

# MOTORLU TAŞITLAR

## MEKANIĞI

### DERS NOTLARI

## **İÇİNDEKİLER**

- 1.0 [Kullanılacak TSE Standartlı Semboller ve Anlamları](#)
- 2.0 [Taştları Çalıştığı Ortama Göre Sınıflandırılması](#)
  - 2.1 [Kara Yolları Ulaşım Araçları](#) (Demir Yolu Hariç)
- 3.0 [Tekerlerin Mekanığı](#)
- 4.0 [Transmisyon Verimleri ve Yol Direncini Yenme Güçleri](#)
- 5.0 [Yuvarlanma Direnci \( \$R\_{ro}\$ \)](#)
- 6.0 [Hava Direnci \( \$R\_l\$ \)](#)
- 7.0 [Rüzgar Direnci \( \$R\_w\$ \)](#)
- 8.0 [Yokuş Direnci \( \$R\_e\$ \)](#)
- 9.0 [İvme Direnci \( \$R\_a\$ \)](#)
- 10.0 [Lastığın Yola Tutunma Kuvveti ve Kayma](#)
- 11.0 [Kayma](#)
- 12.0 [Düz Yoldaki Statik Aks Yükü Dağılımı](#)
- 13.0 [Eğik Yoldaki Aks Yükü Dağılımı](#)
- 14.0 [Maksimum Tahrik Kuvveti](#)
- 15.0 [Maksimum Frenleme Kuvveti](#)
- 16.0 [Viraj Tutumu](#)
  - 16.1 [Aks reaksiyonları](#)
  - 16.2 [İçe Kayma](#)
  - 16.3 [Dışa Kayma](#)
  - 16.4 [İçe devrilmemek için gerekli minimum hız](#)
  - 16.5 [Dışa devrilmemek için gerekli maksimum hız](#)
- 17.0 [Devrilme Yalpa Ekseni](#)
  - 17.1 [Ön süspansiyon sistemi](#)
  - 17.2 [Arka süspansiyon sistemi](#)
  - 17.3 [Sistem Elemanlarının Ağırlık Merkezlerinin Bulunması](#)
    - 17.31 [Amortisörün Ana Noktalarının Koordinatının Bulunması](#)
    - 17.32 [Salıncak Kollarının Ağırlık Merkezinin Bulunması](#)
- 18.0 [Teker Yuvarlanma Yarıçapının Bulunması](#)
- 19.0 [Frenleme Torkunun Hesaplanması](#)
- 20.0 [Taşıt Davranış Karakteristikleri](#)

## **1.0 KULLANILACAK TSE STANDARTLI SEMBOLLER VE ANLAMLARI**

A	: Aracın ön izdüşüm alanı-----( $m^2$ )	$\rho$	: Yoğunluk-----( $kg/m^3$ )
As	: Taşitin yanal izdüşüm alanı-----( $m^2$ )	n	: Motor hızı-----( $d/dk$ )
a	: İvme-----( $m/s^2$ )	P	: Güç-----( $kW$ )
Cw	: Hava direnç katsayısı-----	R	: Direnç kuvvetleri-----( $N$ )
e	: Eğim. ( $100 * \tan \infty$ )-----(%)	r	: Tekerlek yarı çapı-----( $m$ )
F	: Tekerlek tahrif kuvveti-----( $N$ )	s	: Kat edilen yol-----( $m$ )
$f_{RO}$	: Yuvarlanma direnci katsayısı-----	t	: Zaman-----( $sn$ )
G	: Ağırlık. ( $m * g$ )-----( $N$ )	i	: Toplam transmisyon oranı-----
g	: Yer çekimi ivmesi-----~9,81m/ $s^2$ )	v	: Taşıt hızı-----( $m/sn$ )
km	: Dönel alet katsayısı-----	V	: Taşıt hızı-----( $km/h$ )
Me	: Efektif motor torku-----( $Nm$ )	W	: İş-----( $J$ ), ( $kJ$ )
m	: Taşıt kütlesi-----( $kg$ )	$\alpha$	: Eğim açısı-----( $^\circ$ )
$\eta_{tr}$	: Aktarma organlarının verimi-----(%)	$\mu$	: Statik sürtünme katsayısı-----

