Sürekli Kompozit I-Kiriş Tasarımı

AASHTO – LRFD 2007

Alp Caner

Köprü Açıklığının Tanımı

Tasarım açıklığı = 50 metre (mesnetler arası)
Kiriş uzunluğu = 51 metre
Köprü döşeme genişliği = 12 metre
Köprü Toplam Uzunluğu = 102 metre

Tablo 2.5.2.6.3-1 e göre kompozit I-kirişli üst yapının döşeme dahil minimum derinliği = 0,032L

Minimum tabliye derinlik = 0,032x50 = 1,6 m.

Minimum kiriş derinliği = 0,027 L = 1,35 m.

Kiriş derinliğini 1,75 m alalım, döşeme kalınlığı olarak da 0,25 cm kullanalım. Toplam tabliye derinliği = 2,00 m > 1,60 m

Kiriş Özellikleri – Ön Tasarım

Kiriş gövdesinde berkitmeler kullanılacaktır.

Madde 6.10.2.1.2 ye göre gövde plaka kalınlığı hesabı

$D/t_w < 150$ - $tw > 175/150 = 1{,}16$ cm

$t_w = 1{,}40$ cm $> 1{,}16$ cm kullanalım

Kiriş Özellikleri – Ön Tasarım

Madde 6.10.2.2 ye göre flanş boyutları

$b_f/2t_f < 12,0$

$b_f > D/6$

$b_f > 175/6 = 29.17$ cm $b_f = 45$ cm kullanalım.

$b_{fc} > L/85 = 50000/85 = 588$ mm bf = 60cm kullanalım - (Madde C6.10.3.4)

$t_f > 60/2x12 = 2,50$ cm

$t_f > 1,1\ t_w = 1,1 \text{ x } 1,40 = 1,54$ cm, $t_f = 3,00$ cm kullanalım

Kiriş Aralığı

12 metre genişliğindeki döşeme için 5 tane kiriş kullanalım.

Kiriş aralığı = 12/5 = 2,40 metre olacaktır.

Üst Yapı Malzeme Özellikleri

Döşeme 28 günlük beton basınç dayanımı	=	25 MPa
Döşeme elastik modulusu	=	23.630 MPa
I-Kiriş akma gerilmesi	=	345 MPa
I- Kiriş kopma gerilmesi	=	450 MPa
I-kiriş elastik modulus	=	200.000 MPa

Elastik modulus denklem 5.4.2.4-1 ın basitleştirilmiş haline göre hesaplanmıştır $E = 4726 \sqrt{(fc)}$. Burdaki fc Mpa cinsindendir.

Donatı Malzeme Özellikleri

Akma dayanımı, fy = 420 MPa

Elastik Modulus = 200,000 MPa (Madde 5.4.3.2)

Modular Oran ve Dönüştürülmüş Döşeme Özellikleri

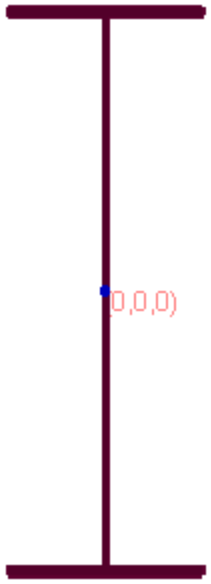
Kısa süreli yükler için , n, değeri kullanılacaktır. (Madde 6.10.1.1.1)

Modular oran = E / Edöşeme = n = 200000 / 23630 = 8,46

Uzun süreli yükler için (DW)

Modular oran = 3n = 25,38

Seçilen Kirişin Geometrik Özellikleri



Materials | **Sections** | UCS | Spring Properties | Isolator Definitions | Material Time Effects | Temperatu

Properties | Stress Recovery Points | Section Dimensions

	Name	Section Area (mm²)	Shear Area in yy (mm²)	Shear Area in zz (mm²)	Torsion Constant (mm^4)	Inertia Izz (mm^4)	Inertia Iyy (mm^4)	Pla Modul (m
1	rigida	5,0000e7	5,0000e7	5,0000e7	0,0000	2,0000e12	2,0000e12	
2	kiris2	43.800,0000	24.500,0000	16.666,6667	5,7216e6	2,0611e10	2,6706e8	
3	kiris3	50.660,0000	24.500,0000	22.500,0000	9,6458e6	2,5603e10	4,5601e8	
4	kiris4	59.660,0000	24.500,0000	30.000,0000	1,2346e7	3,2260e10	1,0804e9	
5	kalip	2.000,0000	0,0000	0,0000	2.000,0000	2.000,0000	2.000,0000	
6	kiris1	42.196,0000	42.196,0000	42.196,0000	3,9272e6	1,6098e10	1,5017e8	
7	capraz	11.200,0000	11.200,0000	11.200,0000	1,4422e6	2,3193e7	5,6853e7	
8	Double Angle	4.512,0000	4.512,0000	4.512,0000	2,0973e5	4,2003e6	9,8559e6	
9								

Kompozit Enkesit – Efektif Flanş Genişliği (Madde 4.6.2.6.1)

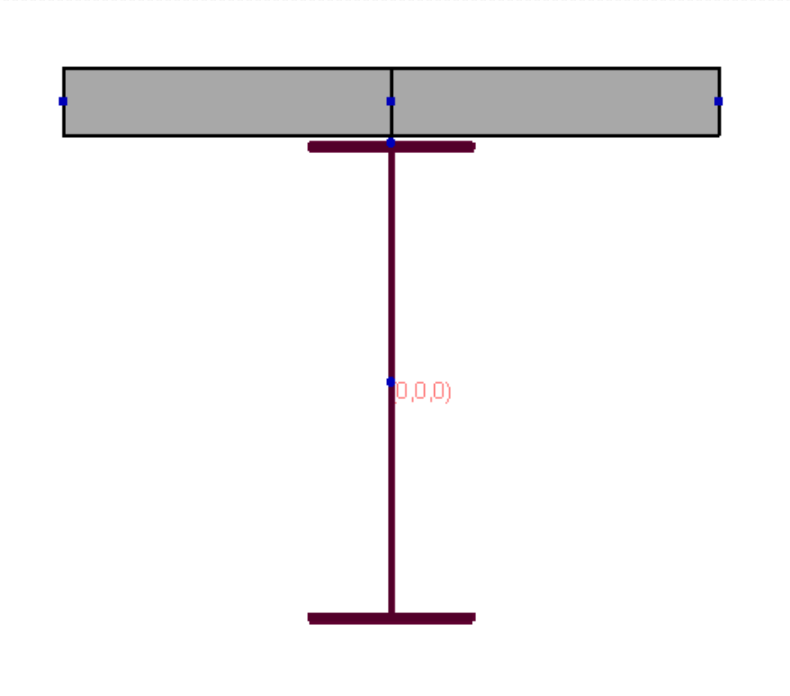
Döşeme Efektif Flanş Genişliği için en az olmak kaydıyla

