

INS3442 DEMİRYOLU MÜHENDİSLİĞİ DERSİ

**2023-2024 BAHAR YARIYILI
DEMİRYOLU ÜSTYAPI
UYGULAMASI**

SORU 1

Dingil yükü $P=20$ ton olan bir yük katarının $V=100$ km/sa hızla hareket etmesi durumunda, aşağıda özellikleri verilen üstyapıda oluşturacağı eğilme momenti ve eğilme (çökme) değerlerini hesaplayınız. (Moment ve eğilme tekerlek altında, $\eta_A = \mu_A = 1$ için hesaplanacaktır.)

<u>RAY</u>	<u>TRAVERS</u>	<u>ÜSTYAPI</u>
S49	Ahşap	Orta konumlu ($s = 0,2 \cdot \Psi$)
$I = 1819 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$	$l_t = 2600 \text{ mm}$	$C = 0,1 \text{ N/mm}^3$ (iyi tabaka)
$W = 248 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$	$b_t = 250 \text{ mm}$	$t = 3$
$E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$	$h_t = 170 \text{ mm}$	
	$m = 500 \text{ mm}$	
	$A = 600 \text{ mm}$	

ÇÖZÜM 1:

Gerekli uzunlukların hesabı:

$$2u = \frac{l_t - m}{2} = \frac{2600 - 500}{2} = 1050 \text{ mm} \quad (\text{Traversin ray altında yük ileten kısmının uzunluğu})$$

$$B = \frac{2u \cdot b_t}{A} = \frac{1050 \cdot 250}{600} = 437,50 \text{ mm} \quad (\text{Hayali sürekli kirişin genişliği})$$

$$L = \sqrt[4]{\frac{4EI}{BC}} = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 1819 \cdot 10^4}{437,50 \cdot 0,10}} = 768,75 \text{ mm} \quad (\text{karakteristik uzunluk})$$

Dinamik etki katsayısının (ρ) hesabı:

$$V > 60 \text{ km/sa} \rightarrow \Psi = 1 + \frac{V - 60}{140} = 1 + \frac{100 - 60}{140} = 1,29$$

$$s = 0,2 \cdot \Psi = 0,2 \cdot 1,29 = 0,258 ; \rho = 1 + t \cdot s = 1 + 3 \cdot 0,258 = 1,774$$

Tekerlek yükü:

$$Q = \frac{P}{2} = \frac{20}{2} = 10 \text{ ton} = 100 \cdot 10^3 \text{ N}$$

ÇÖZÜM 1 (devam):

Dinamik eğilme momentinin hesabı:

$$M_{dn} = \rho \cdot \frac{Q \cdot L}{4} = 1,774 \cdot \frac{100 \cdot 10^3 \cdot 768,75}{4}$$

$$M_{dn} = 34.094.063 \text{ Nmm}$$

Dinamik eğilmenin (çökme) hesabı:

$$y_{dn} = \rho \cdot \frac{Q}{2 \cdot C \cdot B \cdot L} = 1,774 \cdot \frac{100 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,1 \cdot 437,5 \cdot 768,75}$$

$$y_{dn} = 2,64 \text{ mm}$$

SORU 2

1. Soruda verilen bilgilerden faydalanarak, belirtilen yük altında S49 rayının güvenli olup olmadığını araştırınız. Verilen gerilme bilgileri:

$$\sigma_{\zeta} = 900 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{yo} = 340 \text{ N/mm}^2; \sigma_{alt} = 225 \text{ N/mm}^2 (\Delta T = 50^\circ\text{C için})$$

ÇÖZÜM 2:

$$\sigma_{maks} = \frac{M_{dn}}{W} = \frac{34.094.063}{248 \cdot 10^3} = 137,48 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Ray tabanında oluşan dinamik eğilme çekme gerilmesi})$$

$$\sigma_{ya} = \frac{\sigma_{yo} \cdot (\sigma_{\zeta} - \sigma_{alt})}{\sigma_{\zeta}} = \frac{340 \cdot (900 - 225)}{900} = 255,00 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Ray çeliğinin alt gerilmeli yorulma mukavemeti})$$

$$\sigma_{maks} \leq \sigma_{ya} \text{ olmalıdır.}$$

$137,48 \leq 255,00$ olduğundan; S49 rayı güvenlidir. (Yani, yorulma kırılması meydana gelmez.)