## **2.0 TAŞITLARI CALIŞTIĞI ORTAMA GÖRE SINIFLANDIRILMASI**

**I. Kara ulaşırma araçları:** a) Demir yolu, b) Kara yolu ve arazi

**II. Deniz**

**III. Hava**

### **2.1 KARA YOLLARI ULAŞIM ARAÇLARI** (demir yolu hariç)

#### **1. Tahrik biçimine göre**

- Kendinden tahrifli - Motorlu taşıt (önden, arkadan, ön ve arkadan tahrifli)
- Kendinden tahrifli olmayan – Motorsuz taşıt

#### **2. Taşıma türüne göre:** a) Yolcu taşıtı, b) Yük taşıtı

#### **3. Kullanma amacına göre:**

- Özel (Ticari veya gayri ticari)
- Resmi
- Askeri

#### **4. Kullanıldığı zemine göre:**

- Kara yolu
- Kara yolu dışı (Tarım araçları, İş araçları, Özel amaçlı araçlar)

#### **5. Taşıma kapasitelerine göre:** a) Hafif yük, b) Orta yük ve c) Ağır yük araçları

#### **6. Tekerleklerine göre araçlar:** a) İki tekerlekli, b) Üç tekerlekli, c) Dört tekerlekli

## **3.0 TEKERLERİN MEKANIĞI**

Tekerlek yarı çapları azda olsa şu durumda değişir;

- Statik tekerlek yarı çapı merkez ile zemin arasındadır
- Dinamik tekerlek yarı çapı merkez ile zemin arasındadır
- Yuvarlanma yarı çapı tekerleğin açısal ve doğrusal hızı ile aynı hızda hareket eden ve şekli değişimyen çemberin yarı çapıdır. Frenleme anında dinamik yarıçaptan büyük, ilk hareket anında kaymadan dolayı dinamik yarıçaptan küçük olabilir.

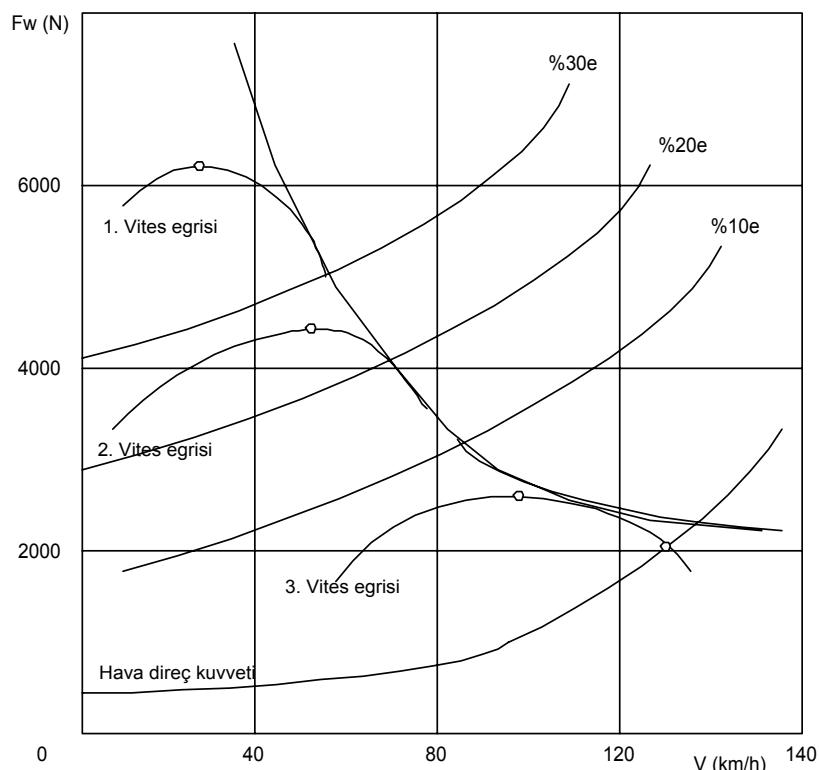
Tekerlek momenti sabit tutulduğunda, yarıçap küçüldükçe tekerlek tahrif kuvveti artar. Fakat çok küçük yarıçaplı tekerlekte de bazı mahsurlar doğar.  $M_W = F_W * r$

$M_w = M_e - M_{tr}$  (Tekerlek Momenti = Motor Momenti – Transmisyon Momenti)

$M_w = M_e * i * \eta_{tr}$  (Tek. Momenti = Motor Momenti \* Toplam trans. orani \* Trans. verimi)

Burada  $i > 1$  ve  $\eta_{tr} < 1$ 'dir. Tekerlek gücünün Motor gücüne oranı bize transmisyondan verir

ve bu oran 1 den küçüktür.  $\eta_{tr} = \frac{P_w}{P_e} < 1$  Öyleyse:  $P_w < P_e$ 'dir.