¼ tasarım açıklığı = 50/4 = 12,5 m

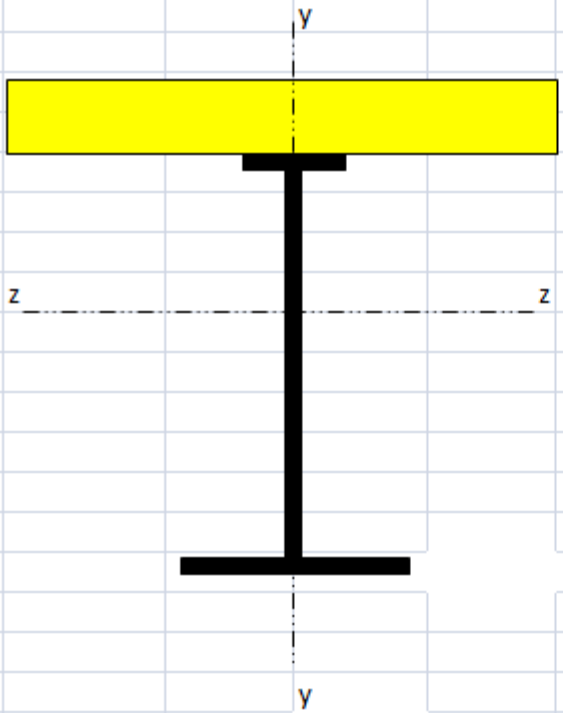
12 x döşeme kalınlığı + ½ kiriş üst flanş =12x0,25+0,5x0,6 = 3,3 m

Kirişler arası mesafe = 2,4 m

En küçük olan kirişler arası mesafe = 2,4 m



Kompozit Kiriş



As Döş.	7741	mm2
Döşeme		
kalınlık	250	mm
genişlik	2400	mm
kiriş		
üst flanş		
kalınlık	30	mm
genişlik	600	mm
WEB		
kalınlık	14	mm
yükseklik	1690	mm
alt flanş		
kalınlık	30	mm
genişlik	600	mm
YBAR	875,00	mm
fc' =	25	MPa
Ec=	23630	MPa
n=	8,46381718	
H =	1750	mm

Kompozit Kiriş

kiriş özellikleri									
A=	5,96600E+04	mm^2							
Iy-y=	1,08039E+09	mm^4	S_b^S	36868088	mm^3				
Iz-z=	3,22596E+10	mm^4	S_t^S	36868088	mm^3				
Ix-x=	1,23458E+07	mm^4							
uzun süreli yükler için kesit özellikleri (N=3X8=24)									
	boyut		A	Y	AY	AY^2	Iz-z	Iy-y	Ix-x
			mm^2	mm	mm^3	mm^4	mm^4	mm^4	mm^4
çelik			59660,00	875,00	5,22025E+07	4,56772E+10	3,22596E+10	1,08039E+09	1,23458E+07
beton	250	2400	23630,00	1900,00	4,48970E+07	8,53043E+10	1,23073E+08	1,13424E+10	4,80000E+10
toplam			83290,00	1165,80	9,70995E+07	1,30981E+11	5,01655E+10	1,24228E+10	4,80123E+10
kısa süreli yükler için kesit özellikleri (N=8)									
	boyut		A	Y	AY	AY^2	Iz-z	Iy-y	Ix-x
			mm^2	mm	mm^3	mm^4	mm^4	mm^4	mm^4
çelik			59660,00	875,00	5,22025E+07	4,56772E+10	3,22596E+10	1,08039E+09	1,23458E+07
beton	250	2400	70890,00	1900,00	1,34691E+08	2,55913E+11	3,69219E+08	3,40272E+10	1,36109E+11
toplam			130550,00	1431,59	1,86894E+08	3,01590E+11	6,66648E+10	3,51076E+10	1,36121E+11

Diyaframlar - çaprazlar

Madde 6.7.4.2 ye göre çaprazların sıklığı, $L_b < L_r < 9m$ olmak durumundadır.

$$L_r = \pi r_t \sqrt{\frac{E}{F_{yr}}} \qquad \text{(denklem 6.10.8.2.3-5)}$$

$F_{yr} = 0{,}7\ F_{yc} = 0{,}7 \text{ x } 345 = 242$ MPa

$$r_t = \frac{b_{fc}}{\sqrt{12\left(1 + \frac{D_c t_w}{3 b_{fc} t_{fc}}\right)}} \qquad \text{(denklem 6.10.8.2.3-9)}$$

Çapraz sıklığı

D_c = çelik üst flanş ve tarafsız eksen arasındaki mesafe (Madde D6.3.1) = 845 mm (kiriş için)

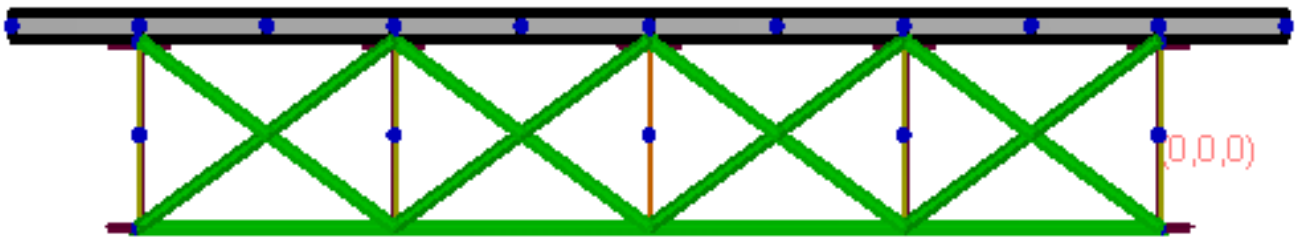
r_t = 157 mm

Lr = 14,1 m > 9m - tasarımda 5 metrede bir kullanalım.

Mesnet Özellikleri-Ön Tasarım

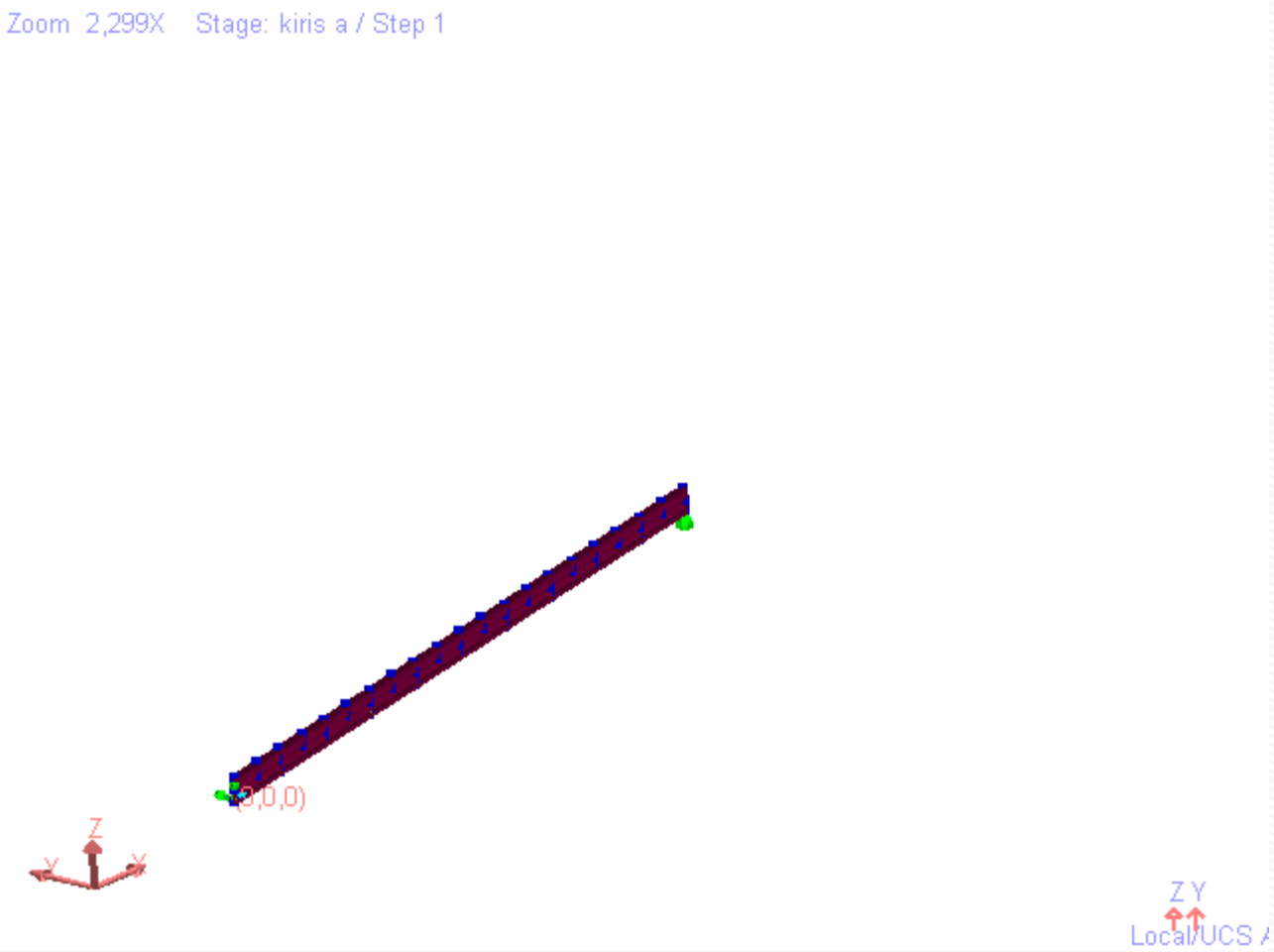
Orta ayak üzerinde hareketsiz mesnet ve kenar ayaklar üzerinde ise hareketli mesnet seçilmiştir.

