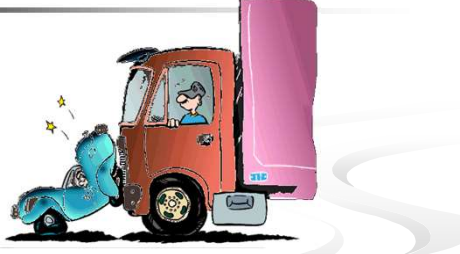


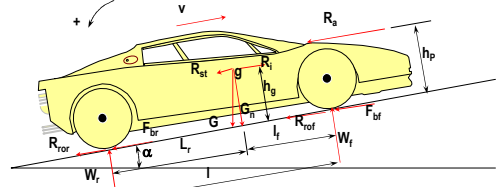
FRENLEME KUVVETİ ve FRENLER



Prof. Dr. Selim ÇETİNKAYA

Frenlenen taşıta etkiyen kuvvetler

Yavaşlatıcı temel kuvvet, fren sistemi tarafından geliştirilen ve lastikle zemin arasındaki etkileşime bağlı olarak ortaya çıkan F_{bnet} kuvvetidir.



Frenlenen taşıta etkiyen kuvvetler

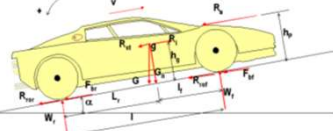
Frenlenen taşıta etkiyen kuvvetler...

Geliştirilen frenleme kuvveti, tutunma kuvvetinden küçükse, frenleme kuvveti;

$$F_b = \frac{M_b - \sum I \alpha}{r_w}$$

$$F_{bnet} = F_b + R_{ro} + R_a \pm R_{st} + R_{tr}$$

(R_{tr}) diğerlerine oranla çok küçük olduğundan, genellikle ihmal edilmektedir.



Frenlenen taşıta etkiyen kuvvetler...

$$W_{fd} = \frac{1}{L} [G_n \cdot L_f - h_g (\pm R_{st} - R_f + R_a)] \quad W_{rd} = \frac{1}{L} [G_n \cdot L_f + h_g (\pm R_{st} - R_f + R_a)]$$

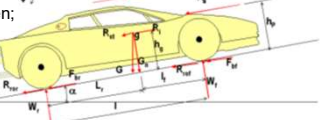
Yola paralel kuvvetlerin eşitliğinden;

$$R_f \pm R_{st} - R_a - R_{ro} - F_b = 0$$

$$\pm R_{st} - R_f + R_a = -(F_b + R_{ro})$$

$G_n \approx G$ alınırsa

$$W_{fd} = \frac{1}{L} [G \cdot L_f + h_g (F_b + R_{ro})]$$



$$W_{rd} = \frac{1}{L} [G \cdot L_f - h_g (F_b + R_{ro})]$$

Dört tekerlekten frenlemede toplam taşıt ağırlığı dikkate alınır.

$$F_{bnet} = G \cdot \mu_{bmax} = F_b + R_{ro}$$

yerlerine yazılırsa;

$$W_{fd} = \frac{1}{L} (G \cdot L_f + G \cdot h_g \cdot \mu_{bmax})$$

$$W_{rd} = \frac{1}{L} (G \cdot L_f - G \cdot h_g \cdot \mu_{bmax})$$

Frenlenen taşıta etkiyen kuvvetler...

$$W_{fd} = \frac{1}{L} (G \cdot L_f + G \cdot h_g \cdot \mu_{bmax})$$

$$W_{rd} = \frac{1}{L} (G \cdot L_f - G \cdot h_g \cdot \mu_{bmax})$$

Dört tekerlekten frenlemedeki ağırlık dağılım faktörleri:

$$w_{bf} = \frac{L_f + h_g \cdot \mu_{bmax}}{L}$$

$$w_{br} = \frac{L_f - h_g \cdot \mu_{bmax}}{L}$$

Maksimum frenleme kuvveti için, ön ve arka dingil kuvvet dağılım oranı:

$$\frac{F_{bfmax}}{F_{brmax}} = \frac{w_{bf}}{w_{br}} = \frac{L_f + h_g \cdot \mu_{bmax}}{L_f - h_g \cdot \mu_{bmax}} = \frac{k_{bf}}{k_{br}}$$

k_{bf}, k_{br} : Ön ve arka dingillerdeki frenleme kuvvetlerinin toplam frenleme kuvvetine oranları, (Fren sistemi tasarımı ile belirlenmektedir).