SORU 3

1. Soruda verilen bilgilerden faydalanarak, ray tabanındaki eğilme çekme gerilmesinin en çok $\sigma_{maks}=130 \text{ N/mm}^2$ olması için, en büyük travers aralığı ne olmalıdır?

ÇÖZÜM 3:

$\sigma_{maks} = \frac{M_{dn}}{W} \rightarrow 130 \geq \frac{M_{dn}}{248 \cdot 10^3} \rightarrow M_{dn} \leq 32,24 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$ (Tekerlek yükünün hemen altında rayda oluşan dinamik eğilme momentinin alması gereken en büyük değer)

$M_{dn} = \rho \cdot \frac{Q \cdot L}{4} \rightarrow 32,24 \cdot 10^6 \geq 1,774 \cdot \frac{100 \cdot 10^3 \cdot L}{4} \rightarrow L \leq 726,95 \text{ mm}$ (Karakteristik uzunluğun en büyük değeri)

$L = \sqrt[4]{\frac{4EI}{BC}} \rightarrow 726,95 \geq \sqrt[4]{\frac{4 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 1819 \cdot 10^4}{B \cdot 0,10}} \rightarrow B \geq 547,13 \text{ mm}$ (Hayali kirişin en küçük genişliği)

$B = \frac{2u \cdot b_t}{A} \rightarrow \frac{1050 \cdot 250}{A} \geq 547,13 \rightarrow A \leq 479,78 \text{ mm}$ (En büyük travers aralığı)

SORU 4

Statik tekerlek yükü $Q=10$ ton olan bir yük katarının $V=120$ km/sa hızla hareket etmesi durumunda, aşağıda özellikleri verilen traversin güvenle hizmet verip veremeyeceğini araştırınız.

TRAVERS

Ahşap

$$l_t = 2600 \text{ mm}$$

$$b_t = 260 \text{ mm}$$

$$h_t = 170 \text{ mm}$$

$$m = 500 \text{ mm}$$

$$\sigma_{em} = 160 \text{ N/mm}^2$$

RAY

Ray mesnet levhasının

(sela) genişliği: $d = 345 \text{ mm}$

ÜSTYAPI

Kötü konumlu ($s = 0,3 \cdot \Psi$)

$$t = 3$$

ÇÖZÜM 4:

$$\Psi = 1 + \frac{V-60}{140} = 1 + \frac{120-60}{140} = 1,429 \rightarrow s = 0,3 \cdot \Psi = 0,3 \cdot 1,429 = 0,429$$

$$\rho = 1 + t \cdot s = 1 + 3 \cdot 0,429 = 2,287 \text{ (Dinamik etki katsayısı)}$$

$$2u = \frac{l_t - m}{2} = \frac{2600 - 500}{2} = 1050 \text{ mm (Traversin ray altında yük ileten uzunluğu)}$$

$$S = 0,40 \cdot Q = 0,40 \cdot 10 = 4 \text{ ton} = 40 \cdot 10^3 \text{ N (Tekerlek altındaki traversin taşıdığı yük)}$$

$$M_{dn} = \rho \cdot \left(\frac{S}{8} \right) \cdot (2u - d) = 2,287 \cdot \left(\frac{40 \cdot 10^3}{8} \right) \cdot (1050 - 345)$$

$$M_{dn} = 8.061.675 \text{ Nmm (Ray eksenindeki travers kesitinde oluşan dinamik eğilme momenti)}$$