Kesit

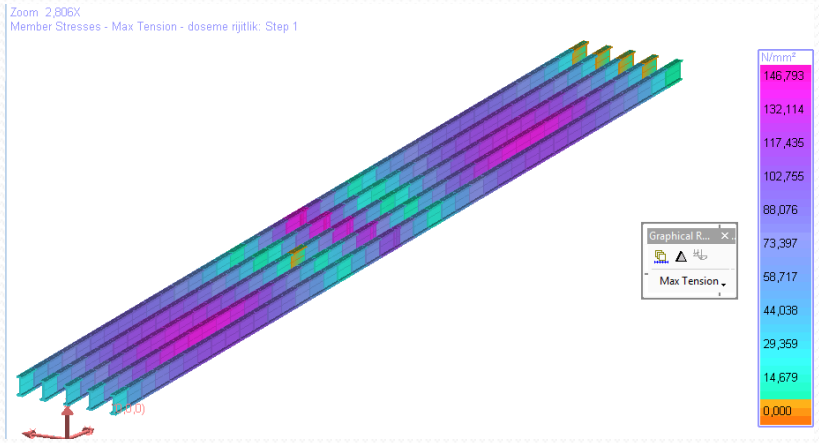


Niye yapım aşaması ?

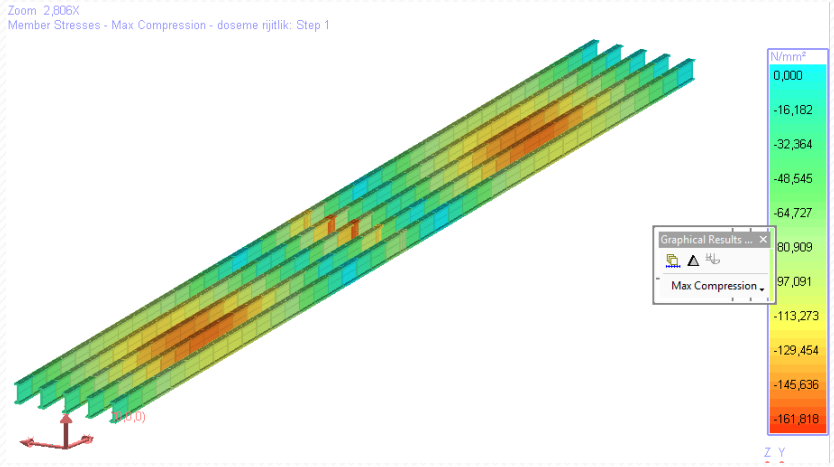
Köprü yapım aşamaları



Yapım aşamasındaki maksimum gerilmeler (Döşeme döküldükten sonra)



Maksimum gerginlik gerilmesi = 148 MPa



Maksimum basınç gerilmesi = 162 MPa

Yapım aşaması ara destekli flanşlar için basınç gerilme sınırı (Madde 6.10.3.2.1)

$$f_{bu} + \frac{1}{3} f_l < \phi_f F_{nc}$$ (denklem 6.10.3.2.1-2)

$$F_{nc} = \frac{M_{nc}}{S_{xc}}$$

If $L_b < L_p$

$$M_{nc} = R_{pc} M_{yc}$$

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

= 3,4 m < L_b = 5m (denklem A6.3.3-4 – sınırlayıcı desteksiz uzunluk)

$$L_r = 1{,}95 \frac{E}{F_{yr}} \sqrt{\frac{J}{S_{xc} h}} \sqrt{1 + \sqrt{1 + 6{,}76 \left(\frac{F_{yr}}{E} \frac{S_{xc} h}{J} \right)^2}}$$

= 14,6 m (denklem A.6.3.3-5 – sınırlayıcı desteksiz uzunluk basıç flanşında kalıcı gerilme olması durumunda)

Yapım aşaması ara destekli flanşlar için basınç gerilme sınırı (Madde 6.10.3.2.1)

R_{pc} değerini bulabilmek için gövdenin kompakt olup olmadığını Madde A6.2.1 e göre değerlendirmek gerekiyor.

$$\frac{2D_{cp}}{t_w} < \lambda_{pw(Dcp)}$$ (denklem A6.2.1-1)

$$\lambda_{pw(Dcp)} = \frac{\sqrt{\frac{E}{F_{yc}}}}{\left(0{,}54\frac{M_p}{R_h M_y} - 0{,}09\right)^2}$$ (denklem A6.2.1-2)

Yapım aşaması ara destekli flanşlar için basınç gerilme sınırı (Madde 6.10.3.2.1)

Hibridlik katsayısı – denklem 6.10.1.10.1-1, $\rho = 1$ gövde ve flanş akma dayanımları birbirlerine eşit

$$R_h = \frac{12 + \beta(3\rho - \rho^3)}{12 + 12\beta}$$

$$\beta = \frac{2D_c t_w}{A_{fn}} = 1{,}314$$ denklem 6.10.1.10.1-2

$R_h = 1{,}09$

Yapım aşaması ara destekli flanşlar için basınç gerilme sınırı (Madde 6.10.3.2.1)

Kompozit olmayan kesit için plastik moment Mp Tablo D6.1-1 de beton özellikleri çıkarılarak Durum 1 e göre hesaplanacaktır.

