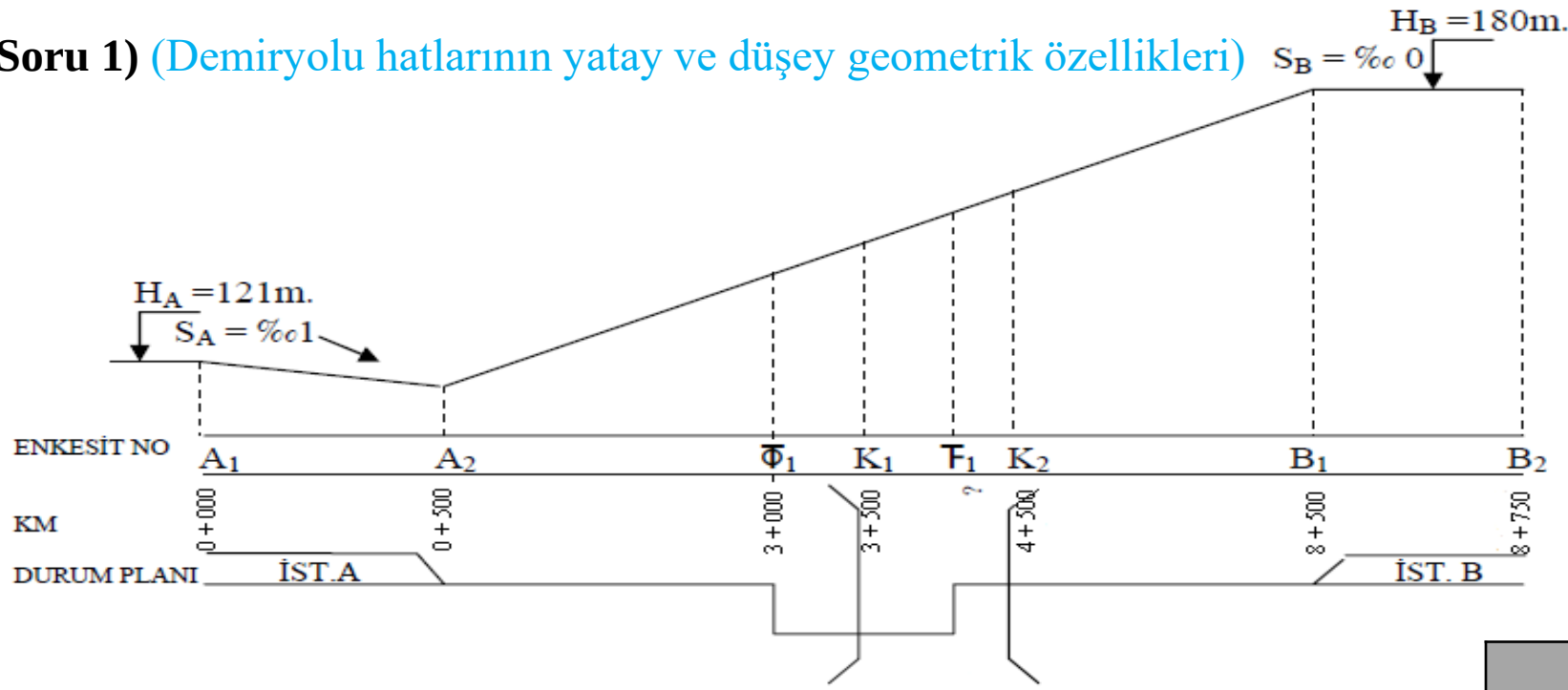


INS3442 DEMİRYOLU MÜHENDİSLİĞİ DERSİ

**2023-2024 BAHAR YARIYILI
DEMİRYOLU UYGULAMASI**

Soru 1) (Demiryolu hatlarının yatay ve düşey geometrik özellikleri)



Sabit direnim ilkesine göre tasarlanmış, boykesiti verilen güzergâh kesiminin uçlarında A ve B istasyonları bulunmaktadır. Bu hat kesiminde bir kısmı üst üste gelen bir tünel ve bir kurp bulunmaktadır. Buna göre, aşağıdaki soruları yanıtlayınız.

a) F_1 noktasının kilometresini hesaplayınız.

b) Bu güzergâh kesiminde uygulama eğimini (s_u) hesaplayınız.

c) K_1 , F_1 noktalarının kırmızı kotlarını hesaplayınız.

d) B istasyonundan A istasyonuna doğru rampa iniş yönünde 120 km/sa rejim hızıyla seyreden bir katar için hattın herhangi bir kesiminde zararlı eğim var mıdır? Sebebinin açıklayınız.

Verilenler		
H_A	121	m
H_B	180	m
Δ	66	°
R	1000	m
Tünel uz. (L_t)	1000	m
w_o	$1,7+(V^2/4000)$	N/kN
w_r	$650/(R-55)$	N/kN
w_t	1,0	N/kN

a) F_1 noktasının kilometresini hesaplayınız.

Çözüm: Kurzun developman uzunluğu (yani kurp yayının açılım uzunlu) hesaplanır. Bu uzunluk kurzun başlangıç km'sine eklenir.

$$D_r = \frac{2 * \pi * R * \Delta}{360} = \frac{2 * \pi * 1000 * 66}{360} = 1151,92m$$

$$KM_F = KM_{\Phi} + D_r$$

$$KM_F = (3 + 000) + 1151,92 = 4+151^{92}$$

b) Bu güzergâh kesiminde uygulama eğimini (s_u) hesaplayınız.