$$W = \frac{b_t \cdot h_t^2}{6} = \frac{260 \cdot 170^2}{6} = 1.252.333,33 \text{ mm}^3 \text{ (Dikdörtgen kesitli traversin mukavemet momenti)}$$

$$\sigma_{maks} = \frac{M_{dn}}{W} = \frac{8.061.675}{1.252.333,33} = 6,44 \text{ N/mm}^2 \text{ (Traversin tabanında oluşan dinamik eğilme çekme gerilmesi)}$$

$$\sigma_{maks} \leq \sigma_{em} \text{ olmalıdır.}$$

$$6,44 \text{ N/mm}^2 \leq 160 \text{ N/mm}^2 \text{ olduğundan; travers güvenlidir.}$$

SORU 5

1. Soruda verilen bilgilerden faydalananarak, belirtilen yük altında, $E_{v2}=110 \text{ N/mm}^2$ olan balastın yeterli mukavemete sahip olup olmadığını araştırınız. ($t=2$ alınacaktır.)

ÇÖZÜM 5:

1. Sorunun çözümünden, $s = 0,258$ alınır. Yeni dinamik etki katsayısı: $\rho = 1+2 \cdot 0,258 = 1,516$ olur.

$$y_{dn} = \rho \cdot \frac{Q}{2 \cdot C \cdot B \cdot L} = 1,516 \cdot \frac{100 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,10 \cdot 437,50 \cdot 768,75} = 2,25 \text{ mm (Tekerlek altında traversteki çökme)}$$

$p_{maks} = C * y_{dn} = 0,1 \cdot 2,25 = 0,225 \text{ N/mm}^2$ (Traversin çökmesi nedeniyle balast yüzeyinde oluşan dinamik basınç gerilmesi)

$$\sigma_{em} = \frac{1,75 \cdot E_{v2}}{1000} = \frac{1,75 \cdot 110}{1000} = 0,1925 \text{ N/mm}^2 \text{ (Balast malzemesinin taşıma gücü/emniyet gerilmesi)}$$

$p_{maks} \leq \sigma_{em}$ olmalıdır.

$0,225 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} > 0,1925 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ olduğundan; balast malzemesi uygun değildir.

SORU 6

1. Soruda verilen bilgilerden faydalanarak, belirtilen yük altında, $E_{v2}=120 \text{ N/mm}^2$ ve kalınlığı 400 mm balast tabakasının altında bulunan zeminin ($E_{v2}=60 \text{ N/mm}^2$) mukavemetini tahkik ediniz. ($t=1$ alınacaktır.)

ÇÖZÜM 6:

1. Sorunun çözümünden, $s = 0,258$ alınır. Yeni dinamik etki katsayısı: $\rho = 1+1 \cdot 0,258 = 1,258 \rightarrow y_{dn} = 1,870 \text{ mm}$ (Tekerlek altında traversteki çökme)

$p_{maks} = C * y_{dn} = 0,1 \cdot 1,870 = 0,187 \text{ N/mm}^2$ (Traversin çökmesi nedeniyle balast yüzeyinde oluşan dinamik basınç gerilmesi)

Eşdeğer derinlik (Balast ve zeminden oluşan iki tabakalı sistemde balast tabanında/zemin yüzeyinde oluşan σ_z gerilmesinin, tek tabakalı hayali sistemde olduğu derinlik):

$$z = 0,9 \cdot h \cdot \sqrt[3]{\frac{E_1}{E_2}} = 0,9 \cdot 400 \cdot \sqrt[3]{\frac{120}{60}} = 453,57 \text{ mm}$$