Pw =	8162700	N	Madde D6.1
Pt =	6210000	N	Madde D6.1
Pc =	6210000	N	Madde D6.1
Y bar =	845	mm	Tablo d6.1-1
Mp =	14130	kN-m	Tablo d6.1-1
My =	12719	kN-m	Madde D6.2.1
Mp/My =	1,11		
λpw(Dcp) =	113,58		a6.2.1-2
2Dcp/tw =	120,71	< λpw(Dcp)	gövde kompakt değil

Yapım aşaması ara destekli flanşlar için basınç gerilme sınırı (Madde 6.10.3.2.1)

Kompakt olmayan gövdeler için narinlik sınırı – denklem A 6.2.1-3

$$\lambda_{rw} = 5{,}7\sqrt{\frac{E}{F_{yc}}}$$ = 137,24 > 2Dcp/tw = 120 – uygun

$$R_{pc} = \left[1 - \left(1 - \frac{R_h M_{yc}}{M_p}\right)\left(\frac{\lambda_w - \lambda_{pw(Dc)}}{\lambda_{rw} - \lambda_{pw(Dc)}}\right)\right]\frac{M_p}{M_{yc}} < \frac{M_p}{M_{yc}}$$ denklem A 6.2.2-4

R_{pc} = 1,10 < 1,11

Yapım aşaması ara destekli flanşlar için basınç gerilme sınırı (Madde 6.10.3.2.1)

Yanal burulma bükülme direnci

Lp< 5m < Lr – denklem A6.3.3-2

$$M_{nc} = C_b\left[1-\left(1-\frac{F_{yr}S_{xc}}{R_{pc}M_{yc}}\right)\left(\frac{L_b-L_p}{L_r-L_p}\right)\right]R_{pc}M_{yc} < R_{pc}M_{yc}$$

= 13470 kN-m

F_{nc} = M_{nc} /S_{xc} = 365 MPa - Madde 6.10.3.2.1

$\phi_f F_{nc}$ = 365 MPa > fbu =1,25 x 162 = 203 Mpa

Madde 3.4.2 e göre yapım sırasındaki gerilme katsayıları dayanım 1 yük bileşenlerini kullanılarak hesaplanmıştır.

Yapım aşaması sırasında gergin gerilmenin değerlendirmesi (Madde 6.10.3.2.2)

$f_{bu} < \phi_f R_h F_{yt}$

Dayanım1 yük bileşenleri kullanılacaktır

1,25x148 < 1 x 1,09 x 345 (185 MPa < 376 MPa)

Yapım aşamasında kesme değerinin değerlendirilmesi (Madde 6.10.3.3)

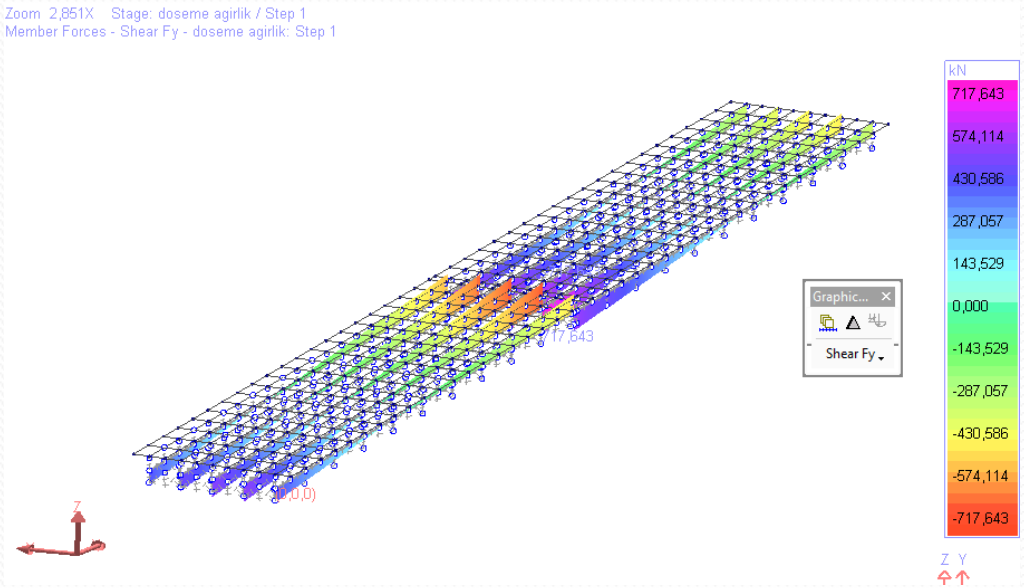
$V_u < \phi_v V_{cr}$

Dayanım 1 durumu

$V_u = 1{,}25 \times 718$

$= 898$ kN

$\phi_v = 1{,}00$



Yapım aşamasında kesme değerinin değerlendirilmesi (Madde 6.10.3.3)

Madde 6.10.9.2 ye göre itibari kesme direnimi

$V_n = V_{cr} = CV_p$

Berkitmesiz gövdeler için

$Vp = 0{,}58F_{yw}Dt_w = 4734$ kN denklem 6.10.9.2-2

Kesme bükülme/akma oranı, C denklem 6.10.9.3.2-6

$$\frac{D}{t_w} > 1{,}40\sqrt{\frac{Ek}{F_{yw}}}$$ olması durumu için $$C = \frac{1{,}57}{\left(\frac{D}{t_w}\right)^2}\left(\frac{Ek}{F_{yw}}\right)$$

k = 5,0 kesme burulma katsayısı, C=0,312

$V_n = 1479$ kN > $V_u = 898$ kN

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 2

Q= 1,00 (DC+DW) +1,30(LL+IM)

DAYANIM 1

MAKSİMUM Q = 1,25 DC + 1,50 DW + 1,75(LL+IM)

MİNİMUM Q = 0,90 DC + 0,65 DW + 1,75(LL+IM)

YORULMA

Q = 0,75 (LL+IM)

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.

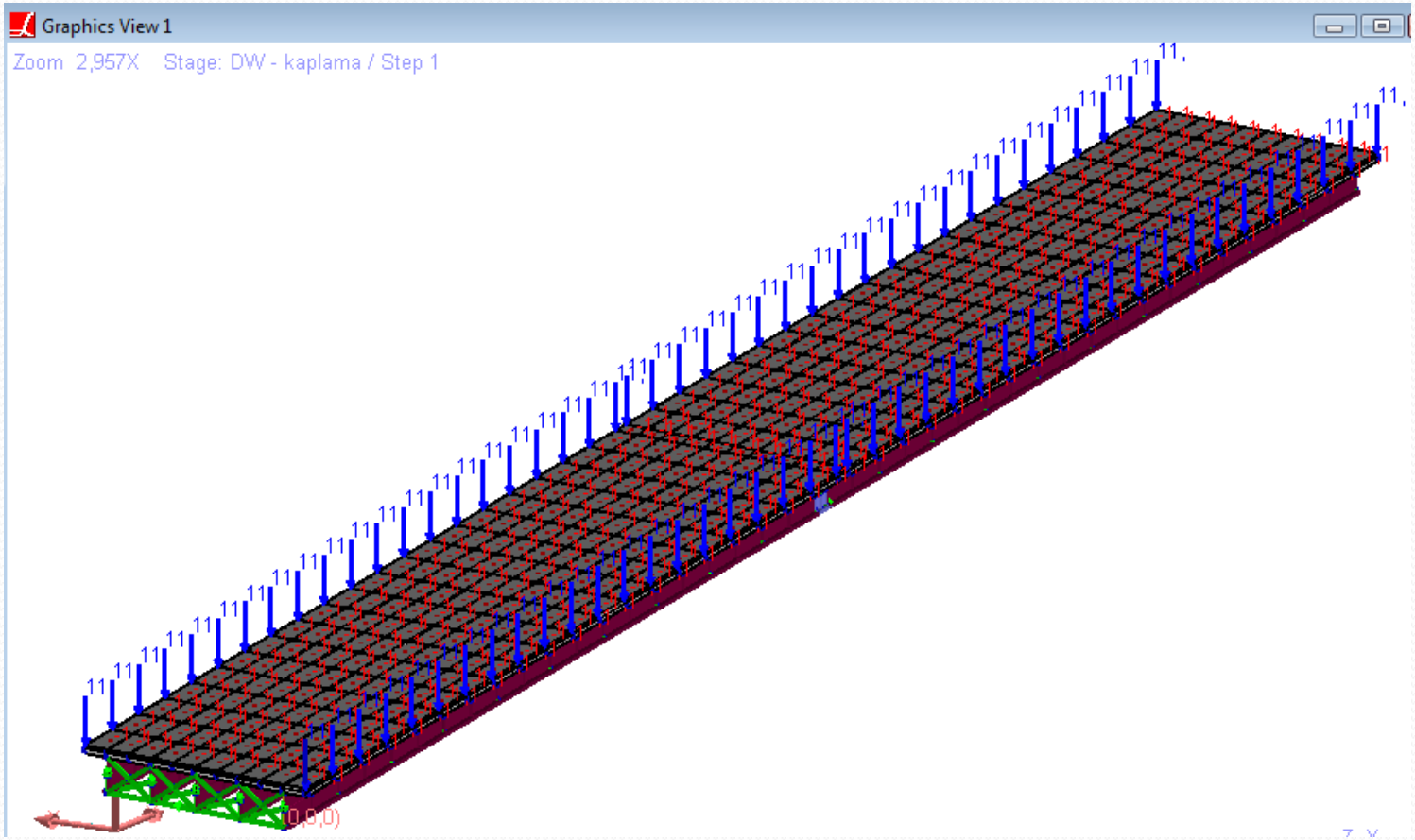
Bu çalışma içerisinde yükler analiz modeline etkiletilmiştir.

