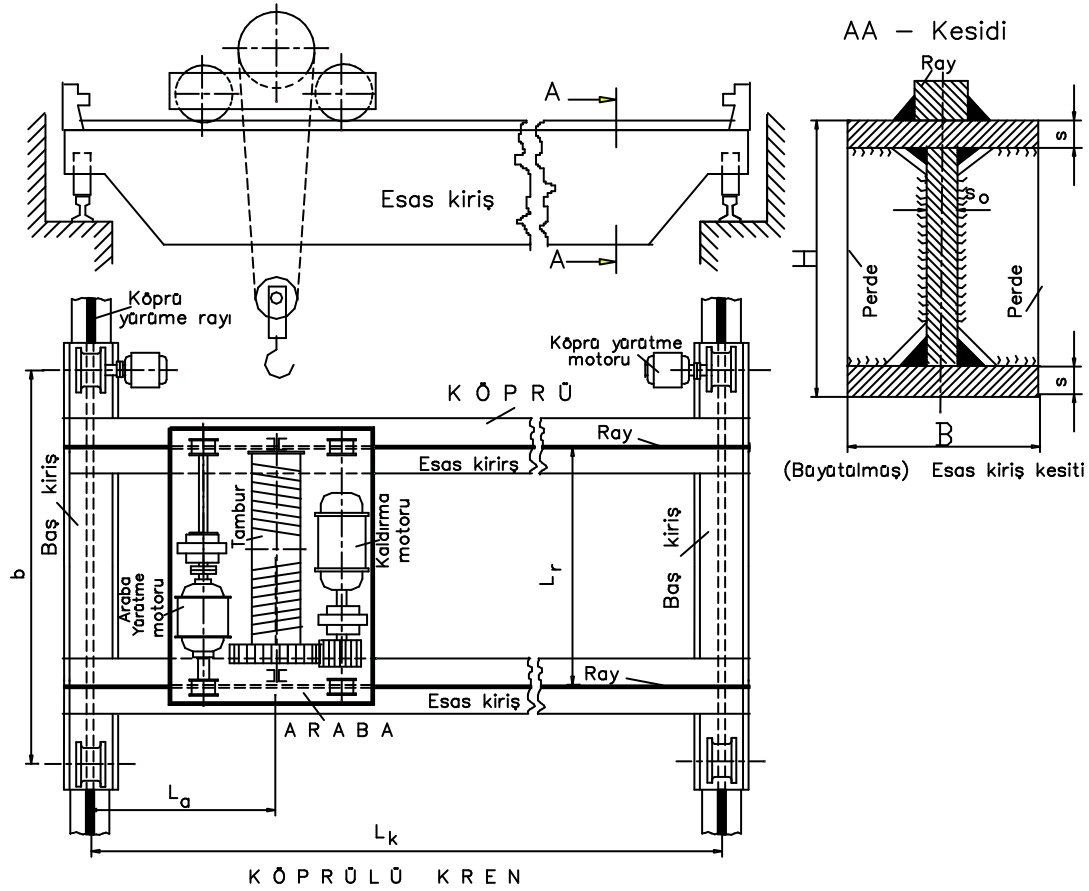


GEZER KREN KÖPRÜSÜ KONSTRÜKSİYONU VE HESABI

1. GEZER KÖPRÜLÜ KREN

Gezer köprülül krenler, yüksekte bulunan raylar üzerinde hareket eden arabalı köprülerdir. Araba yükleri kaldırır veya indirir ve köprü üzerindeki raylar boyunca da taşır. Köprü de yükleri “kren yolu boyunca” götürür. Bu şekilde yükler, bir hacim içerisinde (üç doğrultuda) bir yerden kaldırılıp alınarak, istenilen bir noktaya taşınarak indirilir (Şekil 1).

Daha önce çok geniş olarak krenlerdeki yük kaldırma ve indirme mekanizmaları incelenmiş olduğundan; bu bölümde, gezer köprüyü oluşturan “köprü ve arabanın” konstrüksiyonları ile tahrik mekanizmaları bir örnek ile incelenerek hesaplanacaktır.



Şekil 1. Köprülül Kren Şematik Resmi.

2. ÖRNEK :

Gezer köprünün verileri :

Kaldırma yükü

$$Q_K = 10 \text{ ton}$$

Kaldırma yüksekliği

$$h = 10 \text{ m.}$$

Köprü açıklığı

$$L_k = 20 \text{ m.}$$

Hızlar :

Yük kaladırama hızı

$$V_{kal.} = 5 \text{ m / dak.}$$

Araba yürütme hızı

$$V_{ara.} = 20 \text{ m / dak.}$$

Köprü yürütme hızı

$$V_{köp.} = 40 \text{ m / dak.}$$

Krenin özellikleri :

Kullanılma yeri	Atölye kreni ,
İşletme şartı	Orta,
Yük kaldırma sınıfı	H 2

Ağırlıklar :

Araba ağırlığı (araba + kanca bloku + halat ağırlıkları dahil):
 $G_{ara} = 2800$ kg.

Köprü ağırlığı : (2 esas kiriş ve bu kirişler üzerindeki ray ağırlıkları ile 2 baş kirişten oluşan köprünün; bir esas kirişinin 1 metresinin ağırlığı olarak 400 kg/m. alalım).

Toplam olarak köprü ağırlığı :

$$G_{köp.} = 2 \cdot 400 \cdot 20 = 16\ 000 \text{ kg.}$$

2.1. Araba Tekerlek Çapı Hesabı

Arabanın 4 tekerleğine etkiyen kuvvetler :

- Arabanın kendi ağırlığı (araba + kanca bloku + halat ağırlığı dahil) $G_{ara.}$,
- Kaldırma yükü Q_K dir.

Araba tekerlekleri, köprünün esas kirişleri üzerinde monte edilmiş özel *raylar* üzerinde yürürler. Standart tekerlek ve raylar hakkında geniş bilgi (TEKERLEKLER VE RAYLAR) Bölümünde verildiği gibi,

Standart *ray* için *yassı ray* olarak (Tablo 1.) den seçilmiştir.(Bu rayın kafa genişliği $b = 50$ mm, yüksekliği $h = 40$ mm dir.)