ÖRNEK

Bir otomobilde, statik yükün % 60'ı ön dingile etki etmektedir.

$$L = 2,4 \text{ m} \quad h_g = 0,5 \text{ m} \quad m_b = 0,8$$

olduğuna göre, taşıtın maksimum frenleme etkinliği için, fren kuvveti dağılım oranı ne olmalıdır?

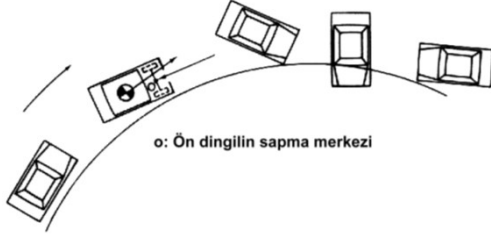
ÇÖZÜM

$$\frac{F_{bfmax}}{F_{brmax}} = \frac{1,44 + 0,5 \times 0,8}{0,96 - 0,5 \times 0,8} = \frac{1,84}{0,56} = \frac{77}{23}$$

Toplam fren kuvvetinin % 77'si ön dingilde, % 23'ü de arka dingilde uygulanmalıdır.

Kilitlenme

Arka tekerleklerin kilitlenmesine bağımlı doğrultu kaybı



Kilitlenme...

Frenlenen taşıta sadece frenleme ve yuvarlanma direncinin etki ettiği varsayılırsa;

$$F_b + G \cdot f_{ro} = F_{bf} + F_{br} + G \cdot f_{ro} = m_{br} \cdot a$$

4. yansıdaki eşitliklerde yerlerine yazılarak;

$$W_f = \frac{G}{L} \left(L_r + \frac{a}{g} h_g \right)$$

$$W_r = \frac{G}{L} \left(L_r - \frac{a}{g} h_g \right)$$

$$F_b = R_i - R_o$$

$$F_b = ma - G f_{ro} = G \left(\frac{a}{g} - f_{ro} \right)$$

$$F_{bf} = k_{bf} \cdot F_b = k_{bf} G \left(\frac{a}{g} - f_{ro} \right)$$

$$F_{br} = k_{br} \cdot F_b = (1 - k_{bf}) F_b = (1 - k_{bf}) G \left(\frac{a}{g} - f_{ro} \right)$$

$$F_{bf} \approx W_f \cdot \mu_{bmax}$$

$$k_{bf} G \left(\frac{a}{g} - f_{ro} \right) = \mu_{bmax} G \left(\frac{L_r}{L} + \frac{a}{g} \frac{h_g}{L} \right)$$

Kilitlenme...

$$\left(\frac{a}{g} \right)_f = \frac{\mu_{ro} \frac{L_r}{L} + k_{bf} \cdot f_{ro}}{k_{bf} - \mu_{ro} \frac{h_g}{L}}$$

$$\left(\frac{a}{g} \right)_r = \frac{\mu_{ro} \frac{L_r}{L} + (1 - k_{bf}) f_{ro}}{1 - k_{bf} + \mu_{ro} \frac{h_g}{L}}$$

$$\left(\frac{a}{g} \right)_f < \left(\frac{a}{g} \right)_r$$

$$\left(\frac{a}{g} \right)_r < \left(\frac{a}{g} \right)_f$$

Koşulunda ön tekerlekler önce kilitlenir.

Koşulunda arka tekerlekler önce kilitlenir.

