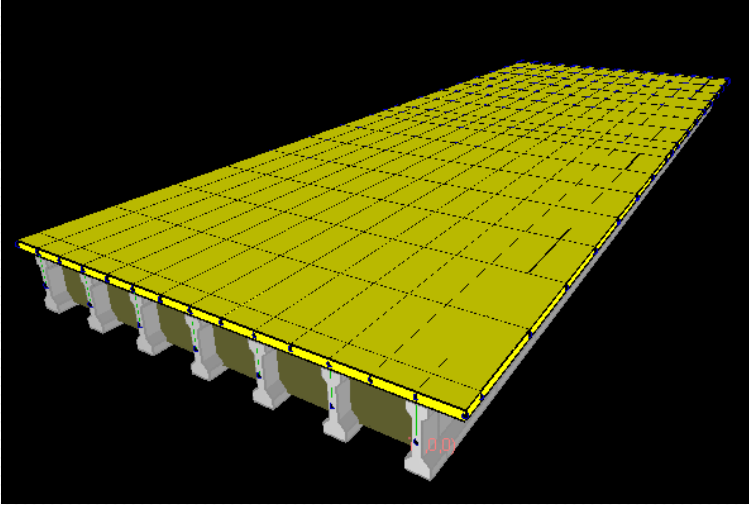


Properties @ C.O.G. [cm]	
Area	3.977,00
zc	0,00000
yc	0,00000
Izz	8,7350e6
Iyy	440.062,
Izy	-1,16e-10
Ipzz	8,7350e6
Ipyy	440.062,
Ipa	0,00000
J	733.267,
Perimeter	392,368

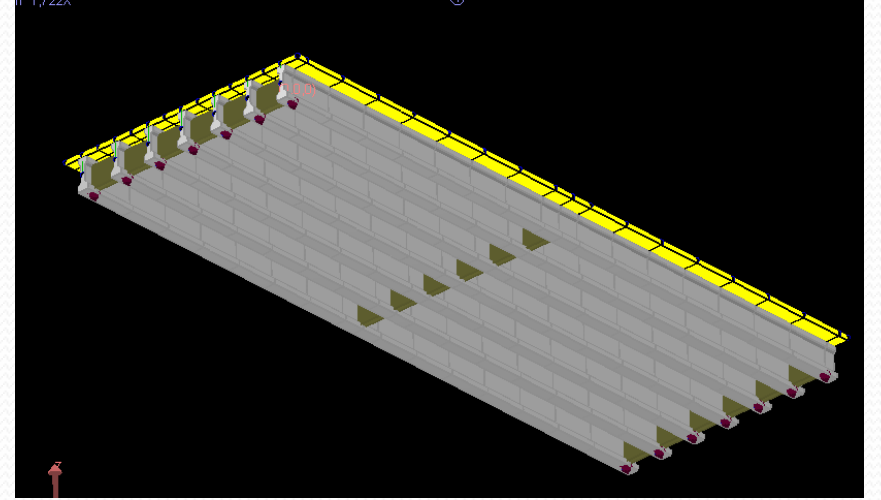
Üst Yapının Görünümü



Kesit



Üst Görünüm



Alt Görünüm

Üst Yapı Malzeme Özellikleri

Döşeme 28 günlük beton basınç dayanımı = 25 MPa

Döşeme elastik modulusu = 23.630 MPa

I-Kiriş öngerilme anında beton basınç dayanımı = 40 MPa

I-kiriş öngerilme anında elastik modulus = 29.890 MPa

I-kiriş 28 günlük beton basınç dayanımı = 50 MPa

I-kiriş 28 günlük elastik modulus = 33.418 MPa

Elastik modulus denklem 5.4.2.4-1 ın basitleştirilmiş haline göre hesaplanmıştır $E = 4726 \sqrt{f_c}$. Burdaki f_c Mpa cinsindedir.

Tendon Malzeme Özellikleri

0,5 inç (12,7 mm) çapında, 7 teli düşük gevşemeli tendon (halat) kullanılmıştır.

Tendon kesit alanı = 98,7 mm²

Nihai dayanımı, f_{pu} = 1862 MPa

Akma dayanımı, $f_{py} = 0,9f_{pu}$ = 1676 MPa (Tablo 5.4.4.1-1)

Gerilme limitleri (Tablo 5.9.3-1)

Öngerilme öncesi, $f_{pi} < 0,75 f_{pu}$ = 1396 MPa

Hizmet durumunda kayıplardan sonra $f_{pe} < 0,80f_{py}$ = 1340 Mpa

Elastik Modulus = 196,507 MPa (Madde 5.4.4.2)

Donatı Malzeme Özellikleri

Akma dayanımı, $f_y = 420 \text{ MPa}$

Elastik Modulus = $200,000 \text{ MPa}$ (Madde 5.4.3.2)

Mesnet Özellikleri-Ön Tasarım

Elastomer mesnet seçilmiştir.

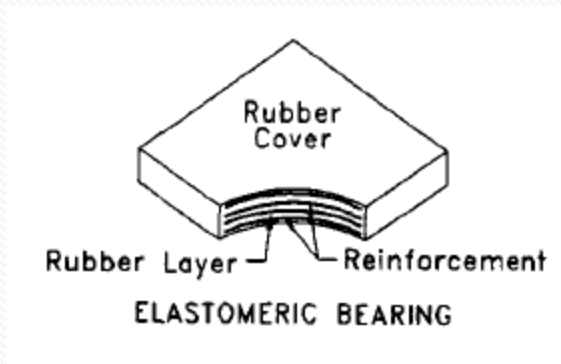
Boyutları : 400mm x 400mm x 125mm

Sertlik : 60

Kauçuğun Kayma Modulu : 1,06 MPa

Mesnetin varsayılan yatay rijitliği : 1.750 kN/m

Mesnetin varsayılan düşey rijitliği : 550.000 kN/m



Yüklerin Etkileri

Kirişlerin kendi ağırlığı, aranın ve döşemenin ağırlıkları kiriş üstüne etkir. Bu yüklerin haricindeki bütün yükler kompozit kesitin özelliklerine etkir. Bu yükler kaplama, bariyerler, hareketli yükler, rüzgar, ısı değişimleri, deprem ve diğer tanımlanan yükler olarak sayılabilir. Bundan sonraki bölümlerde kompozit kiriş özellikleri hesaplanacaktır.