Tablo 1. Yassı Raylar

b·h (mm ²)	50·30	50·40	60·30	60·40
G (kg/m)	11,8	15,7	14,1	18,8

Araba tekerleği için de;
malzeme katsayısı $C_1 = 0,63$;

Tablo 2. C_1 malzeme katsayıları (DIN 15070)

Malzeme	pem (daN/cm ²)	C1
GG - 18	28	0,5
GS - 45	43	0,77
C 35 St 50 GS - 52	50	0,89
C 45 St 60 GS - 60	56	1
C 60 St 70 GS - 70	65	1,16
C 35 HF GS - 52.1 HF	65	1,16

basınç emniyet değeri de $p_{em.} = 56 \times C_1 = 56 \times 0,63 = 35,3$ daN / cm²(Tablo - 2) ;

Tablo 3. N Tekerlek Devir Sayısına Gore C₂ Devir Katsayısı (DIN 15070)

C ₂	n (d/d)	C ₂	n (d/d)	C ₂	n (d/d)	C ₂	n (d/d)
0,66	200	0,89	71	1	31,5	1,1	14
0,72	160	0,91	63	1,02	28	1,11	12,5
0,77	125	0,92	56	1,03	25	1,12	11,2
0,79	112	0,94	50	1,04	22,4	1,13	10
0,82	100	0,96	45	1,06	20	1,14	8
0,84	90	0,97	40	1,07	18	1,15	6,3
0,87	80	0,99	35,5	1,09	16	1,16	5,6

Tekerlek devir sayısı $n = 25$ d/d alınırsa,
bu değere göre devir katsayısı $C_2 = 1,03$ (Tablo -3) ;

Bir saatteki arabanın işletme süresi % 30 için (Tablo – 4.) göre de işletme süresi katsayısı

$C_3 = 1$ dir.

Tablo 4. C₃ Çalışma Süresi Katsayısı (DIN 15070)

1 saatteki çalışma süresi % olarak	C ₃
% 16 kadar	1,25
< % 16 - % 25 “	1,12
< % 25 - % 40 “	1
< % 40 - % 63 “	0,9
% 63’ den yukarı	0,8

Tekerleğe ait değerler : $C_1 = 0,50$, $C_2 = 1,03$, $C_3 = 1$

$$p_{em.} = 56 \cdot C_1 = 56 \cdot 0,50 = 28 \text{ daN / cm}^2 \quad (1)$$

Arabanın bir tekerleğine gelen yük R_A :

$$R_A = \frac{Q_K + G_A}{4} = \frac{10000 + 2800}{4} = 3200 \text{ daN} \quad (2)$$

Basınç emniyet değerine $p_{em.}$ ve seçilen raya göre, D_A araba tekerlek çapı :

$$D_A = \frac{R_A}{p_{em.} \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot b} \quad (3)$$
$$D_A = \frac{3200}{35,3 \cdot 1,03 \cdot 1 \cdot (4,0)} = 22,2 \text{ cm.} = 222 \text{ mm.}$$

(Tablo - 5) de görüldüğü gibi *tekerlek standart çapları* için 200 ve 250 mm. olarak verildiğine göre, hesaplanan araba tekerlek çapı

$D_A = 222$ mm. için standart çap olarak $D_A = 250$ mm. alınır.

Tablo 5. R₀ Karakteristik Tekerlek Yüğü Ve D1 Tekerlek Çapı (DIN 15070)

Tekerlek çapı d1 (mm)	R ₀ (daN) , Dar tekerlek Kren rayları DIN 536				R ₀ (daN) , Geniş tekerlek Kren rayları DIN 536					R ₀ (daN) Flanşsız tekerlek	
	A45	A55	A65	A75	A55	A65	A75	A100	A100	F100	F120
200	4100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
250	5200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
315	6500	-	-	-	7900	-	-	-	-	-	-
400	8300	10100	-	-	(10100)	11900	13200	-	-	17900	-
500	10400	12600	-	-	(12600)	14800	16500	-	-	22400	-
600	-	15900	18700	-	-	(18700)	20800	(28200)	-	28200	35300
710	-	-	21100	23500	-	-	(23500)	31800	39800	31800	39800
800	-	-	23700	26400	-	-	(26400)	35800	44800	35800	44800
900	-	-	26700	29700	-	-	(29700)	40300	50400	40300	50400
1000	-	-	29700	33000	-	-	(33000)	44800	56000	44800	56000
1120	-	-	-	-	-	-	-	50200	62700	-	-
1250	-	-	-	-	-	-	-	56000	70000	-	-

2.2. Araba Hızı

Araba tekerlek çapını hesaplariken, tekerlek devir sayısını $n_A = 25 \text{ d} / \text{d}$. almıştık. Buna göre araba $V_{\text{ara.hızı}}$:

$$V_{\text{ara}} = D_A \cdot \pi \cdot n_A = 0,25 \cdot 3,14 \cdot 25 = 19,6 \cong 20 \text{ m} / \text{d}. \quad (4)$$

$V_{\text{ara.}} = 20 \text{ m} / \text{d}$. olarak hesaplanır.

2.3. Köprü Tekerleklerinin “Çap Hesabı”

Köprü tekerleğine gelen *maksimum kuvveti*, (Şekil 1.) de gösterildiği gibi arabanın *baş kirişlerden birine tam olarak yanaştığı* ve araba ağırlık merkezinin $(L_a)_{\text{min}}$. olarak gösterilen durumunda hesaplanması gerekir.

Her bir “baş kirişte” iki tekerlek bulunduğundan bir tekerleğe etki eden maksimum kuvvet :

$$R_{\text{köp.}} = \frac{1}{2} \left[(Q_K + G_{\text{ara.}}) \frac{L_K - L_a}{L_K} + \frac{G_{\text{köp}}}{2} \right] \quad (5)$$

Köprü ağırlığı $G_{\text{köp.}}$: 20 metre uzunluğundaki köprünün 2 esas kirişi ve bunların üzerindeki raylar ile 2 baş kirişlerin toplam ağırlıklarını (her bir esas kirişe düşen metre uzunluğunun ağırlığı 400 kg / m.) olmak üzere :

$$G_{\text{köp.}} = 2 \cdot 400 \cdot 20 = 16.000 \text{ kg. dir.}$$

$$\text{Arabanın kendi ağırlığı} : G_{\text{ara.}} = 2800 \text{ kg.}$$

$$\text{Kaldırma yükü} : Q_K = 10\,000 \text{ kg.}$$

olduğuna göre, bir köprü tekerleğine gelen kuvvet :

$$R_{\text{köp.}} = \frac{1}{2} \left[(10000 + 2800) \frac{20 - 1}{20} + \frac{16000}{2} \right] = 10080 \text{ daN.}$$