Sekil 1. Taşıt hızına göre tekerlek tahrif kuvvetinin vitesler ile değişimi

Tekerlek torku artarken motor devri azalıyor. Güç sabittir, tork artmaktadır. Burada 1. vites torku  $>$  2. vites torkudur. Motorun max devirde sabit çalıştığını düşünürsek ve vitesi 1'e takarsak 1. vites dişlileri yardım ile hız azaltılır tork arttırılır. 2. vitese takarsak torku biraz azaltmış ve hızı biraz arttırmış oluruz. 3. vitese takarsak torku daha da azaltmış ve hızı da daha fazla arttırmış oluruz. Son viteste ise hız maksimuma çıkarken moment artışı minimuma indirilmiş olur. Motorun gücü sabittir fakat hız ve moment değişkendir.

$P_w = F_w * v$  Tekerlek gücü = Tekerlek tahrik kuvveti\* Taşının hızıdır. Burada tekerlek gücü sabit ise hız arttıkça Tekerlek Tahrik Kuvveti ( $F_w$ ) azalır.  $P_w = \frac{F_w * v}{3,6} (W)$

Grafikte maksimum taşıt hızı üç vitesli bir araçta üçüncü vites eğrisi ile hava direnç kuvveti eğrilerinin kesistikleri yerdedir. Çünkü taşıt son viteste bu hızla giderken hava direnç kuvvetlerini yenebiliyor. Fakat daha hızlı giderse hava direnç hızını yenemez ve yavaşlamaya başlar. Eğrileri incelersek; 3.viteste % 10 eğimli bir yokuşu tırmanamayız çünkü eğriler kesişmiyor. Yani 3. viteste taşıtin gücünün verdiği moment % 10 luk bir eğimi çıkartmaya kافي değildir. Ancak 2. vitesle % 10 eğimli bir yokuşu kolayca çıkabilir çünkü motorun verdiği sabit gücün torkunu artırdık. 1.vitesle ise 2. vitesle çıkamayacağımız % 30 eğimli rampayı kolayca çıkabiliriz.

Birim Çevirme Metodu:  $1 \frac{km}{h} * \frac{h}{3600s} * \frac{1000m}{km}$  dikkat edilirse pay ve payda birbirine eşittir.

## 4.0 TRANSMİSYON VERİMLERİ VE YOL DİRENCİNİ YENME GÜCLERİ

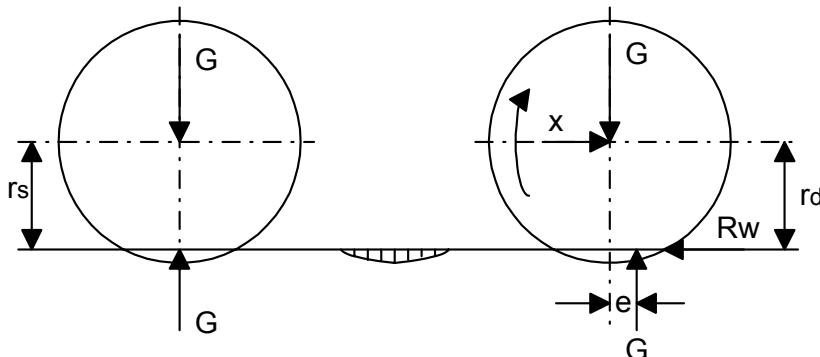
TAŞIT CİNSİ	$\eta_{tr}$ İLERİ	$\eta_{tr}$ GERİ
YARIŞ OTOLARI	0,90-0,95	0,80-0,85
BİNEK OTOLARI	0,90-0,92	0,80-0,82
KAMYON OTOBÜS	0,82-0,85	0,75-0,78
ARAZİ TAŞITLARI	0,82-0,85	0,73-0,76

## 5.0 YUVARLANMA DİRENCİ ( $R_{RO}$ )

Tekerlek ve yol etkileşiminde 4 değişik tip vardır, bunlar:

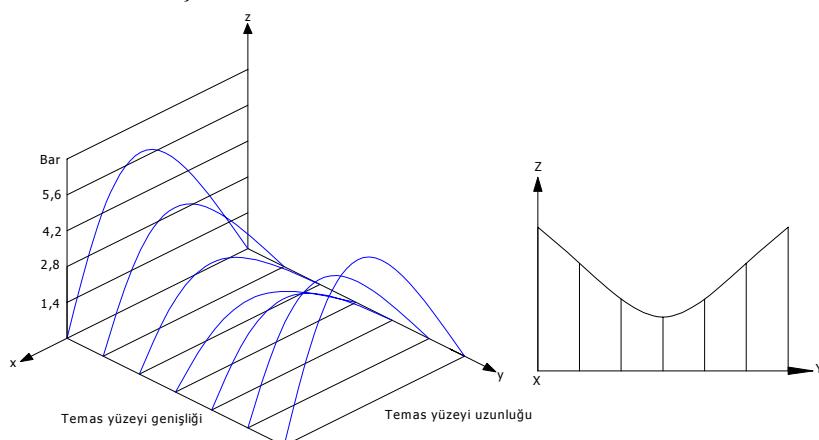
- 1. Sert zemin sert lastik (rijit)
- 2. Yumuşak tekerlek rijit zemin
- 2. Rijit tekerlek yumuşak zemin
- 4. Şekil değiştirebilen zemin ve tekerler

**Tekerlek yumuşak zemin sert:** Taşının teker başına düşen ağırlığı, Teker-Yol yüzeyine etki eder.



Şekil 2. Tekerin statik ve dinamik dönme yarıçapı

Tekerlek kuvvet taşıma hatları kenarlarda daha fazla ortada ise daha azdır.



Şekil 3. Tekerin yola temas yüzeyindeki basınç dağılımı

Burada  $\Sigma m_o=0$ 'dan  $G * e = R_w * r_d$  bulunur. Bu denklikten yuvarlanma direncini çekersek:

$$R_w = \frac{G * e}{r_d} = G * \frac{e}{r_d}$$

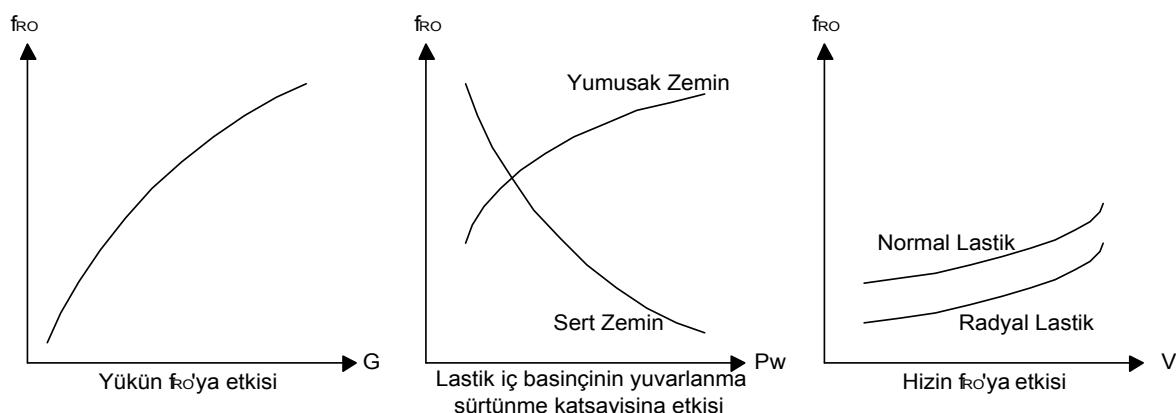
bulunur ki buradaki  $\frac{e}{r_d}$  ifadesine yuvarlanma direnci katsayısı diyoruz

ve  $f_{RO}$  ile gösteriyoruz. Yani:  $\frac{e}{r_d} = f_{RO}$  dan sonuç:

$R_w = G * f_{R0}$  veya diğer bir deyişle  $R_{RO} = R_w = G * f_{RO}$  olur. Problemlerde  $f_{R0}$  değeri verilmemiş ise 0,02 olarak kullanılması sonucu pek fazla değiştirmez.

Yolun cinsine göre  $f_{RO}$  şöyle değişmektedir.

Yolun cinsi	$F_{R0}$
Düzgün asfalt, beton	0,015
Küçük taş döşenmiş zemin	0,015
Şose yol	0,02
Çamurlu yolda	0,05
Gevşek toprak, kumda	0,1-0,35



Şekil 4. Yuvarlanma direnç katsayısının etkileri

Lastik basıncı yüksekse ortadan aşınır. Lastik basıncı düşükse kenarlardan aşınır. 1,8 bar basınçtaki lastiklerde asfalt yollarda kullanılabilecek bir eşitlikte şudur:

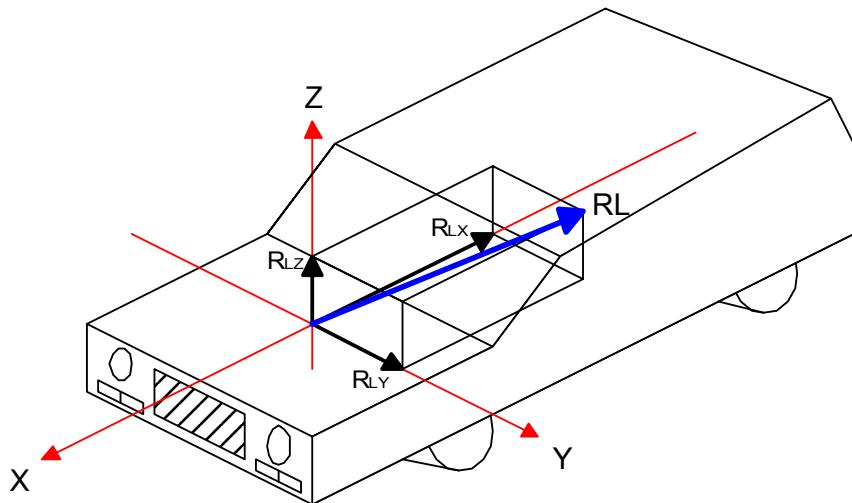
$$f_{RO} = 0.01 * \left( 1 + \frac{V}{160} \right)$$

## 6.0 HAVA DİRENCİ ( $R_L$ )

Herhangi bir yüzeyin basınç merkezine dik gelen statik ve dinamik basınç kuvvetlerinin toplamı sabittir.  $P_s + P_d = \text{Sabit}$ .  $P_d = \rho * \frac{V^2}{2}$  Hız arttıkça lift basınç kuvveti artar ve direksiyon hakimiyeti azalır. Taşın hızı artırılınca hava direncide artacağından yakıt sarfiyatı da artar. Normal şartlar altında en ekonomik olacak şekilde dizayn edildikleri hızlar 80 ila 110 km/h arasıdır.

### Çeşitli Taşıtlar İçin $C_w$ Değeri

TAŞIT	$C_w$
Açık Spor	0,5 – 0,7
Pikap	0,5 – 0,6
Binek Otosu	0,4 – 0,55
Binek Otosu; Farlar, Arka Tekerlekler (Yedek Lastik Gövde İçinde İse)	0,3 – 0,4
En Avantajlı Aerodinamik Biçim	0,15 – 0,2
Otobüs	0,6 – 0,7
Kamyон	0,8 – 1,3
Motosiklet	1,8



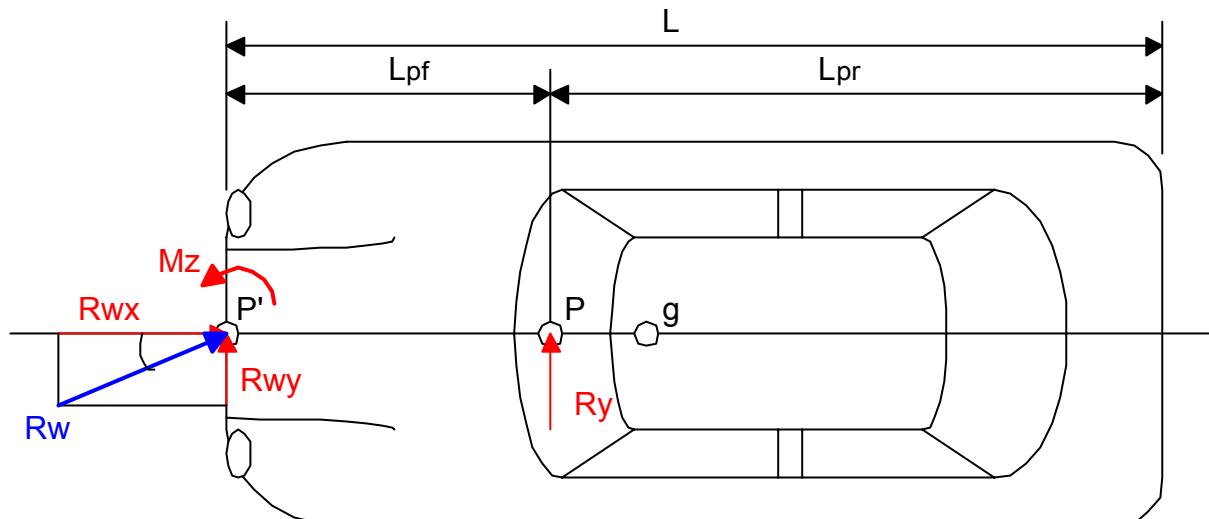
Şekil 5. Rüzgar direnci bileşenleri ve bileşkesi