TASARIM YÜK BİLEŞENLERİ

(TABLO 3.4.1-1)

KULLANIM 1 – KİRİŞ BASINÇ GERİLMELERİ İÇİN

$$Q = 1,00 (DC+DW) + 1,00(LL+IM)$$

KULLANIM 3 – KİRİŞ GERGİN GERİLMELERİ İÇİN

$$Q = 1,00(DC+DW) + 0,80(LL+IM)$$

DAYANIM 1

$$\text{MAKSİMUM } Q = 1,25 DC + 1,50 DW + 1,75(LL+IM)$$

$$\text{MİNİMUM } Q = 0,90 DC + 0,65 DW + 1,75(LL+IM)$$

YORULMA

$$Q = 0,75 (LL+IM)$$

Kompozit Kesit – Efektif Flanş Genişliği (Madde 4.6.2.6.1)

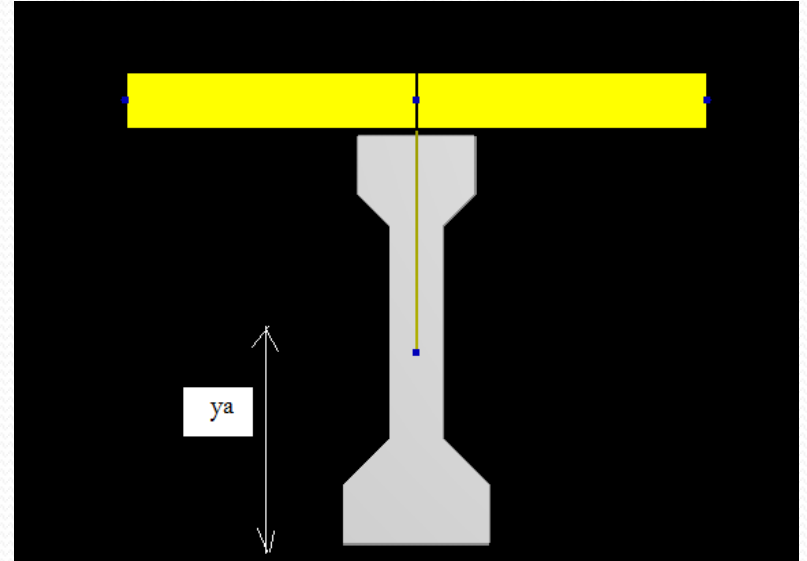
Döşeme Efektif Flanş Genişliği için en az olmak kaydıyla

$$\frac{1}{4} \text{ tasarım açıklığı} = \frac{30}{4} = 7,5 \text{ m}$$

$$12 \times \text{döşeme kalınlığı} + \frac{1}{2} \text{ kiriş üst flanş} \\ = 12 \times 0,2 + 0,5 \times 0,4 = 2,6 \text{ m}$$

$$\text{Kirişler arası mesafe} = 1,714 \text{ m}$$

$$\text{En küçük olan kirişler arası mesafe} = \\ 1,714 \text{ m}$$



Modular Oran ve Dönüştürülmüş Flanş Özellikleri

$$\text{Modular oran} = E \text{ döşeme} / E \text{ kiriş} = n = 23630 / 33418 = 0,71$$

$$\begin{aligned} \text{Deviştirilmiş efektif döşeme flanş genişliği} &= n \times w_{\text{döş}} = \\ &= 0,71 \times 1,714 = 1,21 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Deviştirilmiş efektif döşeme alanı} &= n \times A_{\text{döş}} = \\ &= 0,71 \times 0,2 \times 1,714 = 0,242 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Kompozit Kesit Özellikleri

n = 0,7071

	Alan, A	y_a	$A y_a$	$A (y_a - y_{ak})^2$	I1	I2	I1+I2
	(mm ²)	(mm)	(mm ³)	(mm ⁴)	(mm ⁴)	(mm ⁴)	(mm ⁴)
Kiriş	397700	655	260493500	4,441E+10	8,73504E+10		1,3176E+11
Ara	7071	1413	9987883,3	1,267E+09	3,68285E+05		1,2676E+09
Döşeme	242437	1525	369715831	6,961E+10	8,08122E+08		7,0415E+10
Toplam	647207,7						2,034E+11

$$y_{ak} = 989\text{mm}$$

$$S_a = 133359403\text{mm}^3$$

$$S_u = 117248871\text{mm}^3$$

$$S_{ak} = 205671791\text{mm}^3$$

$$S_{uk} = 495200110\text{mm}^3$$

$$S_{ud} = 452498934\text{mm}^3$$

y_a = kirişin alt yüzeyinden ölçülen uzaklık

DC – SABİT YÜK HESABI

$$\text{Kirişin ağırlığı} = 0,3977 \times 25 = 9,95 \text{ kN/m}$$

$$\text{Aranın ağırlığı} = 0,0100 \times 24 = 0,24 \text{ kN/m}$$

$$\text{Döşemenin ağırlığı} = 0,20 \times 1,714 \times 25 = 8,57 \text{ kN/m}$$

$$\text{Toplam} = 18,76 \text{ kN/m}$$

DW – Beton korkuluk ve kaplama yükleri

Madde 4.6.2.2.1 e göre bu tip yükler belli koşulları sağladığı takdirde kirişler üstüne eşit bir şekilde dağıtılabilir. Bu koşullar sabit döşeme kalınlığı ve kiriş sayısının 4 den fazla olması olarak adlandırılabilir.

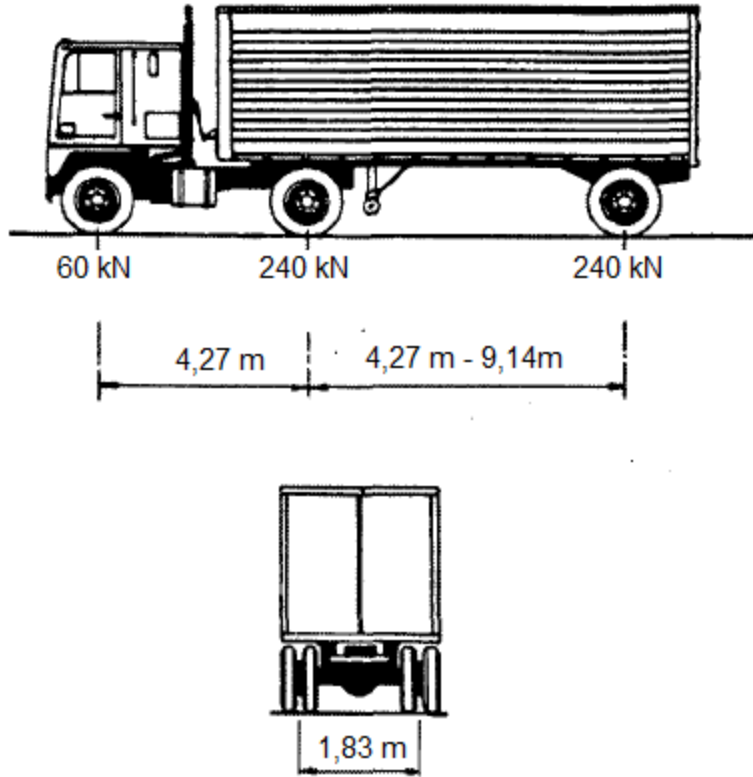
Bu çalışma içerisinde yükler analiz modeline etkiletilmiştir.

Tek bir bariyerin yaklaşık ağırlığı = 4,4 kN/m.

5 cm lik asfalt kaplamanın ağırlığı

$$= 22 \text{ kN/m}^3 \times 0,05 = 1,1 \text{ kN/m}^2$$

LL + IM -Hareketli kamyon yükü



Türkiye’de kullanılan kamyonlar HL-93 kamyonundan yaklaşık yüzde 50 daha ağır olmaktadır.