Tekerlek çapını iki ayrı şekilde ($R \leq p_{em} \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot (k - 2r_1) \cdot d_1 = 56 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot (k - 2r) \cdot d_1$ ve

$$R_0 = \frac{R}{C_1 \cdot C_2 \cdot C_3} \quad \text{denklemlerinden yararlanarak hesap edebiliriz :}$$

A) Köprü tekerleklerinin malzemeleri (GS-52 veya St 50) olduğuna göre, *malzeme katsayısı* $C_1 = 0,80$, tekerlek devir sayısı $n_k = 25$ d / d. alındığından *tekerlek devir katsayısı* $C_2 = 1.03$, işletme süresisi (% 30) göre de *işletme süresi katsayısı*

$C_3 = 1$ alınırsa bu değerlere göre köprü tekerlek çapları ($C_1 = 0,80$, $C_2 = 1,03$, $C_3 = 1$ için):

$$D_{köp.} = \frac{R_{köp.}}{p_{em} \cdot C_2 \cdot C_3 (k - 2 \cdot r_1)} \quad (6)$$

$$p_{em.} = 56 \cdot C_1 = 56 \cdot 0,8 = 44.8 \text{ daN / cm}^2$$

Köprü tekerlekleri rayları için **A55** alınırsa ($k - 2 r_1$) = (5,5 - 2 · 0,5) = 4,5 cm. ($k = 55$ mm. rayın baş genişliği ; $r = 5$ mm.) (Tablo -6.).

Tablo 6. Kren rayları sembolü ve boyutları

Sem-bölü	Ray başı k	b ₁	b ₂	b ₃	f ₁	f ₂	f ₃	h ₁	h ₂	h ₃	r ₁	r ₂	r ₃	r ₄	r ₅	Kesit alanı cm ²	Ağırlık kg/m
A 45	45	125	54	24	14,5	11	8	55±1	24	20	4	3	4	5	4	28,3	22,2
A 55	55	150	66	31	17,5	12,5	9	65±1	28,5	25	5	5	5	6	5	40,7	32,0
A 65	65	175	78	38	20	14	10	75±1	34	30	6	5	5	6	5	55,4	43,5
A 75	75	200	90	45	22	15,4	11	85±1	39,5	35	8	6	6	8	6	72,1	56,6
A100	100	200	100	60	23	16,5	12	95±1,5	45,5	40	10	6	6	8	6	95,6	75,2
A120	120	220	120	72	30	20	14	105±1,5	55,5	47,5	10	10	10	10	6	129	101,3

$$D_{köp.} = \frac{10080}{44,8 \cdot 1,03 \cdot 1(5,5 - 2 \cdot 0,5)} = 48,5 \text{ cm} = 485 \text{ mm.}$$

köprü tekerlekleri için (Tablo - 7.) dan *standart çap* olarak $D_{köp.} = 500$ mm. alındı.

Tablo 7. R₀ Karakteristik Tekerlek Yüğü ve D₁ Tekerlek Çapı (DIN 15070)

Tekerlek çapı d1 (mm)	R0 (daN) , Dar tekerlek Kren rayları DIN 536				R0 (daN) , Geniş tekerlek Kren rayları DIN 536					R0 (daN) Flaşsız tekerlek	
	A45	A55	A65	A75	A55	A65	A75	A100	A100	F100	F120
200	4100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
250	5200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
315	6500	-	-	-	7900	-	-	-	-	-	-
400	8300	10100	-	-	(10100) 11900	13200	-	-	-	17900	-
500	10400	12600	-	-	(12600) 14800	16500	-	-	-	22400	-
600	-	15900	18700	-	-	(18700) 20800	(28200)	-	-	28200	35300
710	-	-	21100	23500	-	-	(23500) 31800	39800	-	31800	39800
800	-	-	23700	26400	-	-	(26400) 35800	44800	-	35800	44800
900	-	-	26700	29700	-	-	(29700) 40300	50400	-	40300	50400
1000	-	-	29700	33000	-	-	(33000) 44800	56000	-	44800	56000
1120	-	-	-	-	-	-	-	50200	62700	-	-

B) Tekerlek *karakteristik yükü* R_0 göre tekerlek çapı D_A 'nın hesaplanması :

$$R_0 = \frac{R_{k\ddot{o}p}}{C_1 \cdot C_2 \cdot C_3} \quad (7)$$
$$R_0 = \frac{10080}{0,8 \cdot 1,03 \cdot 1} = 12233 \text{ daN}$$

Tablo – 7. A55 rayı için $R_0 = 10100$ daN *tekerlek karakteristik yükü* değeri için tekerlek standart çapı $D_A = 400$ mm.;

$R_0 = 12600$ daN için ise $D_K = 500$ mm. olduğundan, hesapladığımız $R_0 = 12233$ daN için de köprü *standart tekerlek çapının*

$D_K = 500$ mm. alınması gerekir.

2.4. Köprü Yürüme Hızı

$$V_{k\ddot{o}p.} = D_{k\ddot{o}p.} \cdot \pi \cdot n_k = 0,50 \cdot 3,14 \cdot 25 = 39,25 \cong 40 \text{ m / d.} \quad (8)$$

olur.

2.5. Araba Yürütme Motoru

Verilnler :