Çözüm: İstasyonlar hattın iki ucunda olduğu ve arada istasyon olmadığı için, uygulama eğimi A_2B_1 arasındaki hat kesimi için hesaplanabilir.

$$H_{A_2} = 121 - 1 \times \frac{500}{1000} = 120,5m$$

$$S_u = S_{o_{A_2B_1}} + \frac{\sum h}{L_{A_2B_1}} \quad \rightarrow \quad \text{Burada } \sum h, \text{ sabit direnim ilkesi uyarınca } A_2B_1 \text{ rampasında yapılan eğim azaltmalarından kaynaklı kot kayıplarının toplamıdır.}$$

$$L_{A_2B_1} = (8+500) - (0+500) = 8000 \text{ m.}$$

$$S_{o_{A_2B_1}} = \frac{H_{B_1} - H_{A_2}}{L_{A_2B_1}} = \frac{180 - 120,5}{\frac{8000}{1000}} = \%7,44$$

$$\left. \begin{aligned}
 w_r &= \frac{650}{R-55} = \frac{650}{1000-55} = 0,69 \text{ N / kN} \\
 \Delta h_r &= w_r * D_r = 0,69 * \frac{1151,92}{1000} = 0,79 \text{ m} \\
 w_t &= 1 \text{ N / kN} \\
 \Delta h_t &= w_t * L_t = 1 * \frac{4500-3500}{1000} = 1 \text{ m} \\
 \sum h &= 1 + 0,79 = 1,79 \text{ m}
 \end{aligned} \right\} s_u = 7,44 + \frac{1,79}{\frac{8000}{1000}} = \%7,66$$

c) K_1 , $\overline{F}_1$ noktalarının kırmızı kotlarını hesaplayınız.

Çözüm:

Yoldaki eğimler, A_2 - $\overline{\Phi}_1$ arasında s_u , $\overline{\Phi}_1$ - K_1 arasında $(s_u - w_r)$, K_1 - $\overline{F}_1$ arasında ise $(s_u - w_r - w_t)$ olacaktır.

$$KK_{K_1} = KK_{A_2} + s_u * L_{A_1TO_1} + (s_u - w_r) * L_{TO_1K_1} = 120,5 + 7,66 * \frac{2500}{1000} + (7,66 - 0,69) * \frac{500}{1000} = 143,14 \text{ m}$$

$$KK_{\overline{F}_1} = KK_{K_1} + (s_u - w_r - w_t) * L_{K_1\overline{F}_1} = 143,14 + (7,66 - 0,69 - 1) * \frac{1151,92 - 500}{1000} = 147,03 \text{ m}$$

d) B istasyonundan A istasyonuna doğru rampa iniş yönünde 120 km/sa rejim hızıyla seyreden bir katar için hattın herhangi bir kesiminde zararlı eğim var mıdır? Sebebini açıklayınız.

Çözüm:

Zararlı eğim, $s > \Sigma w$ olduğunda ortaya çıkar. Burada güzergâhın “herhangi bir yerinde” zararlı eğim olup olmadığı sorulduğundan, eğimin en büyük, direnimlerin en küçük olduğu kısımlar olan «açık hava ve doğrudaki» kısımlar incelenecektir. Bu kesimlerde katar yalnızca w_0 direnimiyle karşılaşmaktadır.

$$w_0 = 1,7 + \frac{V^2}{4000} = 1,7 + \frac{120^2}{4000} = 5,3 N / kN$$

Açıklama:

Burada s_u (‰ 7,66) $> \Sigma w = w_0$ (5,3 N/kN) olduğundan, güzergâhta **zararlı eğim** vardır. Eğer soru “bu güzergâhın hangi kesimlerinde zararlı eğim vardır” diye sorulmuş olsaydı, o zaman, «eğim-direnim karşılaştırmasının» yalnız kurp içinde kalan kesim, yalnız tünel içinde kalan kesim ve kurpla tünelin üst üste geldiği kesim için ayrı ayrı yapılması, yani 3 farklı hesap daha yapılması gerekecekti.

Soru 2) (Demiryolu taşıtlarının hareketi, çekim)

Bir demiryolu şebekesinde yük katarları aşağıdaki çizelgede özellikleri verilmiş olan lokomotifler tarafından çekilmektedir. Aynı çizelgede katarların genel özellikleri ile ilgili gerekli bilgiler de vardır. Katarlarda 1 adet lokomotif bulunmaktadır, belirtilen eğimler çıkış eğimidir. Bu bilgilere göre, aşağıdaki büyüklükleri hesaplayınız; ancak hesaplarken aşağıdaki notları mutlaka dikkate alınız:

Not 1: Şebekede sabit direnim ilkesi uygulanmamaktadır. Verilen eğimlerde sabit direnim ilkesi ile ilgili herhangi bir değişiklik yapmayınız.

Not 2: Her şık tamamen kendi içerisinde bağımsız olarak çözülecektir, şıklar arasında herhangi bir veri aktarımı yapmayınız.

Verilenler		
Dingil Düzeni	Bo'Bo'Bo'	
Lokomotif Ağırlığı	135	ton
w_o	$2,5 + V^2 / 3000$	N / kN
$1/\rho$	105	
Yerçekimi ivmesi (g)	10	m / s ²
μ (ray-tek.)	$160 + 7500/(V + 44)$	N / kN
Lokomotif gücü	4500	kW
Kurp Direnimi	$650 / (R - 45)$	N / kN

- a) $G_w = 1500$ ton iken, katarın açık havada ve doğrudan doğruya 90 km / sa sabit hızla tırmanabileceği en büyük eğim.
- b) Katarın açık havada ve doğrudan doğruya 90 km / sa sabit hızla tırmanabileceği en büyük eğimin %7,5 olmasını sağlayan vagon dizisinin ağırlığı.
- c) Katarın açık havada, $s = \%2,83$ ve $G_w = 2500$ ton iken yapabileceği en büyük (sabit) hızın 75 km/sa olmasını sağlayan kurp yarıçapı.
- d) $G_w = 2000$ ton olan katar açık havada, doğrudan doğruya ve düzlükte hızlanmaktayken, tam $V = V_g$ (geçiş hızı) olduğu andaki hızlanma ivmesi.
- e) $s = \%5$ iken açık havada ve doğrudan doğruya 0,2 m/s² ivmeyle kalkış yapabilmesine olanak veren en büyük vagon dizisinin ağırlığı.
- f) $G_w = 2000$ ton iken, açık havada ve doğrudan doğruya, asla (istenilen kalkış ivmesi değeri ne kadar küçültülürse küçültülsün) kalkış yapamamasına neden olacak eğimin sınır (en küçük) değeri.

a) $G_w = 1500$ ton iken, katarın açık havada ve doğrudan 90 km / sa sabit hızla tırmanabileceği en büyük eğim.