ÖRNEK

10 kN ağırlığındaki bir taşıtın dingiller arası uzaklığı 2,6 m, ağırlık merkezinin ön dingile uzaklığı 1,4 m ve zeminden yüksekliği 0,5 m'dir. Yuvarlanma direnci katsayısı 0,02, fren kuvveti dağılımı, ön dingile 0,55 olduğuna göre;

a) $\mu_{bmax} = 0,8$,

b) $\mu_{bmax} = 0,2$ koşullarında, hangi tekerleklerin önce kilitleneceğini tespit ediniz.

ÇÖZÜM

a) $\mu_{bmax} = 0,8$ için

$$\left(\frac{a}{g} \right)_f = \frac{0,8(1,2/2,6) + 0,55 \times 0,02}{0,55 - 0,8(0,5/2,6)} = 0,96$$

$$\left(\frac{a}{g} \right)_r < \left(\frac{a}{g} \right)_f$$

$$\left(\frac{a}{g} \right)_r = \frac{0,8(1,2/2,6) + (1 - 0,55) \times 0,02}{1 - 0,55 + 0,8(0,5/2,6)} = 0,73$$

arka tekerlekler önce kilitlenir.

ÇÖZÜM

b) $\mu_{bmax} = 0,2$ için

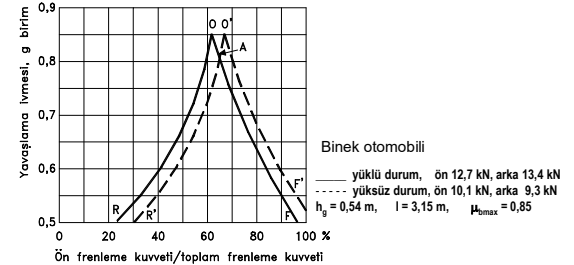
$$\left(\frac{a}{g} \right)_f = \frac{0,2(1,2/2,6) + 0,55 \times 0,02}{0,55 - 0,2(0,5/2,6)} = 0,21$$

$$\left(\frac{a}{g} \right)_r = \frac{0,2(1,2/2,6) + (1 - 0,55) \times 0,02}{1 - 0,55 + 0,2(0,5/2,6)} = 0,24$$

$$\left(\frac{a}{g} \right)_f < \left(\frac{a}{g} \right)_r$$

ön tekerlekler önce kilitlenir.

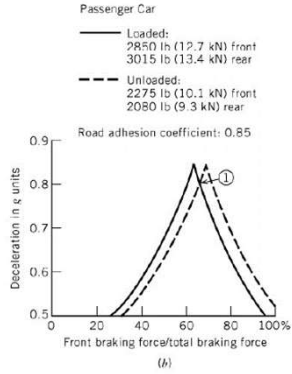
Fren kuvveti dağılımı



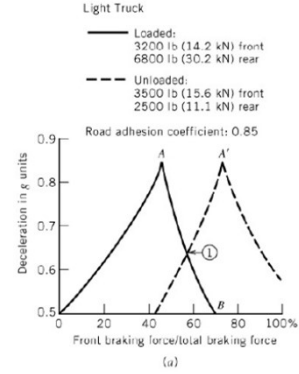
RO ve R'O: taşıtın arka tekerlekleri kilitlenmeksizin taşıtın başarabileceği yavaşlama ivmesi sınırları

OF ve O'F: taşıtın ön tekerlekleri kilitlenmeksizin başarabileceği yavaşlama ivmesi sınırları

Fren kuvveti dağılımı...

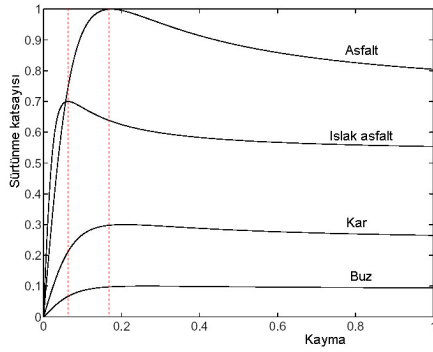


Fren kuvveti dağılımı...