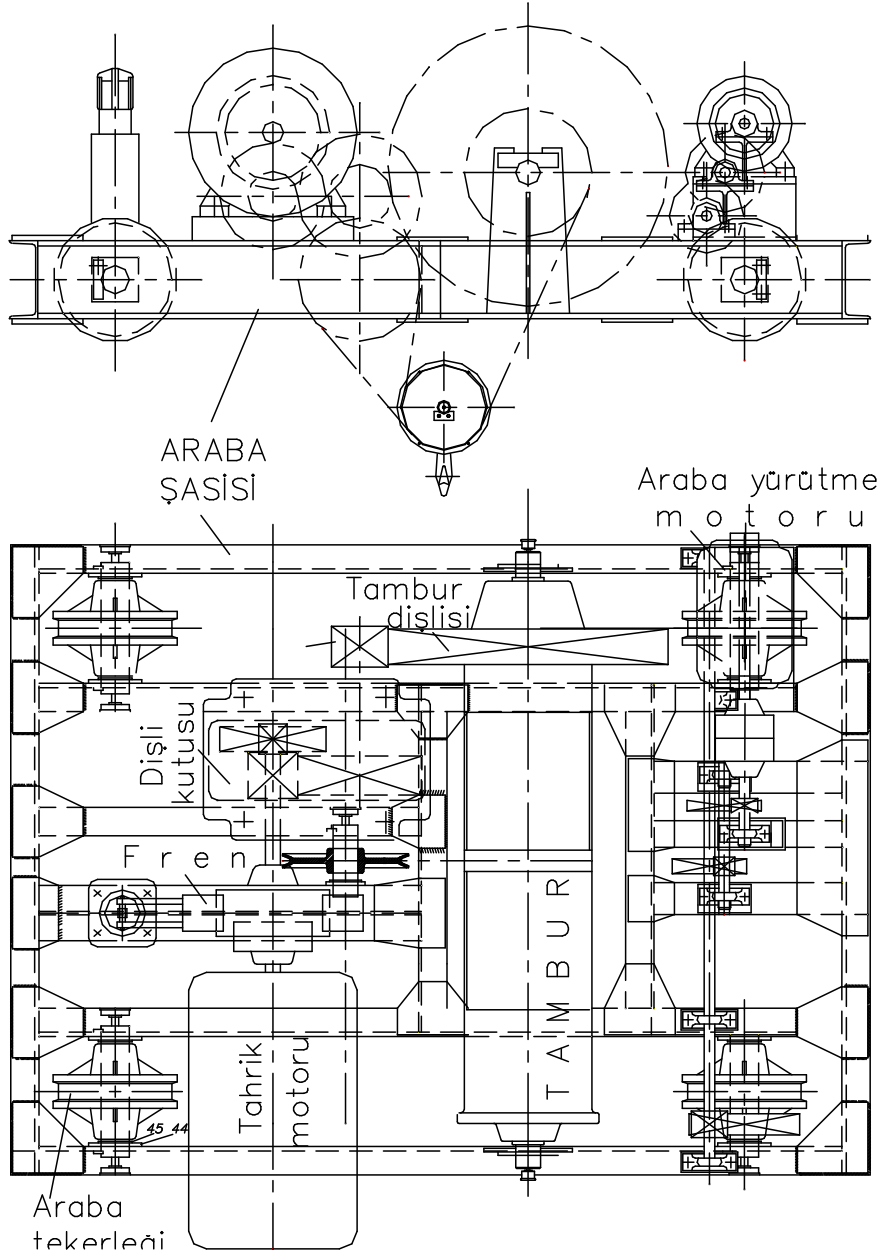
Kaldırma yükü $Q_K = 10\ 000$ kg.

Araba ağırlığı $G_{ara} = 2\ 800$ kg.

Tekerlek çapı $D_A = 250$ mm. ; tekerlek aks çapı $d = 50$ mm. ve kaymalı yatak için sürtünme katsayısı $\mu = 0,08$; tekerlek devir sayısı $n = 25$ d / d dır.

Sürtünme moment kolu da $f = 0,05$ cm.

Ayrıca arabanın *ivmelendirme* değeri $b = 0,25$ m /s² ve *toplam verim* $\eta = 0,85$ alınıyor.



Şekil 2. Araba ve Üzerindeki Donanımlar

Çözüm :

$$\text{Motor gücü : } N = \frac{W \cdot V}{\eta} ; \quad (9)$$

W : Direnç (daN) ; V : hız (m / s) ; η : verimdir.

Motor gücünü hesaplamak için ($W_{\text{yür.}}$) yürüme direnci ile ($W_{\text{iv.}}$) ivmelendirme dirençlerini ilk önce hesaplamamız gerekir.

Yürüme direnci :

$$W_{\text{yür.}} = v \frac{Q_K + G_{\text{ara.}}}{D_A} (\mu \cdot d + 2 \cdot f) \quad (\text{daN}) \quad (10)$$

Ray ve tekerleklerin düzgünlüklerinden ve montaj hatalarından dolayı W direncini v emniyet faktörü ile çarpmak gerekir.

Araba için $v = (1,1 - 1,2)$ alınabilir.

Köprüde ise emniyet katsayısı $v = (1,4 - 2,0)$ alınmalıdır.

$$W_{yür. 1,2} = \frac{10000 + 2800}{25} (0,08 \cdot 5 + 2 \cdot 0,05) = 307,2 \text{ (daN)}$$

Araba yürüme hızı :

$$V = D_A \cdot \pi \cdot n = 0,25 \cdot 3,14 \cdot 25 = 19,65 \cong 20 \text{ m / d} = 20 / 60 = 0,33 \text{ m / s.}$$

Yürüme direnci gücü :

$$N_{yür.} = \frac{W_{yür.} \cdot V_{ara}}{102 \cdot \eta} = \frac{307,2 \cdot 0,33}{102 \cdot 0,85} = 1,17 \text{ kW.} \quad (11)$$

İvme direnci:

Bilindiği gibi atalet kuvveti (direnç) $F = m \mathbf{b}$ dir. Buna göre ivme direnci $v = 1,2$ emniyet katsayısı ile birlikte ve kütle $m = G / g$; ivme de $\mathbf{b} = 0,25$ olmak üzere :

$$W_{iv.} = 1,2 \frac{Q_K + G_{ara.}}{g} \mathbf{b} \text{ (daN).} \quad (12)$$

$$W_{iv.} = 1,2 \frac{10000 + 2800}{9,81} 0,25 = 391 \text{ daN}$$

İvme direnci gücü :

$$N_{iv.} = \frac{W_{iv.} \cdot V_{ara.}}{102 \cdot \eta} = \frac{391 \cdot 0,33}{102 \cdot 0,85} = 1,49 \text{ kW.} \quad (13)$$

Elektrik motorunun anma gücü :

Araba yürütme elektrik motorunun (toplam) anma gücü,

$$N_n = \frac{N_{yür.} + N_{iv.}}{(1,7 \div 2)} \quad (14)$$
$$N_n = \frac{1,17 + 1,49}{1,7} \cong 1,56 \text{ kW.}$$

2.6. Köprü Yürütme Elektrik Motoru

Köprünün 4 tekerleğine gelen ağırlık ve yükler :

Kaldırma yükü $Q_K = 10\ 000 \text{ kg.}$

Araba ağırlığı $G_{ara.} = 2\ 800 \text{ kg.}$

Köprü kendi (zati) ağırlığı $G_{köp} = 16\ 000 \text{ kg.}$

Köprünün 4 tekerleği üzerine gelen toplam ağırlık $Q_{top.} :$

$$Q_{top.} = (10\ 000 + 2\ 800 + 16\ 000) = 28\ 800 \text{ kg.}$$

Tekerlek ve aks çapları ile devir sayısı :

$D_K = 500$ mm. bu tekerleğe göre aks çapı (Tablo - 27.6) $d = 90$ mm. ;
Köprü hızı $V_K = D_A \cdot \pi \cdot n = 0,50 \cdot 3,14 \cdot 25 = 39,25 \cong 40$ m / d. = $40 / 60 = 0,66$ m/s.