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

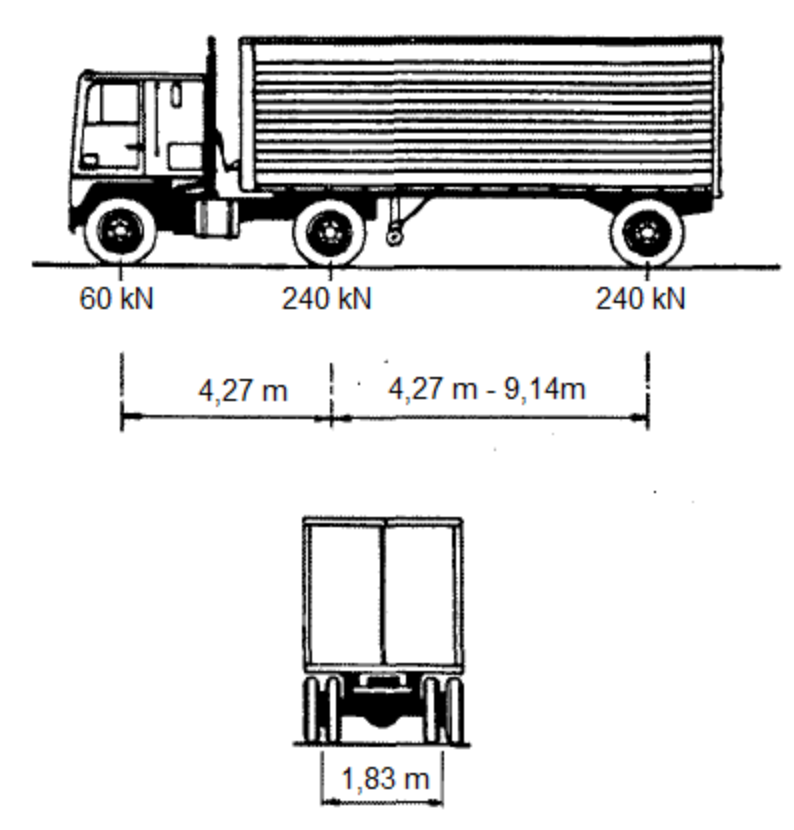
5 cm lik asfalt kaplamanın ağırlığı

= 22 kN/m^3 x 0,05 = 1,1 kN/m^2

DW



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 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.

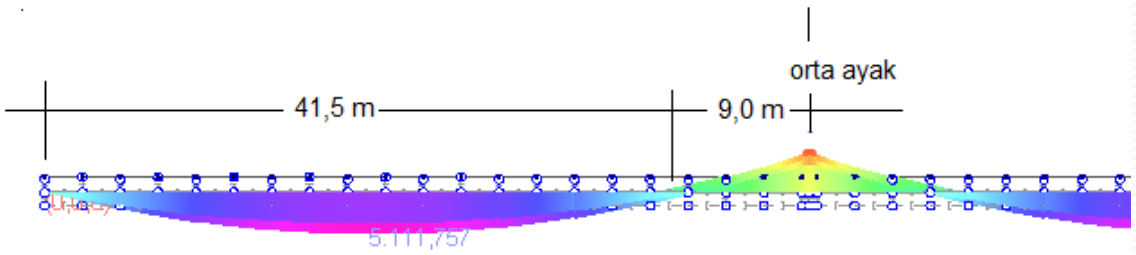
LL – Yürüyüş yolu

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

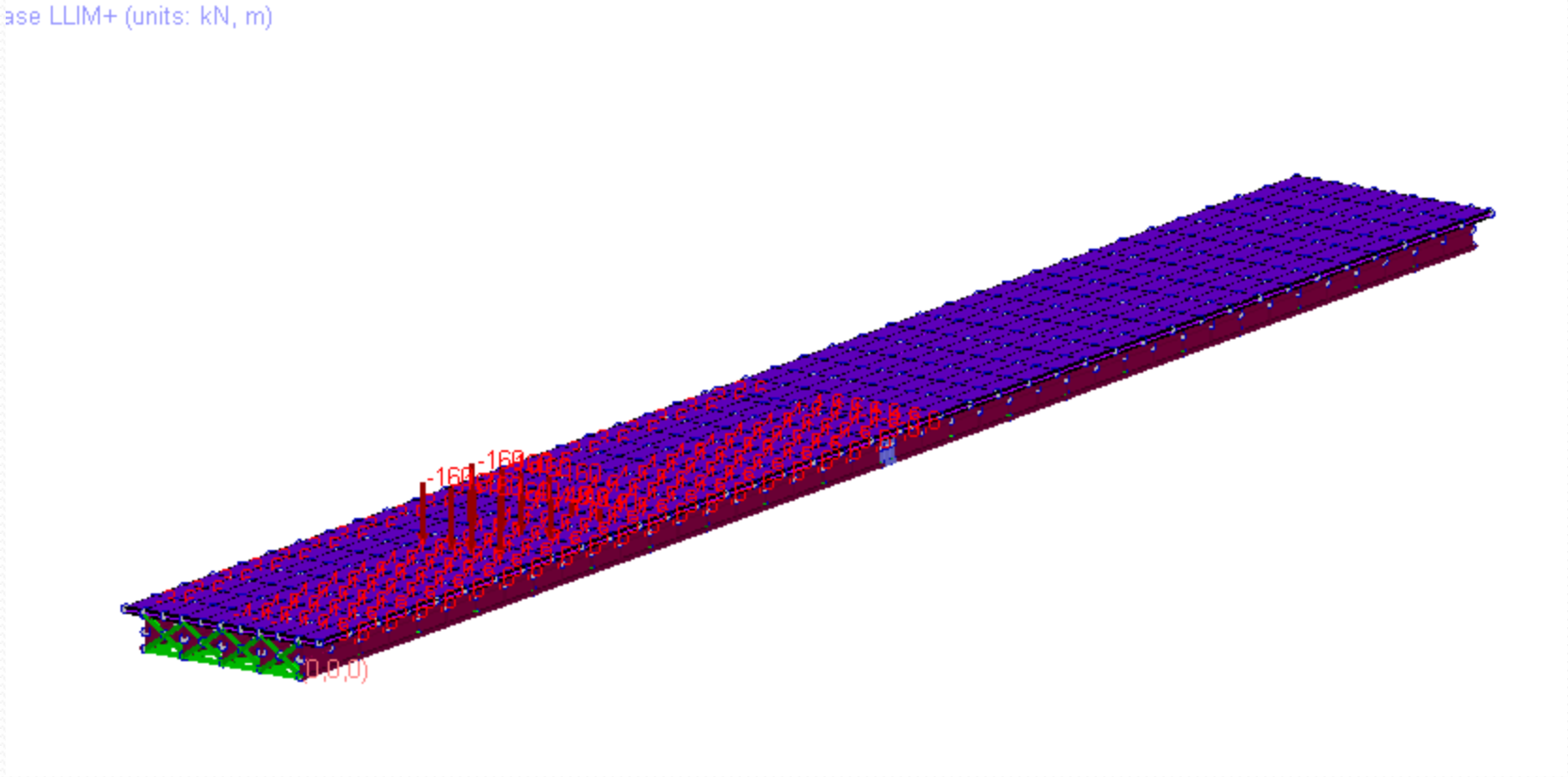
Yaklaşık olarak hareketli yük için yer belirlemesi

Açıklıkta pozitif moment için tek kamyonun ağırlık merkezi kenar ayakdan yaklaşık olarak 21 metre uzaklığa yerleştirilecektir. Şerit yükü düzgün yayılı olarak kullanılacaktır.