Kilitlenmeyi önleyici sistemler

En iyi tutunma %10-20 kayma bölgesinde gerçekleşmektedir.

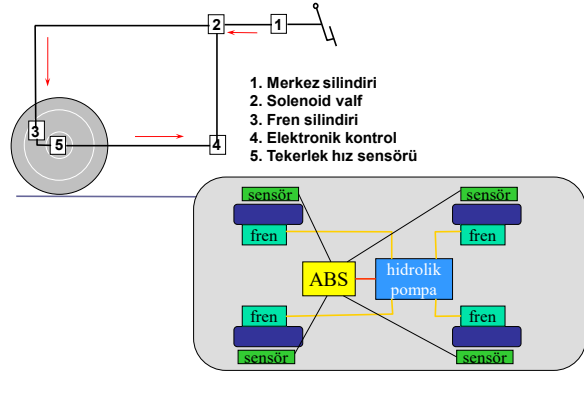


Kilitlenmeyi önleyici sistemler...

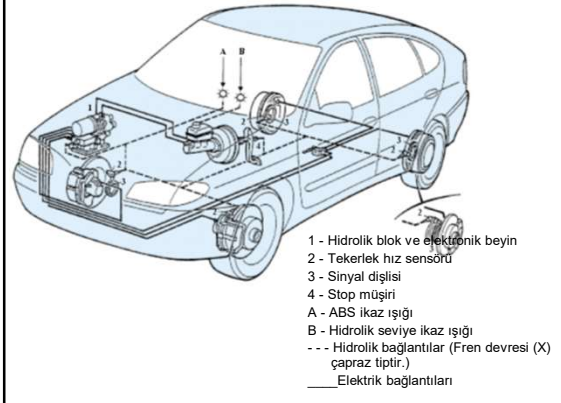
ABS (Anti-Lock brake system) ler:

- 1 hatlı sistemler (Tüm tekerleklerin ortak kontrolü)
- 3 hatlı sistemler (Arka tekerleklerin ortak, önlerin bağımsız kontrolü)
- 4 hatlı sistemler (Tüm tekerleklerin bağımsız kontrolü)

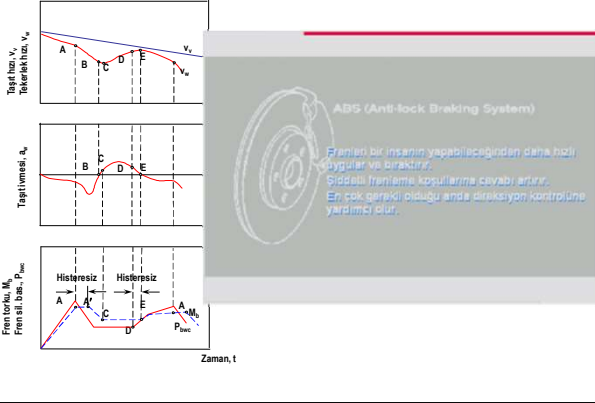
Kilitlenmeyi önleyici sistemler...



Kilitlenmeyi önleyici sistemler...



Kilitlenmeyi önleyici sistemler...



Frenleme ivmesi

Frenlemenin ivme sınırı için, hava direnci ihmal edilirse

$$a_b = \frac{G \cdot \cos \alpha \cdot \mu_{bmax} + G \cdot f_{ro} \pm G \cdot \sin \alpha}{g \cdot \gamma_b}$$

$$a_{bmax} = g (\mu_{bmax} \cos \alpha \pm \sin \alpha)$$

Sin α 'nın işareti, yokuş çıkarken (+), yokuş inerken (-)

Karayolu taşıtlarında, güvenlik bakımından en fazla 0,32 g lik frenleme ivmesi öngörülmekte, bunun üzerindeki yavaşlama ivmeleri rahatsız edici olmaktadır.