Çözüm: Genel hareket denkleminde yararlanılmalıdır.

$$z - w = \frac{1}{\rho} * \frac{dV}{dt} \quad \longrightarrow \quad \text{Hız sabit olduğundan} \quad \frac{dV}{dt} = 0 \quad \text{ve} \quad z = w \text{ olacaktır.}$$

$$z = w \quad \longrightarrow \quad z = w_0 + s \quad \longrightarrow \quad s = z - w_0$$

$$w_0 = 2,5 + \frac{V^2}{3000} = 2,5 + \frac{90^2}{3000} = 5,2 \text{ N / kN}$$

$$Z = \frac{3600 * N}{V} = \frac{3600 * 4500}{90} = 180000 \text{ N}$$

$$z = \frac{Z}{10 * (G_L + G_w)} = \frac{180000}{10 * (135 + 1500)} = 11,01 \text{ N / kN}$$

$$s = z - w_0 = 11,01 - 5,2 = \%5,81$$

b) Katarın açık havada ve doğrudan 90 km / sa sabit hızla tırmanabileceği en büyük eğimin ‰7,5 olmasını sağlayan vagon dizisinin ağırlığı.

Çözüm: Genel hareket denkleminde yararlanılmalıdır.

$$Z - w = \frac{1}{\rho} * \frac{dV}{dt} \quad \longrightarrow \quad \text{Hız sabit olduğundan} \quad \frac{dV}{dt} = 0 \quad \text{ve} \quad Z = w \text{ olacaktır.}$$

$$Z = w \quad \longrightarrow \quad Z = w_o + s \quad \longrightarrow \quad s = Z - w_o$$

$$w_o = 2,5 + \frac{V^2}{3000} = 2,5 + \frac{90^2}{3000} = 5,2 \text{ N / kN}$$

$$Z = \frac{3600 * N}{V} = \frac{3600 * 4500}{90} = 180000 \text{ N}$$

$$Z = \frac{Z}{10 * (G_L + G_w)} = \frac{180000}{10 * (135 + G_w)}$$

$$s = 7,5 = Z - w_o = \frac{180000}{10 * (135 + G_w)} - 5,2 \Rightarrow G_w = 1282,32 \text{ ton}$$

c) Katarın açık havada, $s = \text{‰}2,83$ ve $G_w = 2500$ ton iken yapabileceği en büyük (sabit) hızın 75 km/sa olmasını sağlayan kurp yarıçapı.

Çözüm: Genel hareket denkleminde yararlanılmalıdır.

$$z - w = \frac{1}{\rho} * \frac{dV}{dt} \quad \longrightarrow \quad \text{Hız sabit olduğundan} \quad \frac{dV}{dt} = 0 \quad \text{ve} \quad z = w \text{ olacaktır.}$$

$$Z = \frac{3600 * N}{V} = \frac{3600 * 4500}{75} = 216000 N$$

$$z = \frac{Z}{10 * (G_L + G_w)} = \frac{216000}{10 * (135 + 2500)} = 8,2 N / kN$$

$$z = w = w_o + s + w_r \Rightarrow w_r = z - w_o - s \quad (\text{Bu hatta sabit direnin ilkesi uygulanmadığını anımsayınız!})$$

$$w_o = 2,5 + \frac{V^2}{3000} = 2,5 + \frac{75^2}{3000} = 4,38 N / kN$$

$$w_r = z - w_o - s = 8,2 - 4,38 - 2,83 = 0,99 N / kN$$

$$0,99 = \frac{650}{R - 45} \Rightarrow R = 700 m$$

d) $G_w = 2000$ ton olan katar açık havada, doğru ve düzlükte hızlanmaktayken, tam $V = V_g$ (geçiş hızı) olduğu andaki hızlanma ivmesi.

Çözüm:

Geçiş hızı $Z_a = Z_m$ eşitliğinden bulunur:

$$\left\{ \begin{array}{l} 10 * \mu * G_A = \frac{3600 * N}{V_g} \\ 10 * \left(160 + \frac{7500}{V_g + 44}\right) * 135 = \frac{3600 * 4500}{V_g} \Rightarrow V_g = 50,05 \text{ km / sa} \end{array} \right.$$

$$z - w = \frac{1}{\rho} * \frac{dV}{dt}$$



$$\begin{aligned} Z &= \frac{3600 * 4500}{50,05} = 323676,32 \text{ N} \\ z &= \frac{Z}{10 * (G_L + G_w)} = \frac{323676,32}{10 * (135 + 2000)} = 15,16 \text{ N / kN} \\ w &= w_0 = 2,5 + \frac{50,05^2}{3000} = 3,34 \text{ N / kN} \end{aligned}$$

$$z - w = 15,16 - 3,34 = 11,82 \text{ N / kN}$$

$$11,82 = \frac{1}{\rho} * \frac{dV}{dt} = 105 * \frac{dV}{dt} \Rightarrow \frac{dV}{dt} = 0,11 \text{ m / s}^2$$

e) $s = \%5$ iken açık havada ve doğruada $0,2 \text{ m/s}^2$ ivmeyle kalkış yapabilmesine olanak veren en büyük vagon dizisinin ağırlığı.

Çözüm:

$$z - w = \frac{1}{\rho} * \frac{dV}{dt}$$

$$\frac{1}{\rho} * \frac{dV}{dt} = w_D \quad \text{olarak isimlendirilir.}$$

$$z - w = w_D$$

$$w = w_0 + s \Rightarrow z = w_0 + s + w_D$$



$$w_D = \frac{1}{\rho} * \frac{dV}{dt} = 105 * 0,2 = 21 \text{ N / kN}$$

$$w_0 = 2,5 + \frac{V^2}{3000} = 2,5 + \frac{0^2}{3000} = 2,5 \text{ N / kN}$$

$$z = w_0 + s + w_D \Rightarrow \frac{10 * \mu * G_A}{10 * (G_L + G_W)} = w_0 + s + w_D$$

$$\frac{10 * (160 + \frac{7500}{0 + 44}) * 135}{10 * (135 + G_W)} = 2,5 + 5 + 21 \Rightarrow G_W = 1430 \text{ ton}$$

f) $G_w = 2000$ ton iken, açık havada ve doğrudan, asla (istenilen kalkış **ivmesinin** değeri ne kadar küçültülürse küçültülsün) kalkış yapamamasına neden olacak eğimin sınır (en küçük) değeri.