Yürüme direnci :

$$W_{yür.} = v \frac{Q_{top.}}{D_A} (\mu \cdot d + 2 \cdot f) \quad (15)$$

$$W_{yür.} = 1,2 \frac{28800}{50} (0,08 \cdot 9 + 2 \cdot 0,05) = 567 \text{ daN.}$$

Yürüme direnci gücü :

$$N_{yür.} = \frac{W_{yür.} \cdot V_A}{102 \cdot \eta} \quad (16)$$

$$N_{yür.} = \frac{567 \cdot 0,66}{102 \cdot 0,85} = 4,32 \text{ kW.}$$

İvme direnci :

$$W_{iv.} = v \frac{Q_{top.}}{g} b \quad (17)$$

Köprünün ivmesi ($b = 0,40$ m / s²) ve emniyet katsayısı $v = 1,2$ alınmıştır.

$$W_{iv.} = 1,2 \frac{28800}{9,81} 0,4 = 1409 \text{ daN.}$$

İvme direnci gücü :

$$N_{iv.} = \frac{W_{iv.} \cdot V_K}{102 \cdot \eta} = \frac{1409 \cdot 0,66}{102 \cdot 0,85} = 10,72 \text{ kW.} \quad (18)$$

Köprü yürütme motorunun anma gücü :

$$N_n = \frac{N_{yür.} + N_{iv.}}{(1,7 \div 2)} \quad (19)$$

$$N_n = \frac{4,32 + 10,72}{1,8} = 8,4 \text{ kW.}$$

Uzun köprü açıklıklarında, senkron çalışan 2 eşit güçte iki elektrik motoru kullanılır. Bu motorlar iki taraftaki baş kirişlerdeki (aynı hizadaki) tahrik tekerlerine bağlanır.

Buna göre :

Köprü için Herbiri 5,5 kW lık 2 adet elektrik motoru kullanılırsa $4,5 \times 2 = 9$ kW yeterlidir.

3. Köprülü Krenlerin Kiriş Düzenleri

Köprüyü oluşturan ana kiriş düzenleri, *profil kiriş* veya *kafes kiriş* olarak tertiblenmektedir. Profil kirişler de normal *profil*, *kaynaklı (sac profil veya kutu kriş)* olarak imal edilmektedir.

Bu bölümde (şekil – 1.) de görüldüğü gibi, sac-kaynak konstrüksiyonu ile imal edilmiş (*levhali kirişten* yapılmış) bir köprünün boyutlandırılması ve kontrol hesabı (verilen örnekteki değerlere göre) incelenecektir.

Profil krişlerin boyutlandırılması, *eğilme emniyet gerilmesi* ile *kiriş emniyet sehimi* gözönüne alınarak yapılır.

4. Krişlerin Sehim Hesabı

Köprü konstrüksiyonu (esas olarak) bir veya iki *ana (esas) kiriş* ile bu kirişlerin iki ucunda bulunann *baş krişten* oluşur.

Köprünün esas krişleri üzerinde (kaldırma yükü ve kendi ağırlığı ile birlikte) gezen arabanın kiriş ortasında iken meydana gelen maksimum sehim (f_{mak}), kren salınımlarını önlemek için belirli bir değeri geçmemesi gerekir.

Esas kirişlerin maksimum sehim değerleri, *köprü açıklığının* (L) büyüklüğüne bağlıdır.

Ana krişin (maksimum) toplam sehimi :

$$f_{\text{top.}} = f_k + f_a = \frac{L}{500} + \frac{L}{800} \quad (20)$$

Basit mesnetli bir krişte :

f_k : Esas krişin kendi (zati) ağırlığından oluşan maksimum sehim,

f_a : Tekil yükten (arabadan) ve kaldırma yükünden oluşan maksimum sehim

L : Köprü açıklığı.

f_{em} : $f_{(\text{top})\text{em}}$. Toplam *emniyet maksimum sehim* değeri.

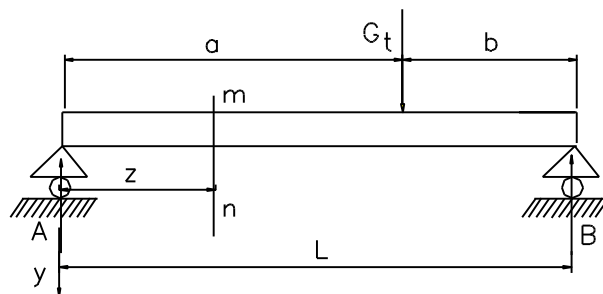
$$f_{\text{em}} = \frac{L}{750} \quad (\text{problemimizde}) \text{ olarak alındı.} \quad (21)$$

a) Esas krişin kendi (zati) ağırlığından oluşan *maksimum sehim*, krişin tam ortasındadır. Bu değer (mukavemet kitaplarında) belirtildiği gibi :

$$f_z = \frac{5}{384} \frac{G_K \cdot L}{E \cdot I_z} \quad (24)$$

dir.

b) Köprü üzerinde hareket eden arabanın kendi ağırlığı ile kaldırma yükünün toplamı, arabanın ağırlık merkezinde toplanmış bir *tekil yük* olarak gözönüne alındığında oluşturduğu *maksimum sehim* ise :



Şekil 3. Ana kriş şematik resmi.

$$f_a = \frac{G_t \cdot b(L^2 - b^2)}{9\sqrt{3} \cdot L \cdot E \cdot I_z} \quad (25)$$

dir.

Tekil yük G_t köprünün (kirişin) tam ortasında ise, yani yukarıdaki denklemden ifadede $b = L / 2$ olursa *sehim* f_a :

$$f_a = (y)_{a=b} = \frac{G_t \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I_z} \quad (26)$$

olur.