ÇÖZÜM 6 (devam) :

$$\gamma_0 = \frac{2}{\pi} \left[\operatorname{Arctg} \frac{b_t}{2 \cdot z} + \frac{2 \cdot b_t \cdot z}{b_t^2 + 4 \cdot z^2} \right] = \frac{2}{\pi} \left[\operatorname{Arctg} \frac{250}{2 \cdot 453,57} + \frac{2 \cdot 250 \cdot 453,57}{250^2 + 4 \cdot 453,57^2} \right]$$

$$\gamma_0 = 0,334 \text{ (Açılar RADYAN cinsindendir.)}$$

$$\eta_A = \frac{\cos(A/L) + \sin(A/L)}{e^{A/L}} = \frac{\cos(600/768,75) + \sin(600/768,75)}{e^{600/768,75}}$$

$$\eta_A = 0,648 \text{ (Açılar RADYAN cinsindendir.)}$$

$$\sigma_z = p_{\text{maks}} \cdot (\gamma_0 + 0,1 \cdot \eta_A) = 0,187 \cdot (0,334 + 0,1 \cdot 0,648) = 0,075 \text{ N/mm}^2 \text{ ("z" derinliğinde oluşan dinamik basınç gerilmesi)}$$

$$\sigma_{\text{em}} = \frac{1,75 \cdot E_{v2}}{1000} = \frac{1,75 \cdot 60}{1000} = 0,105 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_z \leq \sigma_{\text{em}} \text{ olmalıdır.}$$

$$0,075 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 0,105 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \text{ olduğundan; zemin emniyet gerilmesi aşılmamıştır.}$$

(Üstyapı teknik yeterliliği ve maliyeti)

Bir demiryolu üstyapısında kullanılabilecek malzemelerle ilgili bilgiler Tablo 1’de verilmiştir. Bu hatta işletilecek katarların azami (maksimum) tekerlek yükü 10 ton ve azami hızı 150 km/sa olarak belirlenmiştir. Bu katarların ray tabanında oluşturacağı dinamik eğilme-çekme gerilmeleri (σ_{maks}), travers tabanında oluşturacağı balastı zorlayan dinamik basınç gerilmeleri (p_{maks}) ve balast tabanında oluşturacağı taban zeminini zorlayan dinamik basınç gerilmeleri (σ_z), değişik ray tipi ve travers aralığı seçenekleri için hesaplanarak Tablo 2’de verilmiştir.

Verilen ray tipi ve travers aralığı seçenekleri için, üstyapı ve altyapıya gelen etkileri mukavemet veya taşıma gücü değerleriyle karşılaştırarak, 1 km maliyeti en düşük olan üstyapı tipini (ray ve travers aralığı) seçiniz. Seçeneklerin teknik yeterliliklerinin uygun olmaması halinde, ne yapılması gerektiği konusunda öneriler sununuz.

Tablo 1

Ray tipi	---	R49 / R54 / R60
1 metre ray maliyeti	\$	55 / 70 / 75
Ray çekme mukavemeti (σ_c)	kg/mm ²	70 / 90 / 90
Ray yorulma mukavemeti (σ_{yo})	kg/mm ²	32 / 34 / 34
Ray içsel gerilmesi ($\sigma_{iç}$)	kg/mm ²	10
Ray sıcaklık farkı (ΔT)	°C	50
Travers uzunluğu (l_t)	cm	260
Travers genişliği (b_t)	cm	30
Travers aralığı (A)	cm	Değişken (Bkz. Tablo 2)
1 adet travers maliyeti	\$	40
Balast şekil değiştirme modülü ($E_b = E_{v2}$)	kg/cm ²	1200
Zemin şekil değiştirme modülü ($E_z = E_{v2}$)	kg/cm ²	600