Çözüm:

$$z - w = \frac{1}{\rho} * \frac{dV}{dt} \Rightarrow \text{Kalkış yapamaması durumu irdelendiği için } \frac{dV}{dt} = 0 \text{ olacaktır.}$$

$$z = w$$

$$\frac{10 * \mu * G_A}{10 * (G_L + G_W)} = w_0 + s \Rightarrow s = \frac{10 * \mu * G_A}{10 * (G_L + G_W)} - w_0 = \frac{\mu * G_A}{(G_L + G_W)} - w_0$$

$$\frac{\mu * G_A}{G_L + G_W} = \frac{135 * (160 + \frac{7500}{0 + 44})}{135 + 2000} = 20,9 \text{ N / kN}$$

$$w_0 = 2,5 + \frac{V^2}{3000} = 2,5 + \frac{0^2}{3000} = 2,5 \text{ N / kN}$$

$$s = 20,5 - 2,5 = \%18,1$$

Soru 3) Bir yük katarının özellikleri aşağıdaki çizelgede verildiği gibidir.

Lokomotif Sayısı	2	adet
Lokomotifin Gücü	4000	kW
Lokomotifin Dingil Yüğü	20	ton
Lokomotifin Dingil Düzeni	Bo'Bo'Bo'	
Vagonun Dolu Ağırlığı	60	ton
Vagon Sayısı	40	adet
Katar Kütle Artış Katsayısı (1 + ξ)	1,05	
Yerçekimi İvmesi	10	m/s ²
Açıkhava, Doğru ve Düzlükteki Direnim (w_0)	$2,4 + V^2 / 3000$	N / kN
μ_y (ray - tekerlek)	200 (sabit)	N / kN
μ_f (balata - tekerlek)	$5000 / (50 + V)$	N / kN
$\alpha / \beta / \gamma$	0,6 / 0,8 / 1,0	
Rejim Hızı	90	km/sa

- a) Katarın, eğimsiz bir istasyonun çıkışına 500 metre kala hareket etmesi durumunda, rejim hızına düzlükte ulaşabilmesi için inşa edilmesi gereken eğimsiz palyenin boyunu ve katarın rejim hızına ulaşma süresini hesaplayınız.
- b) İstasyonun ve palyenin, katarın ilerleyiş yönüne göre ‰3 iniş eğimli olması durumunda, a şikkında hesapladığınız büyüklükler nasıl değişir? Hesaplayınız.
- c) Katar, ‰4 çıkış eğimli, açık hava ve doğru bir yol kesiminde durmak zorunda kalırsa, yeniden hareketinden itibaren tekrardan rejim hızına ulaşması için geçecek süreyi ve bu süreçte katarın kat edeceği yolu hesaplayınız.
- d) Katar, rejim hızıyla ‰4 çıkış eğimli, açık hava ve doğru bir yol kesiminde ilerlerken frenlemeye başlaması durumunda, durana kadar geçecek olan süreyi ve katarın kat edeceği yolu hesaplayınız. Aynı hesapları, ‰4 iniş eğimli ve eğimsiz yollar için tekrarlayınız.
- e) Katar, rejim hızıyla ‰7 çıkış eğimli, açık hava ve doğru bir yol kesiminde ilerlerken, çekim kuvveti ve fren kuvveti uygulamaksızın yavaşlamaya başlaması durumunda, durana kadar geçecek olan süreyi ve katarın kat edeceği yolu hesaplayınız.

Bütün demeraj hesapları kalkıştan geçiş hızına kadar bir, geçiş hızından rejim hızına kadar bir hız aralığında yapılacaktır. Tüm frenleme hesapları, rejim hızından duruşa kadar 2 eşit hız aralığında yapılacaktır.