Dinamik yük etkisi = %33
(Tablo 3.6.2.1-1)

LL – Hareketli şerit yükü

Türkiye için önerilen değerin yüzde 50 fazlası kullanılmıştır.

$LL = 14,01 \text{ kN/m/3,05m}$ (Madde 3.6.1.2.4)

Şerit yükü için dinamik yük etkileri dikkate alınmayacaktır.

LL+IM yüklemesinde hareketli kamyon ve şerit yükleri aynı anda etkiletilecektir.

LL – Yürüyüş yolu

Madde 3.6.1.6 ya göre 3,6 kN/m² olarak alınmıştır.

Köprü Modellemesi

İki ayrı model oluşturulmuştur.

1. model

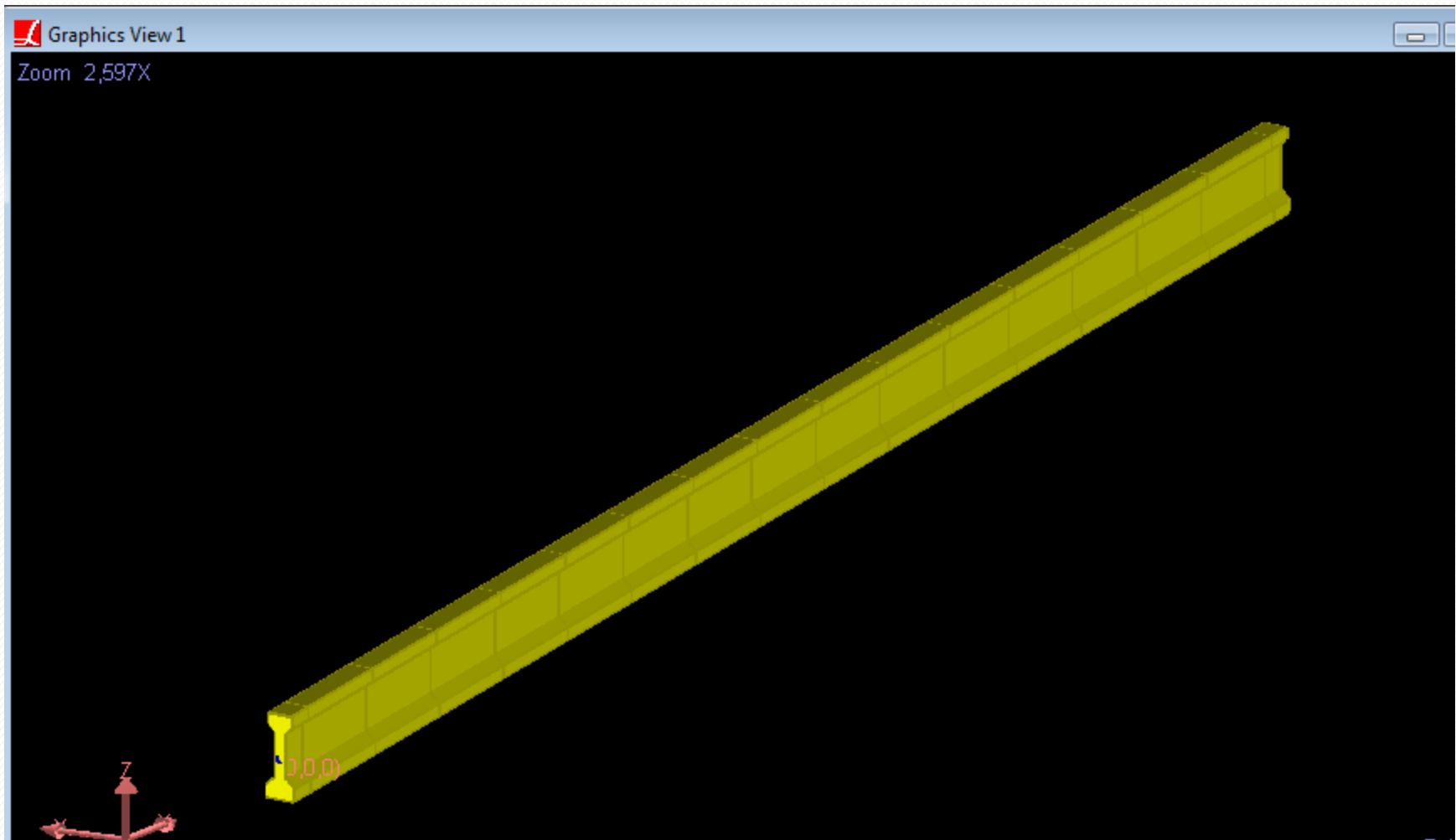
DC yüklemesi için basit giriş

2. model

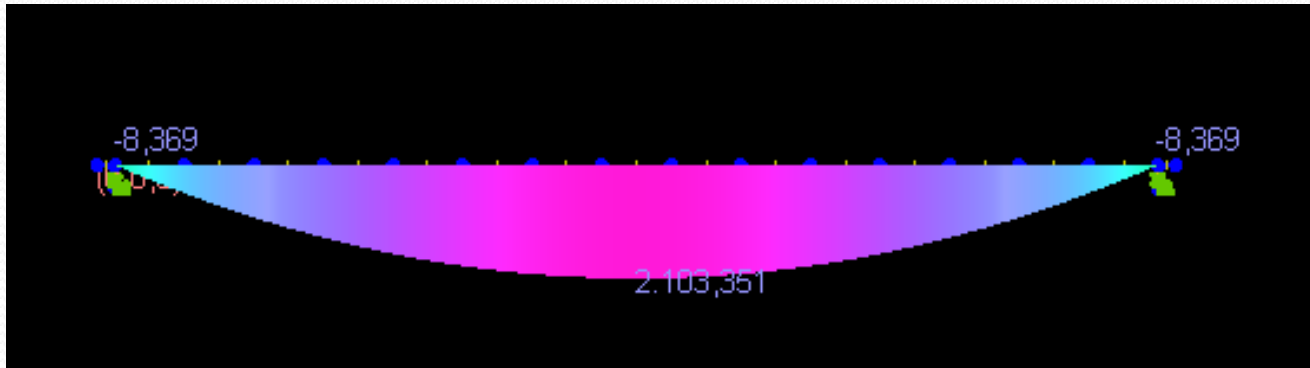
DW, LL ve IM için ise tüm köprü açıklığı modellenmiştir.

Bu iki modelde yapım aşaması analizinde birleştirilebilirdi, fakat bu çalışmada kullanılmamıştır.