İnsanların dayanabileceği maksimum frenleme ivmesi 20 g kadardır.

Sürücü algılama ve reaksiyonu

Algılama-reaksiyon süresi: Bir trafik veya otoyol durumunu görme, hissetme veya işitme ile algılanan şeye karşı başlangıç tepkisi verme arasındaki zaman aralığı

Algılama: cevap gerektiren ipucu veya uyarıcının tanınması veya gerçekleştirilmesi

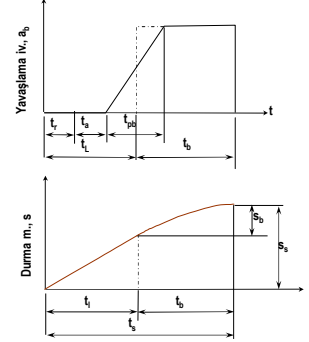
İpucunu tanımlama veya yorumlama (**akıl**)

İpucuna verilecek uygun cevabın belirlenmesi (**duygu**)

Kararın sonucunda ortaya çıkan fiziksel cevap (**istem**)

A-R süresi < 0,5 s ile > 3,0 s arasında değişmektedir.

Durma mesafesi



Durma mesafesi...

$$t_L = t_r + t_a + t_{pb}/2$$

$$t_s = t_L + v/a$$

$$s_s = v \cdot t_L + v^2/2a$$

$$s_s \approx (V/10)^2 + 3V/10$$



Pratik durma mesafesi

Fizikten

$$v_1^2 = v_2^2 + 2as$$

s : frenlemede alınan yol
v₁ : başlangıç taşıt hızı
v₂ : son taşıt hızı

a=g (μ_b Cos α ± Sin α) yazılırsa:

$$S = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g (\mu_b \cos \alpha \pm \sin \alpha)}$$

v₂ = 0
olursa
(Tam durma)

$$S = \frac{v_1^2}{2g (\mu_b \cos \alpha \pm \sin \alpha)}$$

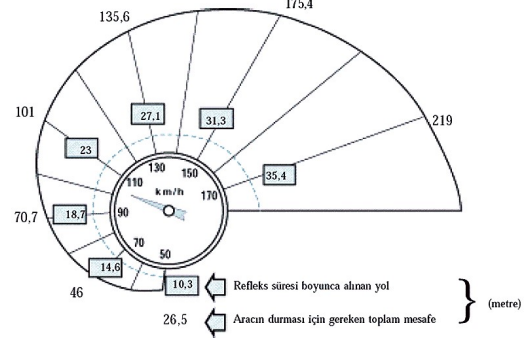
$$S_s = t_L v_1 + \frac{v_1^2}{2g (\mu_b \cos \alpha \pm \sin \alpha)}$$

Pratik durma mesafesi...

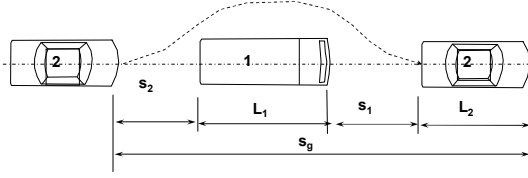
EĞİMSİZ VE KURU ASFALT YOLDA DURMA MESAFELERİ (f=0,80) http://www.kgm.gov.tr/					
Araç hızı		Reaksiyon mesafesi	Fren mesafesi	Durma mesafesi	Fren süresi
km/h	m/s	m	m	m	s
10	2,77	2,1	0,7	2,8	0,47
20	5,55	4,2	2,6	6,8	0,94
30	8,33	6,2	5,9	12,1	1,41
40	11,11	8,3	10,5	18,8	1,88
50	13,88	10,4	16,4	26,8	2,35
60	16,66	12,5	23,6	36,1	2,83
70	19,44	14,6	32,1	46,7	3,3
80	22,22	16,7	41,9	58,6	3,77
90	25	18,8	53,1	71,9	4,24
100	27,77	20,8	65,5	86,3	4,71
110	30,55	22,9	79,3	102,2	5,19
120	33,33	25	94,4	119,4	5,66

Pratik durma mesafesi...