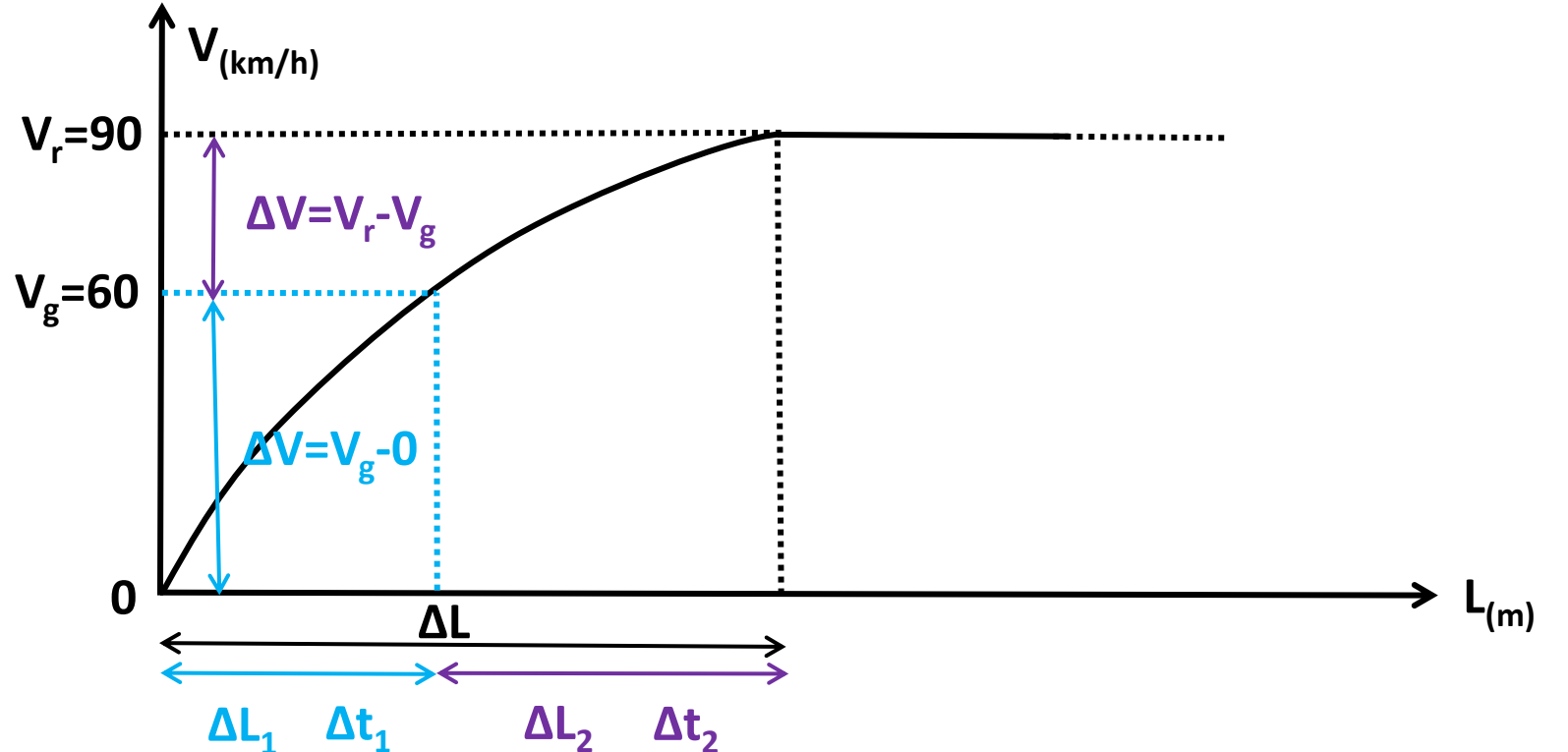
a) Katarın, eğimsiz bir istasyonun çıkışına 500 metre kala hareket etmesi durumunda, rejim hızına düzlükte ulaşabilmesi için inşa edilmesi gereken eğimsiz palyenin boyunu ve katarın rejim hızına ulaşma süresini hesaplayınız.

- Geçiş hızı hesabı:

$$Z_{\text{motor}} = Z_{\text{aderans}} \longrightarrow \frac{3600 * N}{V_g} = \mu_y * G_A * g$$

- Dingil düzeni: Bo'Bo'Bo' => $G_A = 20 * 6 = 120 \text{ ton}$. (Herbir Bo' bojisinde 2 yürütücü dingil bulunmaktadır.)

$$\frac{3600 * 4000}{V_g} = 200 * 120 * 10 \Rightarrow V_g = 60 \text{ km / sa}$$



	Hız Aralığı (km/sa)	ΔV (km / sa)	V_{ort} (km/sa)	Z (N)	z (N/kN)	w_o (N/kN)	$w_h=w_r+w_t \pm s$ (N/kN)	$w_o + w_h$ (N/kN)	Δt (s)	$\Delta \ell$ (m)
1	0 - 60	60	30	480000	18,18	2,7	0	2,7	113,05	942,08
2	60 - 90	30	75	384000	14,55	4,28	0	4,28	85,2	1775
Toplam									198,25	2717,08

1. Satır - Çekim kuvveti hesabı: $Z = 2 * \mu * g * G_A = 2 * 200 * 10 * 120 = 480000 N \Rightarrow z = \frac{Z}{g(G_L + G_W)} = \frac{480000}{10 * (120 * 2 + 40 * 60)} = 18,18 N / kN$

2. Satır - Çekim kuvveti hesabı: $Z = \frac{3600 * 2 * N}{V_{ort}} = \frac{3600 * 2 * 4000}{75} = 384000 N$

1. Satır - Direnim hesabı: $w_o = 2,4 + \frac{V_{ort}^2}{3000} = 2,4 + \frac{30^2}{3000} = 2,7 N / kN$

***Bu problemde demeraj düzlükte yapıldığı için $s = 0$ olarak yazılmıştır.**

1. Satır - Δt hesabı:

$$\Delta t = \frac{1}{\rho} * \frac{\Delta V}{3,6 * [z - (w_o \mp s)]}$$

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1000}{g} * (1 + \xi) = \frac{1000}{10} * 1,05 = 105$$

$$\Delta t = 105 * \frac{60}{3,6 * (18,18 - 2,7)} = 113,05 s$$

1. satırdaki $\Delta \ell$ hesabı:

$$\Delta \ell = \frac{V_{ort}}{3,6} * \Delta t = \frac{30}{3,6} * 113,05 = 942,08 m$$

Palye boyu = Toplam demeraj uzunluğu – İstasyon uzunluğu
 $= 2717,08 - 500 = 2217,08 m$

b) İstasyonun ve palyenin, katarın ilerleyiş yönüne göre %3 iniş eğimli olması durumunda, a şıkkında hesapladığınız büyüklükler nasıl değişir? Hesaplayınız.

	Hız Aralığı (km/sa)	ΔV (km / sa)	V_{ort} (km/sa)	Z (N)	z (N/kN)	w_o (N/kN)	$w_h = w_r + w_t \pm s$ (N/kN)	$w_o + w_h$ (N/kN)	Δt (s)	Δl (m)
1	0 - 60	60	30	480000	18,18	2,7	-3	-0,3	94,7	789,17
2	60 - 90	30	75	384000	14,55	4,28	-3	1,28	65,94	1373,75
Toplam									160,64	2162,92

Eğime kadarki tüm hesaplar ve sayısal değerler a şıkkındaki ile aynıdır.

Bu problemde **demeraj %3 iniş eğiminde** gerçekleştiği için, s hücreğine -3 yazılmıştır.

1. Satır için;

$$w_o \pm s = 2,7 - 3 = -0,3 N / kN$$

$$\Delta t = \frac{1}{\rho} * \frac{\Delta V}{3,6 * [z - (w_o \pm s)]}$$

$$\Delta t = 105 * \frac{60}{3,6 * [18,18 - (-0,3)]} = 94,7 s$$

$$\Delta l = \frac{V_{ort}}{3,6} \Delta t = \frac{30}{3,6} 94,7 = 789,17 m$$

c) Katar, %4 çıkış eğimli, açık hava ve doğru bir yol kesiminde durmak zorunda kalırsa, yeniden hareketinden itibaren tekrardan rejim hızına ulaşması için geçecek süreyi ve bu süreçte katarın kat edeceği yolu hesaplayınız.