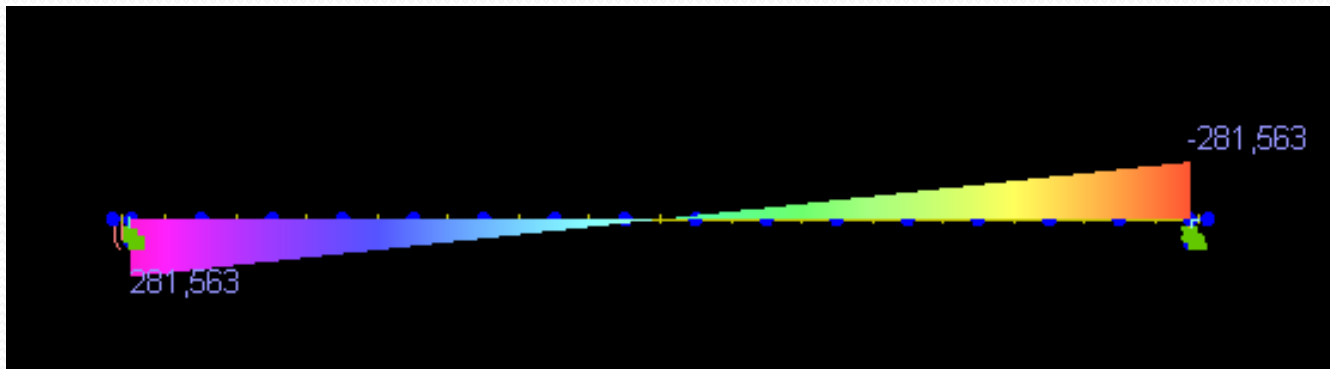
1. Model



DC – Moment ve Kesme Kuvvetleri



Moment (kN-m)

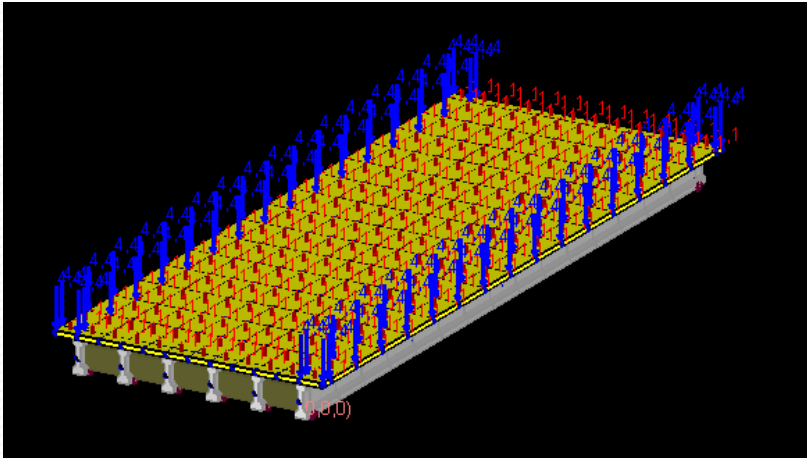


Kesme (kN)

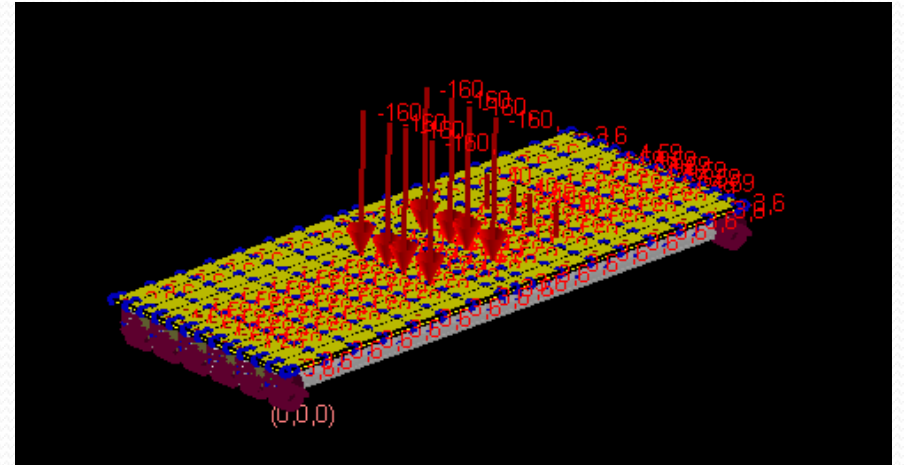
2. Model

Açıklığın sonuna ve ortasına yük dağılımı için diyaframlar konmuştur.

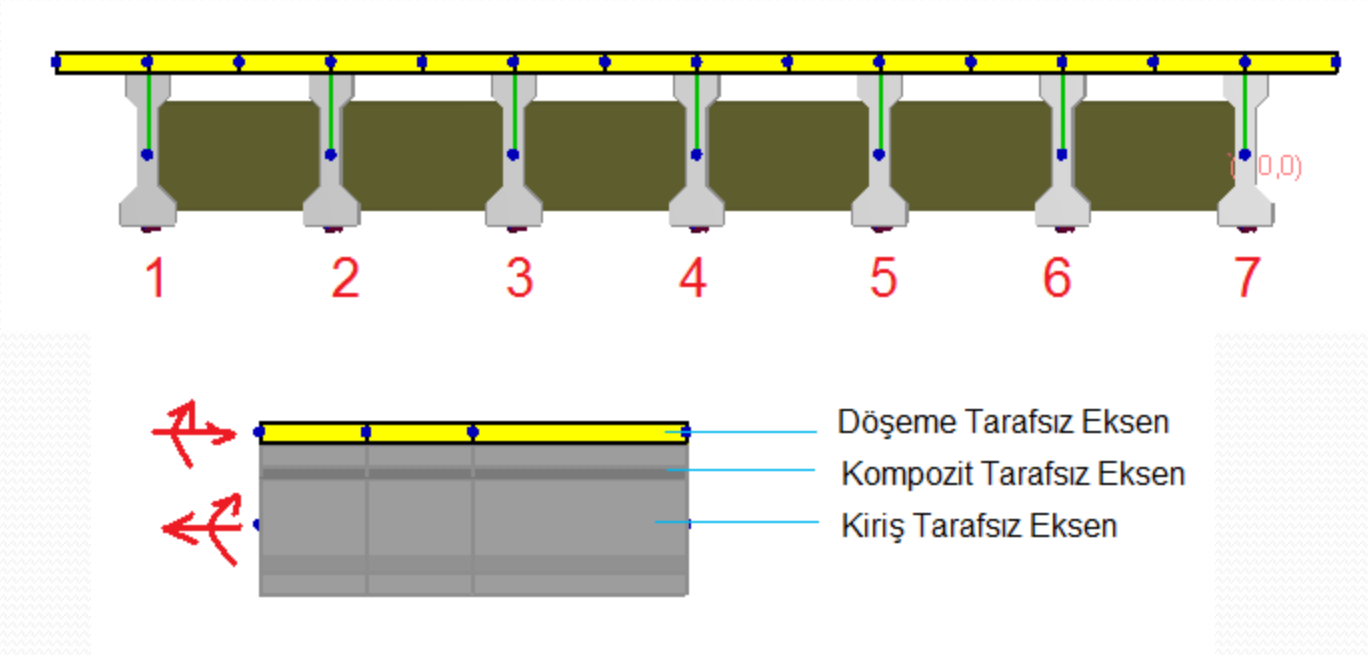
DW



LL+IM



Kiriş Hareketli Yük Momentleri



Kullanım 3 – orta açıklık iç giriş gerilme hesabı - model

$$f_b = M_{DC}/S_a + (M_{DW} + 0,8 \times M_{LL+IM})/S_{ak}$$

$$M_{DC} = 2103 \text{ kN-m (model analiz)}$$

$$M_{DW} = 336 \text{ kN-m (model analiz)}$$

$$M_{LL+IM} = 2354 \text{ kN-m (model analiz-kiriş 6 diyaframlı)}$$

Gerilme sınırını değerlendir – Tablo 5.9.4.1.2-1

$$f_a = 15,76 + 1,60 + 8,93 = 26,29 \text{ MPa} > 1,38 \text{ Mpa}$$

Orta açıklık tendon adedinin hesaplanması - model

Kirişin altında tendonlardan dolayı gereken basınç gerilmesi ,
 $f_{pa} = 26,29 - 1,38 = 24,91 \text{ MPa}$