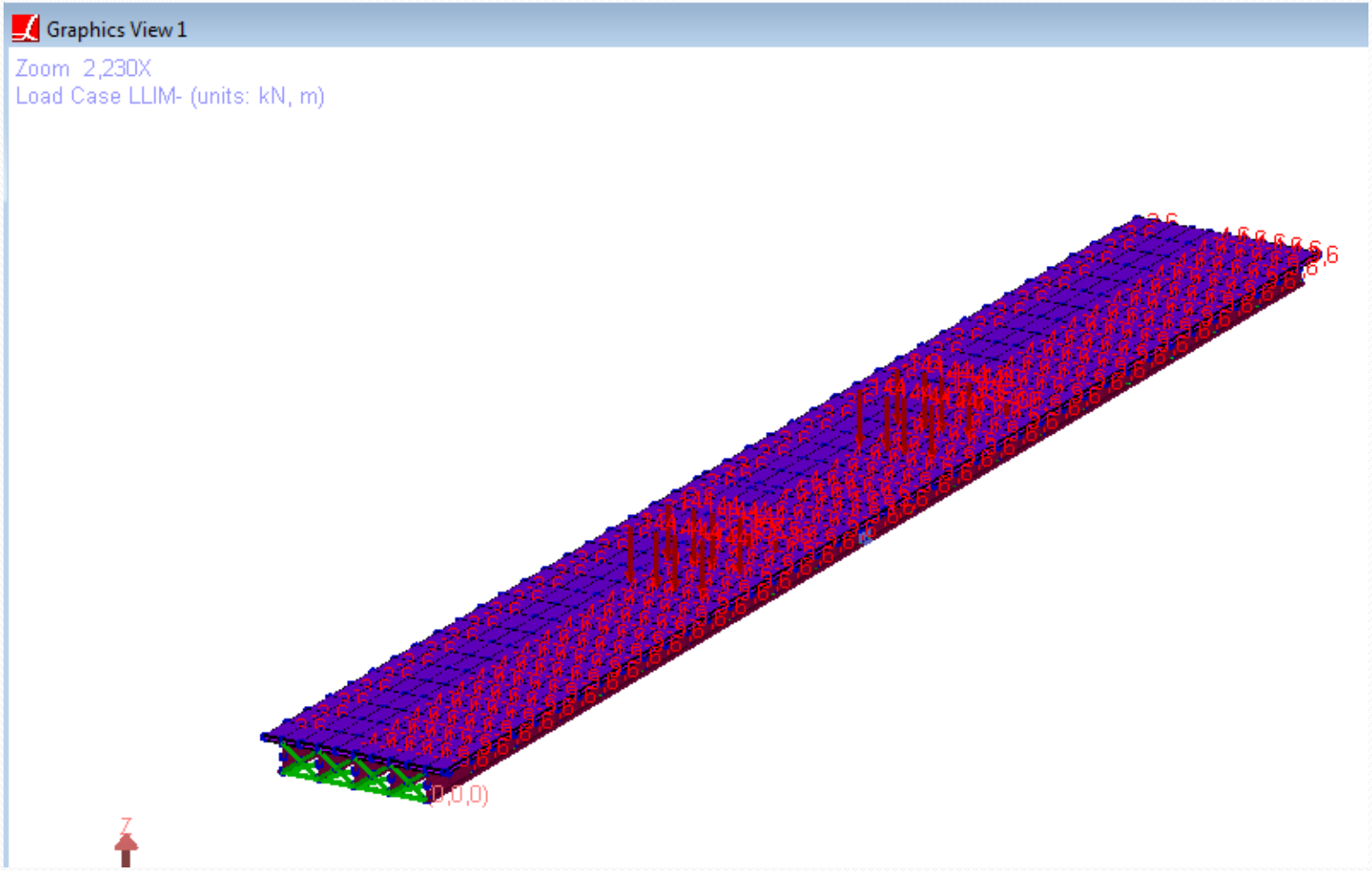
Negatif moment ve orta ayak reaksiyonu için ise 2 kamyon (tasarım kamyonun %90 ağırlığında) orta ayakdan 9 metre mesafe ile yerleştirilecektir. Şerit yükü düzgün yayılı olarak kullanılacaktır. Madde 3.6.1.3.1



Hareketli yükün pozitif moment için yüklemesi



Hareketli yükün negatif moment ve orta ayak reaksiyonu için yüklemesi



Kullanım2

Madde 6.10.4.2.2 ye göre değerlendirme yapılacaktır.

Üst flanş için kompozit durumda

$$f_f < 0{,}95 R_h F_{yf}$$

Alt flanş için kompozit durumda

$$f_f + \frac{f_l}{2} < 0{,}95 R_h F_{yf}$$

Kompozit olmayan kesitlerde

$$f_f + \frac{f_l}{2} < 0{,}80 R_h F_{yf}$$

Rh – parametresinin hesabı Madde 6.10.1.10.1

Karma parametresi kompozit özellikler gözönüne alınarak tespit edilecektir.

Dn = ybot – tf = 1431-30 = 1401 mm

β = 2(1401)(14)/(30)/(600) = 2,18

Rh = (12+2,18(2))/(12+2,18(2)) = 1,00

Kullanım 2 Gerilmeler

Yükleme		0,4 L - Pozitif Mom		L - Negatif Mom	
		Üst Flanş	Alt Flanş	Üst Flanş	Alt Flanş
		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
DC		-156	139	123	-124
DW		-10	16	18	-34
LLIM		-28	91	19	-66
DC+DW		-166	155	141	-158
DC+DW+1,3(LL+IM)		-202,4	273,3	165,7	-243,8

DC+DW durumunda gerilmeler 276 MPa den ve
DC+DW + 1,3 LLIM durumunda gerilmeler 327 MPa den düşüktür
Yine kullanım 2 de döşeme gerilmeleri 0,1 fc ye denk gelmektedir.

Yorulma Sınır Durumu

Bu örnekte yorulma sınır durumu kirişin kirişe olan bağlantısında incelenecektir. Çalışma.

Dayanım 1- 0,4L, M+

Madde 6.10.6.2.2 ye göre kompaktlik değerlendirmesi

Flanş akma sınırı = 345 MPa < 483 MPa

D/tw = 1750/14 = 125 < 150 (Madde 6.10.2.1)

$$\frac{2D_{cp}}{t_w} < 3{,}76\sqrt{\frac{E}{F_{yc}}}$$ (denklem 6.10.6.2.2-1)

Pozitif moment için

$$D_{cp} = \frac{D}{2}\left(\frac{F_{yt}A_t - F_{yc}A_c - 0{,}85\,fc'\,A_s - F_{yrs}A_{rs}}{F_{yw}A_w} + 1\right)$$ (denklem D6.3.2-1)

Dayanım 1 - 0,4L, M+

Dcp < 0 bundan dolayı Dcp = 0 < 90

Kesit kompakt olarak kabul edilebilir. Gövde basınç altında değil.