	Hız Aralığı (km/sa)	ΔV (km / sa)	V_{ort} (km/sa)	Z (N)	z (N/kN)	w_o (N/kN)	$w_h = w_r + w_t \pm s$ (N/kN)	$w_o + w_h$ (N/kN)	Δt (s)	Δl (m)
1	0 - 60	60	30	480000	18,18	2,7	4	6,7	152,44	1270,33
2	60 - 90	30	75	384000	14,55	4,28	4	8,28	139,55	2907,29
Toplam									291,99	4177,62

1. Satır için işlemler;

Eğime kadarki tüm hesaplar ve sayısal değerler a ve b şıklarındakiler ile aynıdır.

Bu problemde **demeraj %4 çıkış eğiminde** gerçekleştiği için, s hücresine 4 yazılmıştır.

$$w_o \pm s = 2,7 + 4 = 6,7 \text{ N / kN}$$

$$\Delta t = \frac{1}{\rho} * \frac{\Delta V}{3,6 * [z - (w_o \pm s)]}$$

$$\Delta t = 105 * \frac{60}{3,6 * (18,18 - 6.7)} = 152,44 \text{ s}$$

$$\Delta l = \frac{V_{ort}}{3,6} \Delta t = \frac{30}{3,6} 152,44 = 1270,33 \text{ m}$$

d) Katar, rejim hızıyla ‰4 çıkış eğimli, açık hava ve doğru bir yol kesiminde ilerlerken frenlemeye başlaması durumunda, durana kadar geçecek olan süreyi ve katarın kat edeceği yolu hesaplayınız. Aynı hesapları, ‰4 iniş eğimli ve eğimsiz yollar için tekrarlayınız.

$$\frac{\alpha * \beta}{\gamma} = \frac{0,6 * 0,8}{1,0} = 0,48$$

‰ 4 çıkış eğimi için (s = 4):

	Hız Aralığı (km/sa)	ΔV (km / sa)	V_{ort} (km/sa)	w_f (N/kN)	w_o (N/kN)	$w_h = w_r + w_t \pm s$ (N/kN)	$w_o + w_h$ (N/kN)	Δt (s)	Δl (m)
1	90 - 45	45	67,5	20,43	3,92	4	7,92	46,3	868,13
2	45 - 0	45	22,5	33,1	2,57	4	6,57	33,09	206,81
Toplam								79,39	1074,94

1. Satır için;

$$w_f = \mu_f * \frac{\alpha * \beta}{\gamma} = \frac{5000}{50 + V_{ort}} * 0,48 = \frac{5000}{50 + 67,5} * 0,48 = 20,43 N / kN$$

$$w_o = 2,4 + \frac{V_{ort}^2}{3000} = 2,4 + \frac{67,5^2}{3000} = 3,92 N / kN$$

$$\Delta t = \frac{1}{\rho} * \frac{\Delta V}{3,6 * [w_f + (w_o \pm s)]}$$

$$\Delta t = 105 * \frac{45}{3,6 * (20,43 + 7,92)} = 46,3s$$

Frenaj ‰4 çıkış eğiminde yapıldığı için, s = 4 yazılmıştır.

$$w_o \pm s = 3,92 + 4 = 7,92 N / kN$$

$$\Delta l = \frac{V_{ort}}{3,6} * \Delta t = \frac{67,5}{3,6} * 46,3 = 868,13m$$

d) *devamı...*

Eğim olmadığı durumda (s = 0):

	Hız Aralığı (km/sa)	ΔV (km / sa)	V_{ort} (km/sa)	w_f (N/kN)	w_o (N/kN)	$w_h = w_r + w_t \pm s$ (N/kN)	$w_o + w_h$ (N/kN)	Δt (s)	Δl (m)
1	90 - 45	45	67,5	20,43	3,92	0	3,92	53,9	1010,63
2	45 - 0	45	22,5	33,1	2,57	0	2,57	36,8	230
Toplam								90,7	1240,63

Eğime (s) kadarki hesaplar ve sayısal değerler %4 çıkış eğimindeki hesaplarla aynıdır. (s=0)

1. Satır için;

$$\Delta t = \frac{1}{\rho} \times \frac{\Delta V}{3,6 \times [w_f + (w_o \pm s)]}$$

$$\Delta t = 105 \times \frac{45}{3,6 * (20,43 + 3,92)} = 53,9s$$

$$\Delta l = \frac{V_{ort}}{3,6} * \Delta t = \frac{67,5}{3,6} * 53,9 = 1010,63m$$

d) *devamı...*

%4 iniş eğimi için (s = -4):

	Hız Aralığı (km/sa)	ΔV (km / sa)	V_{ort} (km/sa)	w_f (N/kN)	w_o (N/kN)	$w_h = w_r + w_t \pm s$ (N/kN)	$w_o + w_h$ (N/kN)	Δt (s)	Δl (m)
1	90 - 45	45	67,5	20,43	3,92	-4	-0,08	64,5	1209,38
2	45 - 0	45	22,5	33,1	2,57	-4	-1,43	41,44	259
Toplam								105,94	1468,38

Eğime (s) kadarki hesaplar ve sayısal değerler, %4 çıkış eğimi ve düzlükteki hesaplarla aynıdır.

1. Satır için;

$$w_o \pm s = 3,92 - 4 = -0,08 N / kN$$

$$\Delta t = \frac{1}{\rho} * \frac{\Delta V}{3,6 * [w_f + (w_o \pm s)]}$$

$$\Delta t = 105 * \frac{45}{3,6 * [20,43 + (-0,08)]} = 64,5s$$

$$\Delta l = \frac{V_{ort}}{3,6} \Delta t = \frac{67,5}{3,6} 64,5 = 1209,38 \text{ m}$$

e) Katar, rejim hızıyla ‰7 çıkış eğimli, açık hava ve doğru bir yol kesiminde ilerlerken, çekim kuvveti ve fren kuvveti uygulamaksızın yavaşlamaya başlaması durumunda, durana kadar geçecek olan süreyi ve katarın kat edeceği yolu hesaplayınız.