$$f_{pa} = P_p/A + P_p \cdot e/S_a$$

e yaklaşık olarak 35 cm

Tek bilinmeyen P_p değeri çözülebilir , $P_p = 4.964 \text{ kN}$

Kayıplardan sonra tahmini tendon gerilme yükü

$$\begin{aligned} A_t \times (f_{pi} - f_{pkayıp}) &= 98,7 \text{ mm}^2 \times (1396 \text{ MPa} - 207 \text{ MPa})/1000 \\ &= 117,4 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$f_{pkayıp} = 207 \text{ Mpa} - (\text{Tablo 5.9.5.3-1})$$

$$\text{Tahmini tendon adedi} = 4.964/117,4 = 42.3$$

45 aded tendon kullanalım.

Yaklaşık metod ile orta açıklık iç kiriş momentlerinin hesaplanması (Diyafram yokmuş varsayılarak)

$$M_{DC} = wl^2/8 = 18,76 \times 30^2 / 8 = 2.110 \text{ kN-m}$$

$$M_{DW} = wl^2/8 = 2,82 \times 30^2 / 8 = 317 \text{ kN-m}$$

Kamyon yükü ve dinamik etkiden dolayı oluşan moment, moment hesaplanmasında kamyonun yük merkezi açıklığın ortasına gelecek

Arka tekerden yük merkezi arasındaki mesafe

$$= (240 \times 4,27 + 60 \times 8,54) / 540 = 2,847 \text{ m}$$

$$M_{\text{kamyon}} = 270 \times 30/2 - 240 \times 2,847 = 3367 \text{ kN-m}$$

$$\text{Dinamik etki ile } M_{\text{kamyon+im}} = 3367 \times 1,33 = 4478 \text{ kN-m}$$

$$M_{\text{şerit}} = 9,33 \times 30^2 / 8 = 1049 \text{ kN-m}$$

Hareketli yükün iç kirişe dağılımı

$$DFM = 0,075 + \left(\frac{S}{2900}\right)^{0,6} \left(\frac{S}{L}\right)^{0,2} \left(\frac{K_g}{Lt_s^3}\right)^{0,1}$$

İki şerit için kamyon yük dağılımı
Tablo 4.6.2.2.2.b-1

$$K_g = n(I + Ae_g^2) \quad \text{Denklem 4.6.2.2.1-1}$$

$$K_g = 1/0,71 \times (87350409149 + 397700 \times 870^2) = 5,49237E+11 \text{ mm}^4$$
$$K_g/Lt_s^3 = 5,49237E+11 / (30000 \times 200^3) = 2,288$$

$$DFM = 0,075 + (1714/2900)^{0,6} \times (1714/30000)^{0,2} \times (2,288)^{0,1} = 0,522$$

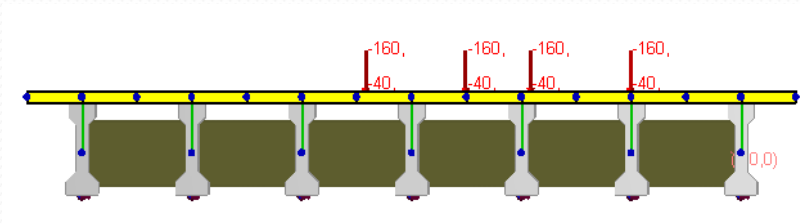
$$DFM \times (M_{\text{kamyon+im}} + M_{\text{şerit}}) = 0,522 \times (4478 + 1049) = 2.885 \text{ kN-m}$$

Mevcut tasarımda diyafram etkisi olduğu için yaklaşık yöntem kullanılmayacak

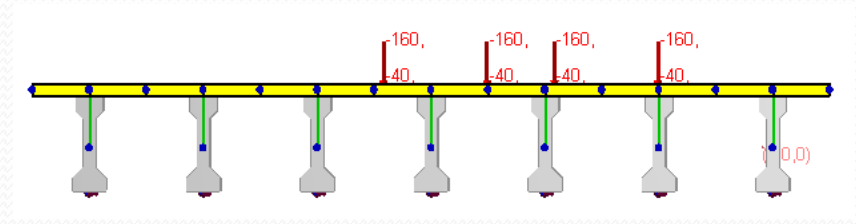
Hareketli Yük Moment Özeti

	Model	Mkamyon+de (kN-m)	M yayılı yük (kN-m)	M LLIM (kN-m)
Kiriş 5	diyaframlı	1487	543	2030
	diyaframsız	1904	659	2563
	yaklaşık*			2885
Kiriş 6	diyaframlı	1691	663	2354
	diyaframsız	1770	685	2455
	yaklaşık*			2885

*yaklaşık - AASHTO LRFD 2007 içinde verilen denklemlere kullanılarak elde edilen momentlerdir.

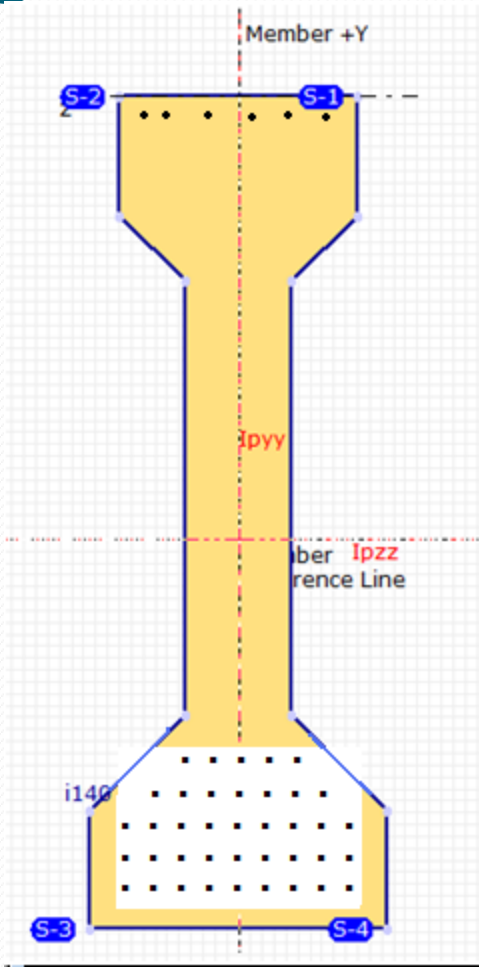


Diyaframlı Model



Diyaframsız Model

Tendon yerleştirilmesi ve geometrik merkezinin belirlenmesi



Alt flanş tendonlar kenarlardan 5 cm mesafede ve kendi aralarında da 5cm mesafe kalacak şekilde yerleştirilmişlerdir. Üst flanş tendonlar ise eşit aralıkla yerleştirilmişlerdir.