Tablo 2

Seçenek No	R49 / 70					
	A	C	L	σ_{maks}	p_{maks}	σ_z
	cm	kg/cm ³	cm	kg/mm ²	kg/cm ²	kg/cm ²
1	50	7,53	74,46	14,91	1,85	1,06
2	55	7,53	76,26	15,27	1,99	1,13
3	60	7,53	77,94	15,60	2,13	1,20
4	65	7,53	79,51	15,92	2,26	1,27
5	70	7,53	81,00	16,21	2,39	1,33
	R54 / 90					
	A	C	L	σ_{maks}	p_{maks}	σ_z
6	50	7,53	79,35	15,88	1,74	1,00
7	55	7,53	81,27	16,27	1,87	1,07
8	60	7,53	83,06	16,63	2,00	1,13
9	65	7,53	84,73	16,96	2,12	1,20
10	70	7,53	86,32	17,28	2,24	1,26
	R60 / 90					
	A	C	L	σ_{maks}	p_{maks}	σ_z
11	50	7,53	84,77	16,97	1,63	0,94
12	55	7,53	86,81	17,38	1,75	1,00
13	60	7,53	88,72	17,76	1,87	1,07
14	65	7,53	90,52	18,12	1,98	1,13
15	70	7,53	92,21	18,46	2,10	1,19

ÇÖZÜM 7:

Yüklenme sonucu üstyapıda meydana gelen dinamik gerilmeler verildiğinden, ray tiplerinin alt gerilmeli yorulma mukavemetleri (σ_{ya}) ile balast ve zeminin taşıma güçleri (σ_{em}) hesaplanmalıdır. Daha sonra bu gerilmeler karşılaştırılarak, teknik olarak uygun seçenekler belirlenecektir.

Rayın alt gerilmeli yorulma mukavemeti ray tipine bağlı olarak hesaplanır:

$$\sigma_{ya} = \frac{\sigma_{yo}(\sigma_{\varphi} - \sigma_{alt})}{\sigma_{\varphi}}; \sigma_{alt} = \sigma_{iç} + \sigma_t$$

$\sigma_t = 0,25\Delta T$ (kg/mm²) (rayda genişlemenin engellenmesi ile oluşan ısı gerilmesi)

R49 / 70 için $\sigma_{ya} = 21,71$ kg/mm²

R54 / 90 ve R60 / 90 için $\sigma_{ya} = 25,50$ kg/mm²

Gerilmelerin karşılaştırılması:

- Her üç ray tipi için dinamik eğilme-çekme gerilmeleri (σ_{maks}), rayların alt gerilmeli yorulma mukavemetlerinin (σ_{ya}) altında kaldığından, her üç ray tipi de (yani 1-15 seçenekleri) teknik yeterliliğe sahiptir.

ÇÖZÜM 7 (devam):

Balast malzemesinin ve zeminin taşıma gücü (emniyet gerilmesi) ray tipi ve travers aralığından bağımsız olarak hesaplanır:

$$\sigma_{em} = 1,75 \frac{E_{v2}}{1000}$$

Balast için $\sigma_{em} = 2,10 \text{ kg/cm}^2$

Zemin için $\sigma_{em} = 1,05 \text{ kg/cm}^2$

Gerilmelerin karşılaştırılması:

- Travers tabanında oluşan balastı zorlayan dinamik basınç gerilmeleri (p_{maks}), 1-2, 6-8 ve 11-15 seçeneklerinde balast malzemesinin emniyet gerilmesinin (σ_{em}) altında kaldığından, sadece bu seçenekler teknik yeterliliğe sahiptir.
- Balast tabanında oluşan taban zeminini zorlayan dinamik basınç gerilmeleri (σ_z), sadece 6, 11 ve 12 no'lu seçeneklerde zeminin emniyet gerilmesinin (σ_{em}) altında kaldığından, bu seçenekler teknik yeterliliğe sahiptir.

ÇÖZÜM 7 (devam):

Teknik yeterliliğe sahip seçeneklerin maliyet hesabı:

Seçenek No	Ray tipi	Travers aralığı (cm)	1 km yolda travers sayısı (n)	Ray maliyeti (\$)	Travers maliyeti (n* \$40)	Toplam maliyet (\$)
6	R54 / 90	50	2000	70.000	80.000	150.000
11	R60 / 90	50	2000	75.000	80.000	155.000
12	R60 / 90	55	1818	75.000	72.720	147.720

Buna göre, 12 no'lu seçenek, toplam maliyeti en düşük üstyapı tipi olmaktadır.