Hıza bağlı duruş mesafesi (kuru zemin üzerinde 6 m/s² lik bir yavaşlama ivmesi ve 1,3 s reaksiyon süresi ile)



Geçişler



$$s_0 = s_g + s_b$$

$$s_g = s_1 + s_2 + L_1 + L_2$$

$$s \approx 0,3 V$$

Geçişler...

Sabit hızlı geçiş

$$s_b = \frac{t_0 \cdot V_1}{3,6} \quad t_0 = \frac{3,6 \cdot s_g}{V_2 - V_1} \quad s_0 = \frac{t_0 \cdot V_2}{3,6} = \frac{s_g \cdot V_2}{V_2 - V_1}$$

Sabit ivmeli geçiş

$$t_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot s_g}{a}} \quad s_b = \frac{t_0 \cdot V_1}{3,6} \quad s_0 = s_g + \frac{t_0 \cdot V_1}{3,6}$$

ÖRNEK

Sabit hızda yapılacak bir geçiş için, geçilen ve geçen taşıtla ilgili olarak aşağıdaki değerler bilinmektedir:

$$V_1 = 50 \text{ km/h} \quad L_1 = 10 \text{ m} \quad V_2 = 66 \text{ km/h} \quad L_2 = 5 \text{ m}$$

Geçiş süresini ve mesafesini hesaplayınız.

ÇÖZÜM

$$s_1 = 0,3 \cdot 50 = 15 \text{ m}$$

$$s_2 = 0,3 \cdot 66 = 19,8 = 20 \text{ m}$$

$$s_g = 15 + 20 + 10 + 5 = 50 \text{ m}$$

$$t_0 = \frac{3,6 \cdot s_g}{V_2 - V_1} = \frac{3,6 \cdot 50}{66 - 50} = 11,25 \text{ s} \quad s_b = \frac{t_0 \cdot V_1}{3,6} = \frac{11,25 \cdot 50}{3,6} = 156,25 \text{ m}$$

$$s_0 = s_g + s_b = 50 + 156,25 = 206,25 \text{ m}$$

veya

$$s_0 = \frac{t_0 \cdot V_2}{3,6} = \frac{11,25 \cdot 66}{3,6} = 206,25 \text{ m}$$

ÖRNEK

Sabit ivmeli bir geçiş için, geçilen ve geçen taşıtla ilgili olarak aşağıdaki değerler bilinmektedir:

$$V_1 = V_2 = 50 \text{ km/h} \quad a = 0,4 \text{ m/s}^2 \quad L_1 = 10 \text{ m} \quad L_2 = 5 \text{ m}$$

Geçiş süresini ve geçiş mesafesini hesaplayınız.

ÇÖZÜM

$$s_1 = s_2 = 0,3 V_1 = 0,3 V_2 = 15 \text{ m} \quad s_g = 15 + 15 + 10 + 5 = 45 \text{ m}$$

$$t_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot s_g}{a}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 45}{0,4}} = 15 \text{ s} \quad s_b = \frac{t_0 \cdot V_1}{3,6} = \frac{15 \cdot 50}{3,6} = 208,3 \text{ m}$$

$$s_0 = s_g + s_b = 45 + 208,3 = 253,3 \text{ m}$$

ÖRNEK

Aşağıda özellikleri verilen bir taşıtın sürücüsü, % 5 eğimli bir yokuşta yukarıya doğru 72 km/h hızla ilerlerken, 40 m ileride bir engel göreyerek durmak istiyor ve maksimum ivmeyle fren yapıyor.

$$\mu_{bmax} = 0,6, \quad t_r = 0,5 \text{ s}, \quad t_a = 0,3 \text{ s}, \quad t_{pb} = 0,2 \text{ s}$$

olduğuna göre;

a) taşıtın bu engeli çarpıp çarpmayacağını,

b) çarparsa kaç saniye sonra ve hangi hızla çarpacağını hesaplayınız.