Yükleme			0,4L, Mk+	0,4L, Mz+
			(kN-m)	(kN-m)
DC			5099	31
DW			663	1
LLIM			4270	4
1,25DC+1,50DW+1,75LLIM			14841	47
0,90DC+0,65DW+1,75LLIM			12493	36
Mk = kuvvetli eksene etkiyen moment				
Mz = zayıf eksene etkiyen moment				

Dayanım 1 - 0,4L, M+

$$M_u + \frac{1}{3} f_l S_{xt} < \phi_f M_n$$ (denklem 6.10.7.1.1-1)

$D_p < 0{,}1\ D_t$ olması durumunda $M_n = M_p$ alınacaktır. Bu durumda

$M_n = 1{,}3\ Rh\ M_y$
Rh = 1,00 daha önce kompozit enkesit için hesaplanmıştı.
My – Madde 6.2 ye göre hesaplanacak

Dayanım 1 - 0,4L, M+

M_y denklem 6.2.2-2 ye göre hesaplanacaktır.

$$M_y = M_{D1} + M_{D2} + M_{AD}$$

M_{D1} = 1,25(5099) = 6374 kN-m

M_{D2} = 1,50(663) = 995 kN-m

M_{AD} için aşağıdaki denklem D6.2.2-1 çözülecek

$$F_{yf} = \frac{M_{D1}}{S_{NC}} + \frac{M_{D2}}{S_{LT}} + \frac{M_{AD}}{S_{ST}}$$

Dayanım 1 - 0,4L, M+

alt				
Mad =			6939	kN-m
üst				
Mad =			33611	kN-m

Düşük olan Mad = 6939 kN-m

M_y = 14307 kN-m

M_n = 1,3(1,0)(14307) = 18599 kN-m

Mr = (1,00)(18599) = 18599 kN-m > Mu = 12493 kN-m

Dayanım 1 - L, M- ÖDEV

Negatif moment kapasitesi **<u>ödev olarak çözülecek.</u>**

Mdc (-) = 4687 kN-m

Mdw(-) = 1415 kN-m

Mllım(-) = 5243 kN-m

Tasarım Momentleri- (1 açıklıkta gezen hareketli yük)

	MOMENT LLIM (kN-m)												
		Yükün etkidiği bölge											
		0,1L	0,2L	0,3L	0,4L	0,5L	0,6L	0,7L	0,8L	0,9L	1,0L	UDL	Maksimum
Tasarım Yükleri	0,0L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
	0,1L	1057,14	980,22	760,37	620,90	486,79	361,59	248,30	148,76	64,61	-1,98	654,89	1712,03
	0,2L	1269,71	1875,72	1629,68	1262,05	989,67	736,65	506,98	304,65	132,87	-4,20	1143,80	3019,52
	0,3L	1034,73	1910,52	2363,25	1980,07	1490,02	1109,98	764,89	459,97	200,73	-6,41	1460,92	3824,17
	0,4L	806,66	1512,66	2245,12	2569,27	2072,44	1484,50	1023,58	616,05	268,86	-8,59	1614,75	4184,03
	0,5L	604,19	1126,50	1696,14	2307,10	2525,57	1940,15	1282,25	771,71	336,90	-10,90	1606,99	4132,56
	0,6L	409,26	767,39	1158,43	1612,53	2125,03	2263,71	1619,07	924,68	402,84	-13,88	1436,88	3700,59
	0,7L	216,67	414,88	645,30	925,63	1287,61	1728,49	1818,37	1150,89	463,55	-19,02	1101,61	2919,97
	0,8L	22,91	87,75	133,51	256,46	449,47	746,47	1147,87	1229,23	592,14	-28,38	595,49	1824,72
	0,9L	-175,36	-300,21	-387,96	-421,80	-383,39	-250,97	12,82	415,59	549,29	19,96	-90,12	-511,92
	1,0L	-484,03	-857,60	-1180,53	-1431,27	-1587,08	-1624,18	-1517,71	-1231,05	-735,55	-379,57	-1284,13	-2908,30

Maksimum Pozitif Moment = 4184 kN-m
Maksimum Negatif Moment = 2(0,9)(2908)=5234 kN-m (simetriden dolayı-yaklaşık olarak)

Tasarım Kesme Kuvvetleri – (1 açıklıkta gezen hareketli yük)

	KESME LLIM (kN)												
		Yükün etkidiği bölge											
		0,1L	0,2L	0,3L	0,4L	0,5L	0,6L	0,7L	0,8L	0,9L	1,0L	UDL	Maksimum
Tasarım Yükleri	0,0L	334,47	230,61	177,94	140,63	108,88	80,51	55,12	32,87	14,17	-0,33	156,50	490,97
	0,1L	149,23	274,04	190,84	144,03	109,96	80,93	55,36	33,05	14,29	-0,35	115,01	389,04
	0,2L	-43,17	107,87	238,10	157,74	113,30	81,68	55,38	32,91	14,18	-0,36	77,66	315,76
	0,3L	-54,17	-78,89	74,74	206,87	128,39	86,03	56,83	33,38	14,28	-0,35	42,73	249,59
	0,4L	-44,74	-88,23	-111,37	43,77	177,57	101,05	61,03	34,63	14,59	-0,34	8,33	185,90
	0,5L	-42,11	-78,38	-120,77	-142,67	13,98	149,65	75,42	38,21	15,34	-0,33	-26,21	149,65
	0,6L	-41,45	-76,04	-111,59	-152,98	-173,54	-15,14	122,73	51,28	17,79	-0,26	-61,52	-235,06
	0,7L	-41,90	-76,49	-110,80	-145,71	-186,09	-205,20	-44,85	95,62	28,06	0,40	-98,65	-303,84
	0,8L	-43,70	69,32	-114,68	-149,07	-183,57	-223,01	-240,75	-78,73	64,65	4,80	-140,04	-380,79
	0,9L	-48,06	-87,29	-125,31	-161,82	-196,80	-231,17	-270,54	-290,56	-133,90	18,28	-191,80	-482,36
	1,0L	-59,26	-107,36	-153,52	-197,17	-237,95	-276,43	-316,70	-375,34	-409,03	-244,01	-274,19	-683,22

Dayanım 1-
Kesme Tasarımı - Orta Ayak Ucu

V_u = 1,25(695)+1,50(120)+1,75(683) = 2244 kN

Kiriş sonlarında dikey berkitmeler kullanılacak

V_n Madde 6.10.9.3.2 ye göre hesaplanacak

$$\frac{2Dt_w}{(b_{fc}t_{fc}+b_{ft}t_{ft})} < 2{,}5$$

olması sağlandığından 1,36<2,50, V_n denk. 6.10.9.3.2-2 den hesaplanacaktır.

$$V_n = V_p\left[C + \frac{0{,}87(1-C)}{\sqrt{1+\left(\frac{d_o}{D}\right)^2}}\right]$$

Dayanım 1-
Kesme Tasarımı - Orta Ayak Ucu

Her çaprazın olduğu yerde berkitmeler kullanalım.

Berkitme aralığı = 5000 mm.

$V_n = 4734(0{,}312+0{,}87(1-0{,}312)/(1+(5000/1750)^2)^{0{,}5}))$

$= 2414 \text{ kN} > V_u = 2244 \text{ kN}$

Taşıt yükü altında sehim

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

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

yalnızca kamyon = 44 mm

25% kamyon ve şerit yükü = 0,25(44) + 33 = 44mm

44/50000 = 1/1136 < 1/800

Kiriş ekleme detayı tasarımı

Madde 6.13.6.1.4 e göre kirişlerin ek yerlerinin sabit yük moment diyagramında bulunan moment değişim yerlerinde veya yakınında yapılması tercih edilmektedir.