Kirişe etkiyen tekil bir kuvvet olması halinde *maksimum sehimin* daima kirişin orta yerinin, yakınında olduğu hesaplanabilir. Bu yer de orta noktadan ancak (0,077 L) kadar farklıdır.¹⁾ Bu bakımdan köprü üzerinde hareket eden arabanın “ağırlık merkezinin” esas kirişin ortasında bulunduğu durumdaki sehimini de *maksimum sehim* olarak alabiliriz.

Toplam sehim

Köprünün kendi (zati) ağırlığından ve arabanın kaldırma yükü ile birlikte köprünün tam ortasında olduğu halde, meydana gelen *maksimum toplam sehim*:

$$f_t = f_z + f_a = \frac{5}{384} \frac{G_K \cdot L^3}{E \cdot I_z} + \frac{G_A + Q_K}{48 \cdot E \cdot I_z} \leq f_{em} \approx \frac{L}{500} \div \frac{L}{800} \quad (27)$$

olur.

Bu denklemden I_z *atalet momentini* hesaplıyalım :

$$I_z = \frac{L^3}{48 \cdot E \cdot f_{em}} \left(\frac{5}{8} G_K + (Q_K + G_A) \right) \quad (28)$$

Bu denklemden :

- L : Köprü açıklığı,
- G_K : Köprü ağırlığı,
- G_A : Araba ağırlığı,
- Q_K : (Maksimum) kaldırma yükü,
- E : Köprü kiriş veya kirişlerin elastisite modülü,
- f_{em} : Maksimum emniyet sehimidir.

I_z atalet momentinin hesabı :

Problemimizde, (Şekil - 1) de görüldüğü gibi köprünün iki esas kirişten oluştuğu göz önüne alınırsa, yukarıdaki denklemin yarısı $I_z = (I_z)_{top} / 2$ bir esas kirişin atalet momentini verecektir.

Problemimizde verilenler :

Kaldırma yükü $Q_K = 10\,000$ kg

Araba ağırlığı $G_A = 2\,800$ kg.

Köprü ağırlığı $G_K = 16\,000$ kg

(20 metre açıklığındaki iki esas kiriş ve baş kirişlerle birlikte 1 metre ağırlığı 400 kg. olmak üzere $G_K = 2 \cdot 400 \cdot 20 = 16\,000$ kg.)

Köprü açıklığı $L = 20$ m.

Elastisite modülü $E = 2,1 \cdot 10^6$ kg / cm²

¹⁾ S.TIMEOSHENKO - Cisimlerin Mukavemeti ,1956 baskı sayfa 136.

Toplam maksimum emniyet sehimi : $f_{em.} = \frac{L}{750} = \frac{2000}{750} = 2,7 \text{ cm}$.

Bu verilene göre bir esas kirişin I_z atalet momentini hesaplıyalım :

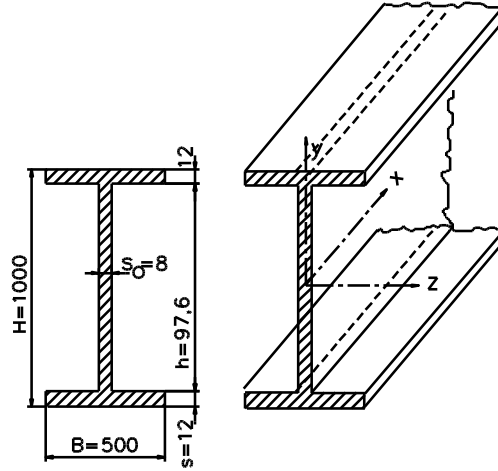
$$I_z = \frac{1}{2} \cdot \frac{L^3}{48 \cdot E \cdot f_{em.}} \left(\frac{5}{8} G_K + (Q_K + G_A) \right) \quad (29)$$

$$I_z = \frac{1}{2} \cdot \frac{20^3 \cdot 10^6}{48 \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 2,7} \left(\frac{5}{8} 16000 + (10000 + 2800) \right) = 335160 \text{ cm}^4$$

Problemimizde verilen yüklerin etkisi ile meydana çıkacak (*emniyetli*) sehimi karşılayabilecek bir esas kirişin atalet momenti $I_z = 335160 \text{ cm}^4$ olması gerekir. Bu atalet momentini karşılayacak *esas kirişi*, bir kaynak sac konstrüksiyonu ile imal ederek, bunun da I_z atalet momentini hesaplıyalım (Şekil 4.).

Bir esas kirişin boyutları

Kaynak konstrüksiyonu ile imal edilen bir esas (ana) kirişin boyutları (Şekil 4.) deki gibi alınsın.



Şekil 4. Ana kiriş boyutları.

$$I_z = \frac{B(H^3 - h^3)}{12} + \frac{s_0 \cdot h^3}{12} \quad (30)$$

$$I_z = \frac{50(1000^3 - 97,6^3)}{12} + \frac{0,8 \cdot 97,6^3}{12} = 354839$$

$$I_z \approx 355000 \text{ cm}^4$$

dır.

Yukarıda hesapla elde ettiğimiz

$I_x = 335160 \text{ cm}^4$ atalet moment değerini, boyutları (Şekil 29.3) de verilen esas kirişin değeri

$I_z = 355000 \text{ cm}^4$ de karşılamaktadır.

5. Kirişlerin Eğilme Gerilmesi Hesabı

Mukavemetten bilindiği gibi *eğilme gerilmesi* hesabı :

$\sigma = \frac{M}{W}$ olduğuna göre, esas kirişe etkiyen *eğilme momentleri* M ile ana kirişin *mukavemet momentleri* W 'yi hesaplayarak, bu gerilmenin *emniyet gerilmesine* göre $\sigma \leq \sigma_{em}$ olması gerekir.