ÇÖZÜM

$$a_{max} = g(\mu_{bmax} \cos \alpha + \sin \alpha)$$

$$a_{max} = 9,81(0,6 \cdot 0,999 + 0,05) = 6,37 \text{ m/s}^2$$

$$t_L = 0,5 + 0,3 + 0,2/2 = 0,9 \text{ s}$$

$$s = v_1 t_L + \frac{v^2}{2a} = 20 \cdot 0,9 + \frac{20^2}{2 \times 6,37} = 49,38 \text{ m} \quad \text{çarpır.}$$

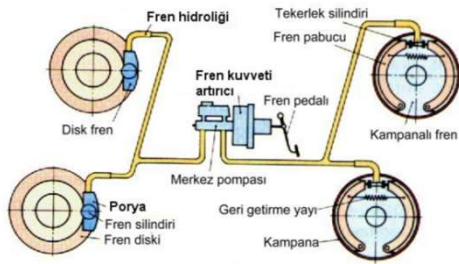
$$t_L \text{ 'de alınan yol: } 20 \times 0,9 = 18 \text{ m}$$

$$\text{Etkili frenleme sırasında alınan yol: } 40 - 18 = 22 \text{ m}$$

$$v_2 = \sqrt{v_1^2 - 2as} = \sqrt{20^2 - 2 \times 6,37 \times 22} = 10,94 \text{ m/s} \quad \text{çarpma hızı}$$

$$t = t_L + \frac{v_1 - v_2}{a} = 0,9 + \frac{20 - 10,94}{6,37} = 2,32 \text{ s} \quad \text{sonra çarpır.}$$

Fren sistemi

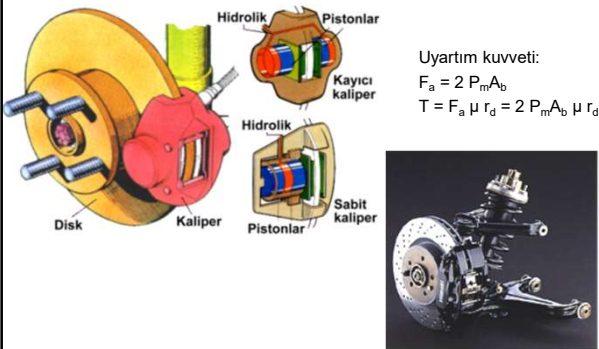


Frenler

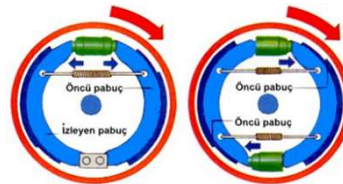
Disk frenlerin avantajları:

- ✓ Isıdan kurtulmaları kolaydır.
 - ✓ Her iki dönüş yönünde de aynı frenleme torku sağlarlar.
 - ✓ Yüzeylerindeki yabancı maddelerden kolay kurtulurlar.
 - ✓ Disk pabucu üzerindeki basınç dağılımı, kampanalının pabucuna oranla daha düzgün olduğundan, daha kararlıdır.
 - ✓ Yüksek hızlardaki frenlemede, ani kavrama eğilimleri daha düşüktür.
- Park freni için uygun olmadıklarından, daha ziyade ön tekerleklerle uygulanmaktadır.

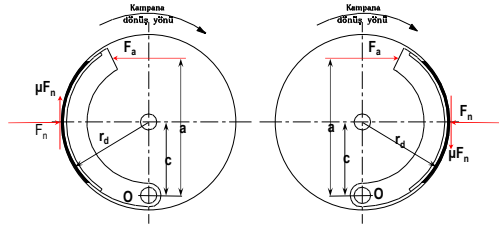
Disk frenler



Uzun pabuçlu kampanalı frenler



Uzun pabuçlu kampanalı frenler...