Tasarım moment tablosuna baktıktan sonra ek yeri orta ayağın ortasından 5 metre uzakta yapılmaya karar verilmiştir.

Ekler hem pozitif moment hem de negatif moment düşünülerek tasarlanacaktır.

Bağlantılar kayma kritik (kaymayacak veya yerinde oynamayacak) şekilde tasarlanacaktır.

Kiriş ekleme detayı tasarımı

Gövde ek bağlantısı (Madde 6.13.6.1.4b) tasarımında dikkate alınacak hususlar:

- Kesme kuvveti
- Dışmerkezli kesmeden oluşan moment
- Gövdenin moment kapasitesine olan katkısı

Kiriş ekleme detayı tasarımı

Gövde plakasında minimum kesme tasarım kuvvetinin hesaplanması

Eğer $V_u < 0{,}5\phi_v V_n$ ise $V_{uw} = 1{,}5\ V_u$ (denk. 6.13.6.1.4b-1)

$V_u = 1{,}25(595)+1{,}50(116)+1{,}75(483) = 1763$ kN

$0{,}5\phi_v V_n = 2414/2 = 1207$ kN < 1763 kN

Bundan dolayı V_{uw} aşağıdaki denklemden hesaplanacaktır.

$$V_{uw} = \frac{V_n + \phi_v V_n}{2}$$

$V_{uw} = 2089$ kN

Kiriş ekleme detayı tasarımı

Yaklaşık olarak civata sayısını tespit edelim. Civatalar A490 tipinde (TR de 10.9 a eşlenik) olup standard deliklerin içinden geçecektir.

Tasarım kapsamında 25 mm çapında civata kullanılacaktır.

Civatalar arası aralık 3d = 75 mm den küçük olmayacaktır. 70 mm kullanılsın.

Tablo 6.13.2.8-1 e göre civata gerginliği Pt = 284 kN dur.

Kiriş ekleme detayı tasarımı

Civata direnimi, $R_n = K_h K_s N_s P_t = R_r$ (denk. 6.13.2.8-1)

$N_s = 2$ (civatayı kesen iki adet plaka planı var)

$K_h = 1$ (Tablo 6.13.2.8-2)

$K_s = 0{,}50$ (Tablo 6.13.2.8-3, B sınıfı)

$R_r = 1{,}00(0{,}50)(2)(284) = 284$ kN

Kesme için gereken civata adedi = 2089/284 = 8 adet M25

Diğer etkenler içinde bir sıra daha ekleyelim. Sadece bir tarafta 2 sıra 18 şerden toplam 36 adet civata koyalım.

Gereken plaka uzunluğu = 18(75) = 1350 mm < 1600 mm

Kiriş ekleme detayı tasarımı

Civataların dışmerkezliğinden dolayı oluşan moment

$M_{ue} = V_{uw}.e$

$M_{ue} = 2089(40+75/2) /1000 = 162$ kN-m

Civataların kenar uzaklığı 40 mm (>1,5d) olarak alınmıştır.

Kiriş ekleme detayı tasarımı

Gövde plakası tarafından taşınan moment

$$M_{uw} = \frac{t_w D^2}{12} \left| R_h F_{cf} - R_{cf} f_{ncf} \right|$$

Burdaki Fcf terimi denklem 6.13.6.1.4c-1 den bulunabilir.

$$F_{cf} = \frac{\left(\left| \frac{f_{cf}}{R_h} \right| + \alpha \phi_f F_{yf} \right)}{2} > 0{,}75 \alpha \phi_f F_{yf}$$

Kiriş ekleme detayı tasarımı

0,9 L bölgesinde maxsimum pozitif moment

=1,25(758)+1,5(315)+1,75(549) = 2381 kN-m

0,9 L bölgesinde maxsimum negatif moment

=0,90(758)+0,65(315)+1,75(-512) = -9 kN-m

Hesaplamalar alt flanşdaki gerginliğe göre düzenlenecektir.

f_{cf} = 26 + 11 + 21 = 58 MPa

F_{cf} = 201 MPa < 258 MPa dolayısı ile F_{cf} = 258 MPa

(Rh = 1, α= 1, ϕf = 1)

Kiriş ekleme detayı tasarımı

$R_{cf} = F_{cf}/f_{cf} = 258/58 = 4,45$

$f_{ncf} = -26 – 6 – 5 = -37$ Mpa

$M_{uw} = 1513$ kN-m – gövdenin taşıdığı moment ve bu değer olması gerekenden daha korumacı bir değerdir. Gövde plakasının yarı derinliğinde etkir.

Kiriş ekleme detayı tasarımı

Moment teriminin gövde plakasının yarı derinliğe taşınmasında boyuna bir yük olan H_{uw} oluşur.

$$H_{uw} = \frac{t_w D}{2}(R_h F_{cf} + R_{cf} f_{ncf}) \quad = 1153 \text{ kN}$$

Kiriş ekleme detayı tasarımı

Civataların polar eylemsizlik momenti, Ip

$$I_p = \frac{nm}{12}\left[s^2(n^2-1)+g^2(m^2-1)\right] \quad = 5501250 \text{ mm}^4$$

n = 18 , m = 2 , s = 75 mm ve g = 75 mm

Kiriş ekleme detayı tasarımı

Toplam Tasarım Yükleri

$V_{uw} = 2089$ kN

$M_u = M_{uw} + M_{ue} = 1513 + 162 = 1675$ kN-m

$H_u = 1153$ kN

Kiriş ekleme detayı tasarımı

En uç civataya gelen kesme kuvveti

Pd =Vuw/N + Mx/Ip = 70 + 11 = 81 kN

Pb= Huw/N + My/Ip = 39 + 194 = 233 kN

x = 38 mm, y= 638 mm

$V_{cu}=(Pd^2+Pb^2)^{0,5}$ = 246 kN < 284 kN - R_r

Kiriş ekleme detayı tasarımı

Ek plakaların kesme akma direnimi

$R_n = R_r = 0{,}58 A_g F_y$ (denk. 6.13.5.3-2)

Plaka kalınlığı = 14/2 = 7mm

Plaka uzunluğu = 1350 mm

R_n = 3782 kN > V_{uw}

Kiriş ekleme detayı tasarımı

Ek plakaların blok kesme direnimi denklem 6.13.4-2 ye göre hesaplanacaktır.

$$R_r = \phi_{bs}(0{,}58F_u A_{vn} + F_y A_{tg})$$

A_{tg} = 0 mm2 , A_{vn} = 12096 mm^2 – delikler çıkarıldıktan sonra ve A_g = 18900 mm^2. A_{vn}/A_g = 0,64 < 0,85

R_r=0,8(0,58(450)(12096)/1000 = 2525 kN >V_{uw}= 2089 kN

Kiriş ekleme detayı tasarımı

Ek plakaların eğilme akma direnimi

$$f = \frac{M_u}{S_{pl}} + \frac{H_{uw}}{A_g} < \phi_f F_y$$

7 mm plak kalınlığı 10 mm ye çıkarılmıştır.

f = 275 + 60 = 335 MPa < 345 MPa

Çalışma:

Çalışma:

1- Alt ve üst flanş ek bağlantısını tasarlanması

2- Yorulma analizinin yapılması – Sınıf B (Tablo 6.6.1.2.3-1 ve 2)

3- Döşeme ile çelik kiriş arasında kesme bağlantısının yapılması