6. Ana Kirişin Mukavemet Momentleri

Yukarıda z eksenine göre eğilme atalet momenti I_z hesaplanmıştı. Bu eksene göre *eğilme mukavemet momentleri* :

$$W_z = \frac{I_z}{H/2} = \frac{355000}{100/2} = 7100 \text{ cm}^3 \quad (31)$$

olur. y eksenine göre mukavemet momentleri W_y ise:

$$W_y = \frac{2 \cdot s \cdot B}{6} = \frac{2 \cdot 1,2 \cdot 50^2}{6} = 1000 \text{ cm}^3 \quad (32)$$

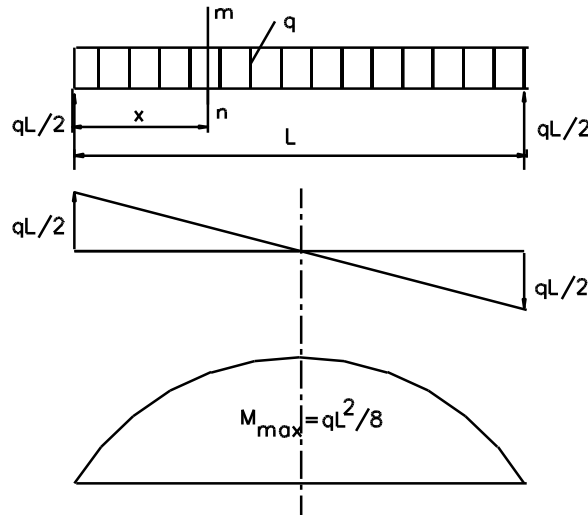
olur. (Burada s_0 değeri küçük olduğundan hesaba katılmamıştır.)

Esas kirişe etkiyen momentler :

a) Esas kirişin kendi ağırlığından gelen *eğilme momentleri* (bir yayılı yük olarak):

$$M_I = \frac{q \cdot x}{2} (L - x)$$

dir.



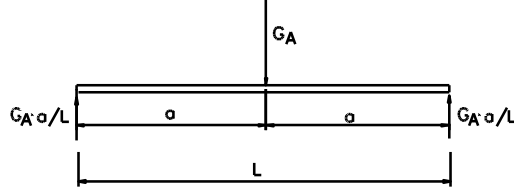
Şekil 5. Moment diagramı.

Kesme kuvveti şekilde görüldüğü gibi $V = q(L/2 - x)$ dir. Kesme kuvveti $V = L/2$ değerinde işaret değiştirir, bu nedenle maksimum moment $x = L/2$ dendir. Buna göre *maksimum moment* yukarıdaki denkleme göre :

$$M_I = \frac{q \cdot L}{2 \cdot 2} \left[L - \frac{L}{2} \right] = \frac{(q \cdot L) \cdot L}{8} = \frac{G_K \cdot L}{8} \quad (33)$$

olur. Burada $(q \cdot L) = G_K$ köprü ağırlığını verir.

b) Tekil yük olarak araba ağırlığının, esas kirişte meydana getirdiği eğilme momenti :



Şekil 6. Araba Ağırlığı Tekil Yük.

Arabayı esas kirişin ortasında kabul edersek $x = L / 2$ olduğundan moment :

$$M_{II} = \frac{G_A}{2} (L - x) = \frac{G_A \cdot L}{4} \quad (34)$$

M_I ve M_{II} momentlerinin toplamı M_T :

$$M_T = M_I + M_{II} = \frac{1}{2} \left[\frac{G_K \cdot L}{8} + \frac{G_A \cdot L}{4} \right] \quad (35)$$

Not: Aldığımız örnek problemde köprünün iki esas kirişi bulunduğundan, bütün momentleri *bir esas kirişe* göre hesaplamak için $(1/2)$ 'ye böleceğiz.

$$M_T = \frac{1}{2} \left[\frac{16000 \cdot 2000}{8} + \frac{2800 \cdot 2000}{4} \right] = 2,7 \cdot 10^6 \quad (\text{daN} \cdot \text{cm})$$

c) Kaldırma yükü (tekil yük olarak göz önüne alındığında) meydana gelen moment ise :

$$M_K = \frac{1}{2} \frac{Q_K \cdot L}{4} = \frac{1}{2} \left[\frac{10000 \cdot 2000}{4} \right] = 2,5 \cdot 10^6 \quad (\text{daN} \cdot \text{cm}) \quad (36)$$

d) Araba tam yüklü olarak köprünün harekete başlaması esnasında oluşan *atalet kuvvetlerinin* ortaya çıkaracağı maksimum moment ise :

10 ton kaldırma yükü ve 2800 kg. araba ağırlığı olduğu halde toplam 12800kg'lık bir (tekil) yükün köprünün ortasında iken köprünün *ivmeli hareketinden dolayı (atalet kuvvetlerinden)* meydana gelecek maksimum momenti hesaplıyalım.

Atalet kuvveti $m \cdot a = F$ dir. Kütle ise $m = G / g$ olduğuna göre, maksimum atalet momenti :

$$M_{AT} = (m_K + m_A) \cdot a \cdot \frac{L}{4} + m_{k\ddot{o}p.} \cdot a \cdot \frac{L}{8} = \left(\frac{Q_K}{g} + \frac{G_A}{g} \right) \cdot a \cdot \frac{L}{4} + \frac{G_K}{g} \cdot a \cdot \frac{L}{8} \quad (37)$$

Bir esas kiriş için bu denklemi $(1/2)$ bölüp, basitleştirirsek :

$$M_{AT} = \frac{a \cdot L}{16 \cdot g} \left[2 \cdot (Q_K + G_A) + G_K \right] \quad (38)$$

olur.

Bu denklemde a ivmesi, köprünün ilk harekete başladığı sıradaki ivmesidir. Bu ivmelenme zamanı $t_f = 4$ s. alınır ve köprü hızı da $V_K = 0,66$ m / s. olduğuna göre a ivmesi için :

$$a = \frac{V_K}{t_f} = \frac{0,66}{4} = 0,165 \quad (\text{m} / \text{s}^2) \quad (39)$$

olur.

M_A momenti ise :

$$M_{AT} = \frac{a \cdot L}{16 \cdot g} [2 \cdot (Q_K + G_A) + G_K] = \frac{0,165 \cdot 20}{16 \cdot 9,81} [2 \cdot (10000 + 2800) + 16000] = 875 \quad (\text{daN} \cdot \text{m})$$

Bir kirişin M_{AT} momenti $M_{AT} = 875$ (daN · m) = 87500 (daN · cm) dir. (40)

7. Eğilme Gerilmesinin Hesaplanması

Bilindiği gibi eğilme gerilmesi $\sigma_{eğ.} = M / W \leq \sigma_{em.}$ olmalıdır.