Tendon adedi	Alt yüzeyden mesafe (cm)
9	5
9	10
9	15
7	20
5	25
6	135

$$y_{ap} = 299 \text{ mm}$$

Tendon elastik kısalma kayıp hesabı

Madde 5.9.5.2.3a ya göre

$$\Delta f_{pES} = \frac{E_p}{E_{ci}} f_{cgp} = 196500/29889 \times f_{cgp} = 6,57 f_{cgp}$$

İlk başta yüzde 8,5 kayıp varmış gibi hesap yapalım.

$$f_{cgp} = \frac{P_i}{A} + \frac{P_i e_c^2}{I} - \frac{M_g e_c}{I}$$

$$P_i = 98,7 \times 1396 \times (1-0,085) / 1000 \times 45 = 5675 \text{ kN}$$

$$e_c = 65,5 - 29,9 = 35,61 \text{ cm} = 356 \text{ mm}$$

$$M_g = (25 \times 3977 / 100^2 \times 30^2) / 8 = 1.118,53 \text{ kN-m (kiriş ağırlığından dolayı)}$$

$$f_{cgp} = 14,27 + 8,24 - 4,56 = 17,95 \text{ Mpa}$$

$$\Delta f_{pES} = 6,57 \times 17,95 = 118,09 \text{ MPa}$$

Kayıp yüzdesi = $118,09 / 1396 = \%8,4$ yaklaşık olarak $\%8,5$ e denk gelir.

Diğer kayıplar: rötire, sünme ve gevşeme

Madde 5.9.5.3

$$\begin{aligned}\Delta f_{pl} &= 10.0 \frac{f_{pi} A_{ps}}{A_g} \gamma_h \gamma_{st} + 83,0 \gamma_h \gamma_{st} + \Delta f_{pr} \\ &= 95,76 + 50,96 + 17,23 = 163,96 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Toplam kayıp

Elastik kısalma, rötre, sünme ve gevşeme için:

$$=118,09 + 163,96 = 282,05 \text{ MPa}$$

$$\text{Yüzde kayıp} = 282,05/1397 \times 100 = \%20$$

Öngerilme transferi sırasında beton gerilme limitleri (Madde 5.9.4)

Beton basınç limiti = $0,6 f_{ci} = 0,6 \times 40 = 24 \text{ MPa}$

Beton gerilme limiti – donatı olmadığı durumda
= $0,25 \sqrt{f_{ci}} = 1,47 > 1,38 \text{ MPa}$ - limit

Beton gerilme limiti – donatı olduğu durumda
= $0,63 \sqrt{f_{ci}} = 3,98 \text{ MPa}$, donatı içerisindeki gerilme limiti
210 MPa yı aşmayacaktır ve bütün gerilmeler donatı
tarafından karşılanacaktır. Donatılar bu belirtilen koşulları
sağlayacak şekilde tasarlanacaktır.

Öngerilme transfer bölgesinde öngerilme sonrası gerilme hesapları

Öngerilme transfer uzunluğu = 60 tendon çapı (Madde 5.11.4.1)
= 60 x 12,7 = 762 mm

Üst gerilme gerginliği < 3,98 MPa

$$f_u = \frac{P_i}{A} - \frac{P_i e}{S_u} + \frac{M_g}{S_u}$$

45 tendondan aşağıdaki 10 tanesi kılıflanacak. 10/45 = 0,22 < 0,25

Her sıradan 2 tane çıkarılacak. 2/5 = 0,40 < 0,40 (Madde 5.11.4.3)

$y_{ap} = 341$ mm, $e = 655 - 341 = 314$ mm

$P_i = 98,7 \times 1396 \times (1 - 0,084) \times 35 / 1000 = 4417$ kN

$M_g = 0,5 \times 9,943 \times 0,762 \times (31 - 0,762) = 114,55$ kN-m

$f_u = 11,11 - 11,81 + 0,98 = 0,27$ MPa basınç < 3,98 MPa gerginlik.

Öngerilme transfer bölgesinde öngerilme sonrası gerilme hesapları

Alt kesimde basınç gerilmesi

$$f_a = \frac{P_i}{A} + \frac{P_i e}{S_a} - \frac{M_g}{S_a}$$

$$f_a = 11,11 + 10,39 - 0,86 = 20,63 \text{ MPa} \quad \text{basınç} < 24 \text{ MPa}$$

Öngerilme transfer bölgesinde şartnameye uygundur.

Orta açıklıkda öngerilme transfer sonrası gerilme hesapları

Üst flanş gerilme tahkiki

$$f_u = \frac{P_i}{A} - \frac{P_i e}{S_u} + \frac{M_g}{S_u}$$

$$P_i = 98,7 \times 1396 \times (1 - 0,084) \times 45 / 1000 = 5.678 \text{ kN}$$

$$e = 356 \text{ mm}$$

$$M_g = 9,95 \times 31^2 / 8 = 1195,24 \text{ kN-m}$$

$$f_u = 14,27 - 17,25 + 10,19 = 7,21 \text{ MPa} < 24 \text{ MPa}$$

Orta açıklıkta öngerilme transfer sonrası gerilme hesapları

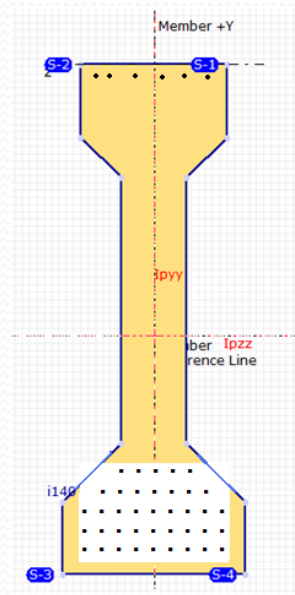
Alt flanş gerilme hesapları

$$f_a = \frac{P_i}{A} + \frac{P_i e}{S_a} - \frac{M_g}{S_a}$$

$$f_a = 14,27 + 15,16 - 8,96 = 20,49 \text{ MPa basınç} < 24 \text{ MPa}$$

Öngerilme transferi sırasında gerilmeler

Bölge	Üst flaş gerilmeler (MPa)	Alt flaş gerilmeler (MPa)
Uç	0,27 basınç	20,63 basınç
Orta	7,22 basınç	20,48 basınç