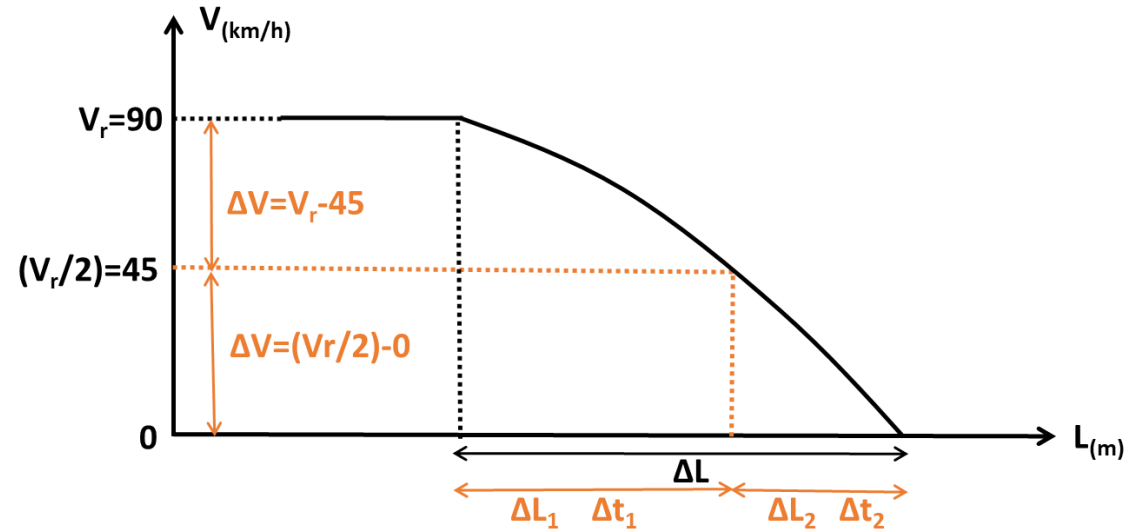
	Hız Aralığı (km/sa)	ΔV (km / sa)	V_{ort} (km/sa)	w_f (N/kN)	w_o (N/kN)	$w_h = w_r + w_t \pm s$ (N/kN)	$w_o + w_h$ (N/kN)	Δt (s)	Δl (m)
1	90 - 45	45	67,5	0	3,92	7	10,92	120,19	2253,56
2	45 - 0	45	22,5	0	2,57	7	9,57	137,15	857,19
Toplam								257,34	3110,75

Fren uygulanmadığı için, $w_f = 0$ olarak yazılmıştır. Geri kalan hesapların tamamı, önceki adımlarla aynı yöntem kullanılarak yapılmaktadır.

1. Satır için;

$$\Delta t = \frac{1}{\rho} \times \frac{\Delta V}{3,6 \times (w_o \mp s)}$$

$$\Delta t = 105 \times \frac{45}{3,6 \times 10,92} = 120,19 s$$



$$\Delta l = \frac{V_{ort}}{3,6} \Delta t = \frac{67,5}{3,6} 120,19 = 2253,56 \text{ m}$$

Evre	Katara Etkiyen Net Kuvvetler	İvme	Evredeki Hareket Denklemleri
frenleme	$-w - w_f$ ($z = 0$)	$\frac{dv}{dt} < 0$	$-w - w_f = -\frac{1}{\rho} \frac{dv}{dt}$

Soru 4) Aşağıda hız, ağırlık ve günlük sefer sayıları verilen katarların işletileceği bir demiryolu hattında;

Katar Adı	Hız (km/sa)	Toplam Katar Ağırlığı (ton)	Günlük Sefer Sayısı
YOLCU1	140	120	7
YOLCU2	120	170	9
YÜK1	40	1200	8
YÜK2	30	2000	10

Proje hızı: 180 km/sa
Max dever: 160 mm
Konfor ivmesinin izin verilen üst sınırı: 0,9 m/sn²
Yük katarları için max fazla dever: 40 mm
Hat genişliği: 1500 mm
Yerçekimi ivmesi: 10 m/sn²

a) İzin verilen en küçük kurp yarıçapını hesaplayınız.

b) Eş aşınma koşuluna göre bu hatta uygulanabilecek dever yüksekliğini hesaplayarak, yolcu ve yük katarları için izin verilen en küçük ve en büyük dever aralığına düşüp düşmediğini kontrol ediniz.

c) Yukarıda hesaplanan en küçük yarıçapın ve deverin uygulandığı bir kurptan YOLCU 1 katarının verilen hızla geçmesi durumunda, katara etkiyen net kuvvetin yönünü ve büyüklüğünü belirleyiniz.

a) İzin verilen en küçük kurp yarıçapını hesaplayınız.

$$R_{\min} = \frac{11,8 * V_p^2}{d_{maks} + 153 \gamma_{maks}} = \frac{11,8 * 180^2}{160 + 153 * 0,9} = 1284m \rightarrow 1300m$$

b) Eş aşınma koşuluna göre bu hatta uygulanabilecek dever yüksekliğini hesaplayarak, yolcu ve yük katarları için izin verilen en küçük ve en büyük dever aralığına düşüp düşmediğini kontrol ediniz.

Eş aşınma koşuluna göre dever yüksekliği hesaplama yöntemi şöyledir: Öncelikle, eş aşınma koşulunu sağlayacak ağırlıklı ortalama hız belirlenir ve bu hız için teorik dever, yola uygulanır. Ağırlıklı ortalama hız, aşağıda yazılı formüle göre belirlenmektedir:

$$V_o = \sqrt{\frac{\sum_i n_i * G_i * V_i^3}{\sum_i n_i * G_i * V_i}}$$

Burada i, hatta çalıştırılan katar türü numarasını belirten bir indeks; n_i , i numaralı tipteki katarların günlük sefer sayısı; G_i , i numaralı tipteki katarların ağırlığı; V_i , i numaralı tipteki katarların hızıdır. Bu hesap için tablo yöntemini kullanmak kolaylık sağlar.