Problemimizdeki gezer köprülü krenin *yük sınıfı* H2 olarak alınmış olup, köprünün kendi ağırlığı nedeniyle oluşan *zati ağırlık katsayısı* φ “yürüme hızına göre” ve *yük kaldırma katsayısı* ψ “yük kaldırma sınıfı ve hızına göre” değerlendirilmiş olan bu katsayılar ile birlikte (kayma gerilmeleri ihmal edilerek) esas kirişlerdeki eğilme gerilmesi $\sigma_{eğ.}$:

$$\sigma_{eğ.} = \frac{\varphi \cdot M_T + \psi \cdot M_K}{W_z} + \frac{M_{AT}}{W_y} \leq \sigma_{em.} \quad (41)$$

olarak hesaplanır.

Problemimizde hesapladığımız eğilme ve mukavemet momentlerini bu denklemde yerine koyarsak eğilme gerilmesi $\sigma_{eğ.}$:

$$\sigma_{eğ.} = \frac{1,1 \cdot 2,7 \cdot 10^6 + 1,3 \cdot 2,5 \cdot 10^6}{7100} + \frac{87500}{1000} = 963,5 \quad (\text{daN} / \text{cm}^2) = 97 \quad (\text{N} / \text{mm}^2).$$

$\sigma_{em.}$ emniyet değerleri :

DIN 15018 göre yük sınıfı H olan ve malzemesi de **St 37** saclarından kaynak konstrüksiyonu ile yapılan *ana kirişler* için emniyet gerilme değerleri $\sigma_{em.} = 160$ N / mm² veya $\sigma_{em.} = 1600$ daN / cm² olarak verilmiştir.

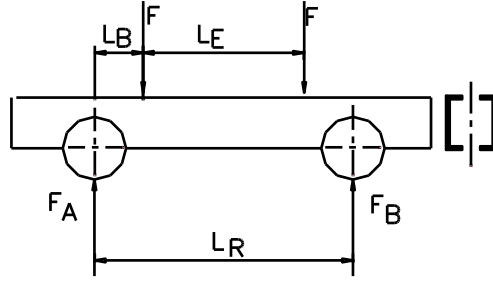
Malzeme olarak **St52-3** alınır, $\sigma_{em.} = 240$ (N/mm²) veya $\sigma_{em.} = 2400$ (daN/cm²) olarak verilmiştir.

Esas kirişlerin malzemesi olarak **St 37** alalım. Buna göre hesapladığımız eğilme gerilmesi :

$$\sigma_{eğ.} = 97 \leq \sigma_{em.} = 160 \quad (\text{N} / \text{mm}^2) \quad (42)$$

olduğu görülür.

8. Baş Kirişlerin Hesabı Ve Boyutlandırılması.



Şekil 7. Baş Kiriş.

Gezer köprülü sistemlerde, esas kirişlerin iki uçlarında *baş kirişler* vardır. Köprü'nün iki ucundaki *baş kirişler*, ana kirişleri uçlarından tespit ettikleri gibi, köprü tekerleklerine de yataklık ederler. Baş kirişlerin üzerlerine gelen yüklere göre, boyutlarının belirtilmesi gerekir.

Bir baş kirişe gelen maksimum (F) kuvvetini hesaplamak için : Daha önce köprü tekerlek çapının hesabındaki gibi, *arabanın* baş kirişlerden birine tam olarak yanaştığı ve arabanın ağırlık merkezinin $(L_a)_{min}$. olarak gösterilen durumunda (Şekil - 1); F kuvvetinin hesaplanması gerekir.

Bir baş kirişe gelen F kuvvetinin hesaplanması :

(Şekil – 7.) de görüldüğü gibi yatak kuvvetleri : $F_A = F_B = F$ dir. (43)

Esas kirişlerin hesabındaki gibi $\psi = 1,3$ ve $\varphi = 1,1$ katsayılarını da göz önünde bulundurarak (ve baş kirişlerin kendi ağırlıklarını da ihmal ederek bir baş kirişe gelen) F kuvvet :

$$F = \frac{1}{2} \left(Q_K \frac{L - L_a}{L} \psi + G_A \frac{L - L_a}{L} \varphi + \frac{1}{2} G_K \cdot \varphi \right) \quad (44)$$

$$F = \frac{1}{2} \left(10000 \frac{20-1}{20} 1,3 + 2800 \frac{20-1}{20} 1,1 + \frac{1}{2} 16000 \cdot 1,1 = 12038 \text{ (daN)} \right)$$

Yatak kuvvetleri de :

$$F_A = F_B = F = 12038 \text{ (daN)}$$

olur.

Baş kirişe etkiyen maksimum eğilme momenti :

$$M = F \cdot L_B \quad (45)$$

$$L_B = \frac{L_R}{2} - \frac{L_E}{2} = \frac{2,6}{2} - \frac{1,6}{2} = 0,50 \text{ m.} \quad (46)$$

Burada : $L_R = 2,6$ m. Baş kirişte köprü tekerlekleri arası,
 $L_E = 1,6$ m. Köprü'nün iki esas kiriş arasıdır.

Eğilme momenti :

$$M = 12038 \cdot 0,50 = 601900 \text{ (daN}\cdot\text{cm)}$$

olur.

Mukavemet momenti W :

Her bir baş kiriş [] iki profilin kaynak yapılması ile elde edilmiş ise bir [**profil** için gerekli mukavemet momenti W :

$$W = \frac{1}{2} \frac{M}{\sigma_{em.}} \quad (47)$$

olur.

Eğilme gerilmesi emniyet değerleri (H yük sınıfına göre) :

St 37 malzemesi için $\sigma_{em.} = 160 \text{ N / mm}^2 = 1600 \text{ daN / cm}^2$

St 52-3 malzemesi için $\sigma_{em.} = 240 \text{ N / mm}^2 = 2400 \text{ daN / cm}^2$

Baş kirişin bir [profilinin mukavemet momenti :

$$W_x = \frac{1}{2} \frac{M}{\sigma_{em.}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{601900}{1600} = 376 \text{ cm}^3 \quad (48)$$

olur.

Bu $W_x = 376 \text{ cm}^3$ mukavemet momentini karşılayacak [**profil - çelikleri** için norm cetvellerinden :

[**260 profil - çeliği** için $W_x = 371 \text{ cm}^3$

[**280 profil - çeliği** için $W_x = 448 \text{ cm}^3$

verildiğinden problemizdeki *baş kirişler* için :

[**260 profil - çeliği** veya [**280 profil - çeliği** kullanılabilir.