Kullanım 1 durumunda beton basınç gerilme limitleri

Basınç gerilmeleri – Hizmet 1 yük bileşenlerinde

DC ve DW için $0,45 f_{ci}$ - Madde 5.9.4.2

DC, DW ve LL+IM için $0,60 f_{ci}$ – Madde 5.9.4.2

DC + DW

Döşeme için $< 0,45 \times 25 = 11,25$ MPa

Kiriş için $< 0,45 \times 50 = 22,50$ MPa

DC+DW+LL+IM

Döşeme için $< 0,60 \times 25 = 15$ MPa

Kiriş için $< 0,60 \times 50 = 30$ Mpa

Kullanım 3 durumunda beton gerginlik gerilme limitleri

Madde 5.9.4.2.2'ye göre

Gergin gerilme limiti $< 0,50 \sqrt{f_{ci}} = 3,53 \text{ MPa}$

Kullanım 1 orta açıklık gerilme değerlendirmeleri

DC ve DW durumunda kiriş üst basınç gerilmesi

$$f_{uk} = \frac{P_{pe}}{A} - \frac{P_{pe}e_c}{S_u} + \frac{M_{dc}}{S_u} + \frac{M_{dw}}{S_{uk}}$$

$$P_{pe} = 98,7 \times (1396 - 282) \times 45 / 1000 = 4950 \text{ kN}$$

$$M_{dc} = 2103 \text{ kN-m}$$

$$M_{dw} = 336 \text{ kN-m}$$

$$M_{ll+1m} = 2354 \text{ kN-m}$$

$$f_{uk} = 12,45 - 15,03 + 17,94 + 0,66 = 16,01 < 22,50 \text{ MPa}$$

Kullanım 1 orta açıklık gerilme değerlendirmeleri

DC, DW ve LL+IM için kiriş üst basınç değerlendirmesi

$$f_{uk} = \frac{P_{pe}}{A} - \frac{P_{pe}e_c}{S_u} + \frac{M_{dc}}{S_u} + \frac{M_{dw}}{S_{uk}} + \frac{M_{ll+im}}{S_{uk}}$$

$$f_{uk} = 16,01 + 4,75 = 20,78 \text{ MPa} < 30 \text{ MPa}$$

Kullanım 1 orta açıklık gerilme değerlendirmeleri

DW durumunda döşeme üst basınç gerilmesi ($n= 0,707$)

$$f_{ud} = n \frac{M_{dw}}{S_{ud}}$$

$$f_{ud} = 0,53 \text{ Mpa} < 11,25 \text{ Mpa}$$

DW ve LL+IM durumunda

$$f_{ud} = n \left[\frac{M_{dw} + M_{ll+im}}{S_{ud}} \right]$$

$$f_{ud} = 0,53 + 3,68 = 4,21 \text{ MPa} < 15 \text{ MPa}$$

Kullanım 3 orta açıklık gerilme değerlendirmeleri

$$f_{ak} = P_{pe}/A + (P_{pe} \cdot e_c)/S_a - M_{DC}/S_a - (M_{DW} + 0,8 M_{LL+IM})/S_{ak}$$

$$f_{ak} = 12,447 + 13,218 - 15,769 - 1,596 - 9,156 = -0,90 \text{ MPa} < \text{limit} = -3,53 \text{ MPa}$$

Yorulma Gerilme Limiti

Madde 5.5.3 e göre Hizmet 3 durumunda kiriş altında hesaplanan gerilmeler Tablo 5.9.4.2.2-1 de verilen limitin aşağısında olduğundan yorulma analizlerine gerek yoktur.

Özet: Hizmet gerilmeleri

DURUM	YÜK	ELEMAN	YER	GERİLME (MPa)	LİMİT (MPa)
HİZMET 1	DC+DW	KİRİŞ	ÜST	16,027	22,500
HİZMET 1	DC+DW+LL+IM	KİRİŞ	ÜST	20,781	30,000
HİZMET 1	DC+DW	DÖŞEME	ÜST	0,525	11,250
HİZMET 1	DC+DW+LL+IM	DÖŞEME	ÜST	4,204	15,000
HİZMET 3	DC+DW+0,8(LL+IM)	KİRİŞ	ALT	-0,894	-3,536

Tercihli Sehım Hesabı

Madde 2.5.2.6.2' ye göre hareketli yük durumunda müsade edilebilir maksimum sehım açıklık oranı = 1/800

Madde 3.6.1.3.2'ye göre hareketli yük sehım hesabında aşağıdakilerden en büyüğü kullanılacaktır.

yalnızca kamyon = 25 mm

25% kamyon ve şerit yükü = $0,25(25) + 11 = 17$ mm

$25/30000 = 1/1200 < 1/800$

DAYANIM 1

DAYANIM 1 YÜK KOMBİNASYONU MOMENT,

$$M_u = 1,25 M_{dc} + 1,5 M_{dw} + 1,75 M_{l+im}$$

ORTA AÇIKLIK, $M_u = 7252 \text{ kN-m}$

İtibari moment kapasitesi (Denklem 5.7.3.2.2-1)

T kesitler için

$$M_n = A_{ps} f_{ps} \left(d_p - \frac{a}{2} \right) + 0,85 f_c' (b - b_w) h_f \left(\frac{a}{2} - \frac{h_f}{2} \right)$$

Dayanım 1

$$f_{ps} = f_{pu} \left(1 - k \frac{c}{d_p}\right)$$

Denklem 5.7.3.1.1-1

k = 0,28 düşük gevşemeli tendonlar için

$d_p = 1625 \text{ mm} - 299 \text{ mm} = 1326 \text{ mm}$, en uzaktaki basınç lifinden tendon merkezine olan uzaklık

$$c = \frac{A_{ps} f_{pu} - 0,85 f_c' (b - b_w) h_f}{0,85 f_c' \beta_1 b_w + k A_{ps} \frac{f_{pu}}{d_p}}$$

c değeri 200 mm üstünde olduğu sürece doğrudur.

Dayanım 1

$$d_p = 1326 \text{ mm}$$

$$A_{ps} f_{pu} = 8270073 \text{ N}$$

$$0,85fc'\beta_1 b_w = 7225 \text{ N/mm}$$

$$kA_{ps} f_{pu}/d_p = 1746/\text{mm}$$

$$0,85fc'(b-b_w)h_f = 5585714 \text{ N}$$

$$c = 299 \text{ mm}$$

$$a = 254 \text{ mm}$$

$$f_{ps} = 1744 \text{ MPa}$$

$$M_r = \phi M_n \quad \phi = 1,00 \text{ – Madde 5.5.4.2}$$

$$M_n = M_r = 9.447 \text{ kN-m} > M_u = 7252 \text{ kN-m}$$

Maksimum donatı

2007 LRFD şartnamesinde 2005 de olan maksimum donatı sınırı kaldırılmıştır.

Minimum donatı veya minimum tasarım momentini sağlayacak donatı miktarı

M_r $1,2 M_{cr}$ veya $1,3M_u$ nun küçüğü olarak alınacaktır –
Madde 5.7.3.3.2

Çatlama momenti, M_{cr} :

$$M_{cr} = S_{ak}(f_r + f_{cpe}) - M_{dnc} \left(\frac{S_{ak}}{S_a} - 1 \right) > S_{ak}f_r$$