Katar Adı	Hız (V_i) (km/sa)	Toplam Katar Ağırlığı (G_i) (Ton)	Günlük Sefer Sayısı (n_i)	$n_i G_i V_i$	$n_i G_i V_i^3$
YOLCU 1	140	120	7	117.600	2.304.960.000
YOLCU 2	120	170	9	183.600	2.643.840.000
YÜK 1	40	1200	8	384.000	614.400.000
YÜK 2	30	2000	10	600.000	540.000.000
Toplam				1.285.200	6.103.200.000

b) *devamı...*

$$V_o = \sqrt{\frac{6.103.200.000}{1.285.200}} = 68,91 \text{ km / sa}$$

$$d_{uygulanan} = d_{teo,V_o} = \frac{11,8 * V_o^2}{R} = \frac{11,8 * 68,91^2}{1300} = 43,10 \text{ mm}$$

Bu dever yüksekliğinin hatta işletilecek katarlar için uygun olup olmadığını belirlemek gerekir. Dever yüksekliği, her katar için maksimum eksik dever ve maksimum fazla dever ölçütlerini ayrı ayrı karşılamalıdır. *Maksimum eksik dever için en hızlı katar olan yolcu 1 katarına, maksimum fazla dever için en yavaş katar olan yük 2 katarına* bakmak yeterlidir.

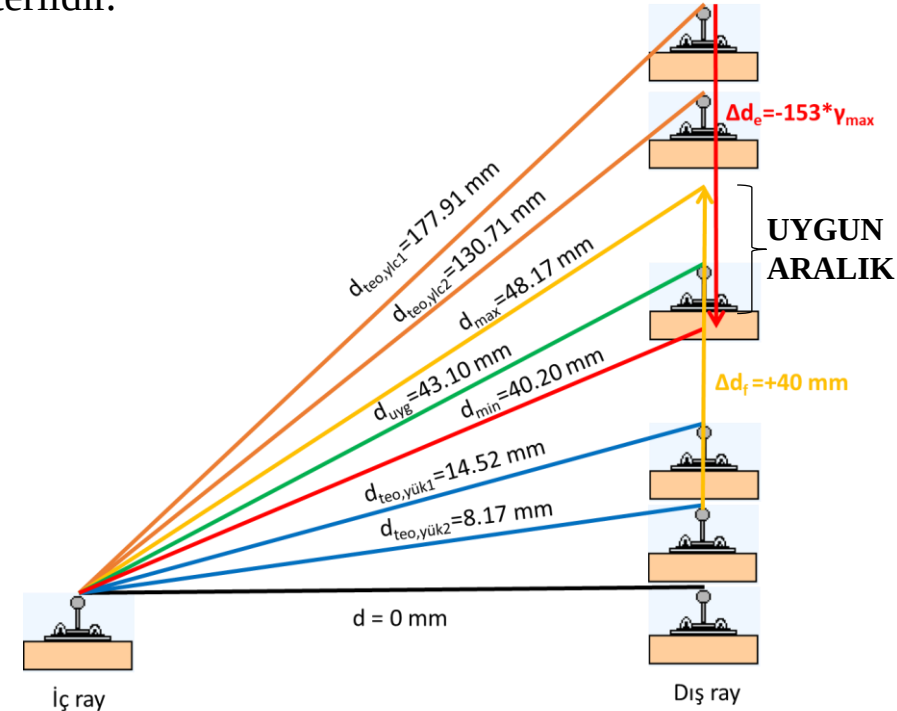
$$d_{min,yolcu1} = d_{teo,yolcu1} - 153 * \gamma_{maks} = \frac{11,8 * 140^2}{1300} - 153 * 0,9 = 40,20 \text{ mm} < 43,10 \text{ mm}$$

Tüm yolcu katarları için *minimum dever (maksimum eksik dever)* koşulu sağlanmaktadır.

$$d_{maks,yük2} = d_{teo,yük2} + \Delta d_{f,maks} = \frac{11,8 * 30^2}{1300} + 40 = 48,17 \text{ mm} > 43,10 \text{ mm}$$

Tüm yük katarları için *maksimum dever (maksimum fazla dever)* koşulu sağlanmaktadır.

Diğer bir deyimle, $d_{uygulanan}$ (40,20 mm ve 48,17 mm) aralığında bulunduğu uygun.



c) Yukarıda hesaplanan en küçük yarıçapın ve deverin uygulandığı bir kurptan YOLCU 1 katarının verilen hızla geçmesi durumunda, katarı etkileyen net kuvvetin yönünü ve büyüklüğünü belirleyiniz.

YOLCU 1 katarı, kurptan verilen hızla geçtiğinde γ büyüklüğünde (dengelenmemiş) bir konfor ivmesiyle karşılaşmaktadır. Newton kanunlarına göre, bu ivmenin katar kütlesiyle çarpımı katarı etki eden net kuvveti verecektir ve bu kuvvet aşağıda gösterildiği gibi merkezkaç kuvvetidir.

$$d_{uygulan} = d_{teo} - 153 * \gamma$$

$$43,10 = \frac{11,8 * 140^2}{1300} - 153 * \gamma \Rightarrow \gamma = 0,88 m / s^2$$

$$\gamma = \frac{F_{net}}{m_{katar}} \Rightarrow F_{net} = m_{katar} * \gamma = 120 * 0,88 = 105,6 kN$$

Dengelenmemiş yanal ivmenin (γ) işareti pozitif çıktığından, dengelenmemiş kuvvetin yönü karp dışına doğru, yani merkezkaç kuvvet yönündedir.

Dengelenmemiş kuvvetin yönü hız karşılaştırmasından yararlanarak da belirlenebilir:

$V_i > V_o$ ise dengelenmemiş dış yönlü (merkezkaç) kuvvet,

$V_o > V_i$ ise dengelenmemiş iç yönlü (merkezcil) kuvvet oluşur.