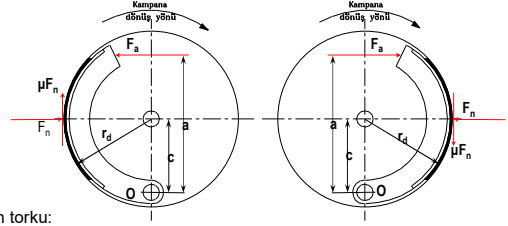


Soldaki pabuç için;

$$\sum M_o = 0 \text{ dan; } F_a \cdot a = F_n \cdot c + \mu \cdot F_n \cdot r_d$$

$$F_n = \frac{F_a \cdot a}{c + \mu \cdot r_d} \quad \text{sağdaki itilen pabuç için} \quad F_n = \frac{F_a \cdot a}{c - \mu \cdot r_d}$$

Uzun pabuçlu kampanalı frenler...



Fren torku:

$$T_b = \mu F_n r_d$$

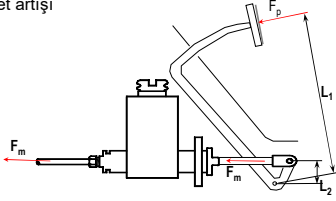
Soldaki (kampana tarafından çekilen) ve sağdaki (kampana tarafından itilen) pabuç için frenleme torkları:

$$T_{bt} = \frac{\mu \cdot F_a \cdot a \cdot r_d}{c + \mu \cdot r_d} \quad T_{bt} = \frac{\mu \cdot F_a \cdot a \cdot r_d}{c - \mu \cdot r_d}$$

Pedal kuvveti - uyarım kuvveti ilişkisi

Fren pedalında kuvvet artışı

$$F_p L_1 = F_m L_2$$



$$\frac{F_m}{F_p} = \frac{L_1}{L_2} = r_f \quad \text{"pedal oranı"}$$

$$F_m = F_p r_f$$

$$P_m = \frac{F_m}{A_m} = \frac{4 F_m}{\pi D_m^2}$$

$$F_a = P_m A_b = P_m \frac{\pi D_b^2}{4}$$

ÖRNEK

10 kN ağırlığındaki bir taşıtta şu değerler verilmiştir:

Pedal oranı 6:1

Kampana çapı 0,25 m

Pabuç pimi ile tekerlek merkezi arası 0,075 m

$\mu = 0,4$,

Tekerlek silindiri ekseninin pime uzaklığı 0,145 m

Tekerlek yarıçapı 0,3 m

Merkez pompası kesit alanı 5 cm²

Tekerlek silindiri kesit alanı 4 cm²

Pedal kuvvetinin 200 N olması halinde, toplam frenleme kuvveti kaç N olur?

ÇÖZÜM

$$F_m = F_p r_f = 6 \cdot 200 = 1200 \text{ N}$$

$$P_m = \frac{F_m}{A_m} = \frac{1200}{0,0005} = 2400000 \text{ Pa} = 2400 \text{ kPa}$$

Uyarım kuvveti

$$F_a = P_m A_b = 2400 \cdot 0,0004 = 0,96 \text{ kN} = 960 \text{ N}$$

Frenleme torku

$$T_{bt} = \frac{\mu \cdot F_a \cdot a \cdot r_d}{c + \mu \cdot r_d} = \frac{0,4 \cdot 960 \cdot 0,145 \cdot 0,125}{0,075 + 0,4 \cdot 0,125} = 55,68 \text{ Nm}$$

Benzer şekilde, $T_{bt} = 278,4 \text{ Nm}$ $T_o = 334,08 \text{ Nm}$

$$F_b = \frac{334,08}{0,3} = 1133,6 \text{ N}$$

Dört tekerlek de aynı frenleme etkinliğinde ise;

$$F_o = 1133,6 \cdot 4 = 4454,4 \text{ N}$$