Beton çekme çatlama sınırı

$$f_r = 0,63 \sqrt{f_c} = 4,45 \text{ MPa}$$

Efektif öngerilme sırasında kiriş altındaki gerilme

$$f_{cpe} = P_{pe}/A + P_{pe}e_c/S_a = 12,45 + 13,21 = 25,67 \text{ MPa}$$

Minimum donatı veya minimum tasarım momentini sağlayacak donatı miktarı

$$M_{dnc}(S_{ak}/S_a - 1) = 1217,62 \text{ kN-m}$$

$$M_{cr} = 6342 - 1217 = 5125 \text{ kN-m} > 938 \text{ kN-m}$$

$$1,2 M_{cr} = 6149 \text{ kN-m}$$

$$1,33 M_u = 8828 \text{ kN-m}$$

$$\min M_r = 6149 \text{ kN-m} < \text{Tasarım } M_r = 9447 \text{ kN-m}$$

Kesme Tasarımı

İtibari kesme V_n aşağıdakilerin küçüğü olarak kullanılacaktır. (Madde 5.8.3.3)

$$V_n = V_c + V_s + V_p$$

$$V_n = 0,25f'_c b_v d_v + V_p$$

$V_c = 0,083\beta (\sqrt{f'_c}) b_v d_v$ denklem 5.8.3.3-3 alternatif olarak madde 5.8.3.4.3 kullanılabilir.

Kesme tasarımı

Kesme Tasarımı Şekil C5.8.3.4.2-5 de (veya Şekil C5) verilen algoritmaya göre yapılmıştır. Bu algoritmada $0,5\cot\theta = 1$ olarak kabul edilmiştir.

İlk önce basınç ve gerginlik merkezleri arası mesafe olan d_v değeri hesaplanacaktır

$$d_v = M_n / A_{ps}f_{ps}$$

Kılıflama yapıldığı ve kritik kesme mesnete yakın olduğu için A_{ps} 'in uç bölgedeki değeri kullanılacaktır.

Kesme tasarımı

Uç bölgede $M_n = 7650 \text{ kN-m}$, ve $A_{ps} f_{ps} = 6162 \text{ kN}$

$$d_v = 1242 \text{ mm}$$

Öngerilmelinin kesmeye katkısı yoktur. $V_p = 0$

b_v değeri minimum gövde genişliği olarak alınacaktır.

$$b_v = 180 \text{ mm}$$

$$\phi = 0,90 \text{ Madde 5.5.4.2}$$

Kesme Tasarımı

Mesnetten d_v kadar uzakta (yükler analiz modeleinden elde edilmiştir).

$$V_{dc} = 258 \text{ kN}$$

$$V_{dw} = 32 \text{ kN}$$

$$V_{ll+1m} = 412 \text{ kN}$$

$$V_u = 1091 \text{ kN Dayanım 1 yük bileşeni}$$

Kesme gerilmesi (denklem 5.8.2.9-1)

$$v_u = V_u / \phi b_v d_v = 5,426 \text{ MPa}$$

Kesme Tasarımı

M_u nun hesaplanması (yükler analizlerden hesaplanıyor)

$$M_u > V_u d_v = 1355 \text{ kN-m (limit)}$$

$$M_{l+1m} = 769 \text{ kN-m}$$

$$M_{dc} = 333 \text{ kN-m}$$

$$M_{dw} = 72 \text{ kN-m}$$

$$M_u = 1869 \text{ kN-m} > 1355 \text{ kN-m}$$

Kesme tasarımı

$$\varepsilon_x = \frac{\frac{M_u}{d_v} + 0,5N_u + 0,5|V_u - V_p| \cot \theta - A_{ps}f_{po}}{2(E_s A_s + E_p A_{ps})}$$

$\varepsilon_x = -0,00181 < 0$, sıfırdan küçük olduğundan denklem 5.8.3.4.2-3 kullanalım

$$\varepsilon_x = \frac{\frac{M_u}{d_v} + 0,5N_u + 0,5|V_u - V_p| \cot \theta - A_{ps}f_{po}}{2(E_c A_c + E_s A_s + E_p A_{ps})}$$

Kesme tasarımı

ε_x yaklaşık olarak 0 ve v_u/f_c de yaklaşık olarak 0,1 dolayısı ile Tablo 5.8.3.4.2-1 e göre

$$\theta = 22,5 \text{ ve } \beta = 3,14$$

Kesme tasarımı

$$V_c = 0,083\beta (\sqrt{f_c'}) b_v d_v = 412 \text{ kN}$$

$$\text{Gereken minimum } V_s = V_n - V_c = 801 \text{ kN}$$

Denklem 5.8.3.3-4 e göre $A_v/s = 0,64 \text{ mm}^2/\text{mm} > \text{min } A_v/s$

Min A_v/s – denklem 5.8.2.5 e göre = $0,25 \text{ mm}^2/\text{mm}$

$\phi 16/500$, $A_v/s = 2*200/500 = 0,80 \text{ mm}^2/\text{mm} > 0,64 \text{ mm}^2/\text{mm}$

$\text{max } s = 610 \text{ mm} < 0,8*1242 = 993$ denklem 5.8.7.2-1

Kesme tasarımı

Uzunlamasına donatı yeterli mi? (Madde 5.8.3.5)

$$A_{ps}f_{ps} + A_s f_y > \frac{|M_u|}{d_v \phi_f} + 0,5 \frac{N_u}{\phi_c} + \left(\left| \frac{V_u}{\phi_v} - V_p \right| - 0,5V_s \right) \cot \theta$$

Not: Üst taraftaki tendonlar bu hesapta dikkate alınmamıştır ve ilk başta $A_s f_y = 0$ ve $M_u = 0$ (mesnet yakın, bakınız şekil C5.8.3.5-1) olarak kabul edilmiştir.

$$5105 \text{ kN} > 0 + 0 + (1212 - 0,5 \times 1022) \times 2,43 = 4186 \text{ kN}$$

Yeterli

Döşeme ile giriş arasında kesme kuvvetinin transferi

Dayanım 1: Yük bileşeni kullanarak, DC hariç

$$V_u = 1.50(V_{dw}) + 1.75(V_{LL+IM}) = 769 \text{ kN}$$

$$V_h = V_u/d_v \text{ (Denklem C5.8.4.2-7)}$$

$$V_h = 769/1242 \times 1000 = 619 \text{ N/mm}$$

$$V_n = 619/0,9 = 688 \text{ N/mm}$$

$$V_{ni} = cA_{cv} + \mu(A_{vf} f_y + P_c) \text{ Denklem 5.8.4.1-3}$$

$$cA_{cv} = 1,93 \times 400 = 772 \text{ N/mm} > V_n - A_{vf} < 0$$

Minimum donatı yeterli.

Enine Tasarım

Çalışma olarak verilmiştir.

Kaynakça:

- AASHTO – LRFD 2007
- PCI BRIDGE DESIGN MANUAL