**Ön hava kuvveti** (x doğrultusundaki):  $R_{LX} = 0,5 * \rho * C_w * A * (V_0 + v)^2$

- $C_w$  : X doğrultusundaki hava direnci katsayısıdır ve taşıttan taşıta değişir.
- $v_0$  : Rüzgar hızı (m/s) Rüzgar ters yönde eserse işaretini değiştirilir.
- $v$  : Taşıt hızı (m/s)
- $\rho$  : Hava yoğunluğu ~ 1,293 (kg/m<sup>3</sup>) olarak alınır havaya göre değişir.
- $A$  : Taşının ön iz düşüm alanı ~ 0,9\*b\*h (b: genişlik, h: yükseklik)

Taşının hızını km/h olarak kullanırsak formülümüz:  $R_{LX} = 0,0386 * \rho * C_w * A * (V_0 + V)^2$  olur.

## 7.0 RÜZGAR DİRENCİ ( $R_w$ )



Şekil 6. Rüzgar direncinin etkileri

Şekil 6'da,  $R_{wy}$  kuvveti, P' noktasında  $M_z$  tepki momentini meydana getirir. Çünkü basınç merkezine (P) etki etmiyor. Rüzgar esince aracın önü sağa doğru çekilir. Çünkü yuvarlanma direnci, rüzgarın etkisi ve bu rüzgarın araç önünde meydana getirdiği moment aracın sağa çekmesine sebep olur.

- $R_w$  : x ve y eksenlerindeki rüzgar direnç kuvvetlerinin bileşkesidir.
- $C_s$  : katsayı

$v_r$  : rüzgar hızı

$A_s$  : taşıtin boyuna doğru izdüşüm alanı

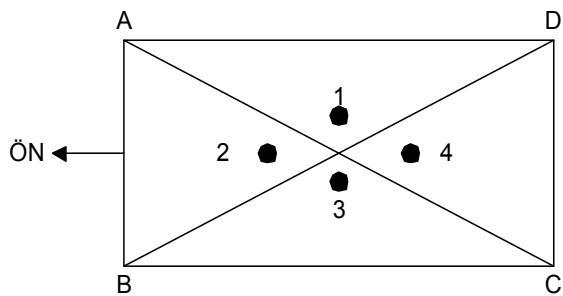
$M_z = R_{wy} * L_{pf}$  Y eksenindeki rüzgar direnç kuvveti:

$$R_{wy} = C_s * \rho * \frac{v_r}{2} * A_s \text{ burada } C_s = 0.016 * \tau \text{ 'dır.}$$

Rwy değerini Mz'de yerine yazarsak:

$$M_z = C_{mz} * \rho * \frac{v_r}{2} * A_s * L_{pf} \text{ burada } C_{mz} = 0,004 * \tau$$

Her taşıtin ağırlık merkezi değişkendir. Yük'e göre ve yükün yerine göre değişir.

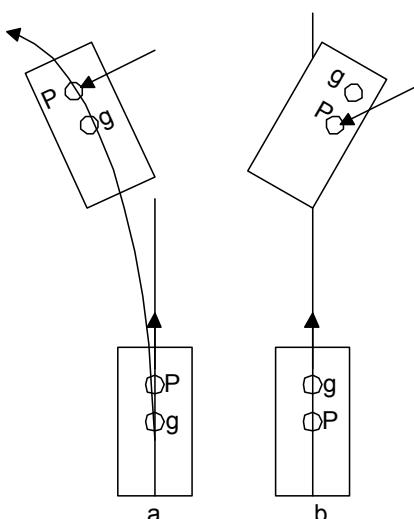


Eğer ağırlık merkezi 1 noktasında ise B ile C tekerleği patladığında,

Eğer ağırlık merkezi 2 noktasında ise D ile C tekerleği patladığında,

Eğer ağırlık merkezi 3 noktasında ise A ile D tekerleği patladığında,

Eğer ağırlık merkezi 4 noktasında ise A ile B tekerleği patladığında tekerlekler aşağı çökmez. Ancak ağırlık merkezi yükle göre sürekli yer değiştirir.



Yandaki şekillerde taşıtin ağırlık merkezinin yeri ile rüzgar basınç merkezinin yerlerinin dizaynları gösterilmektedir. Burada:

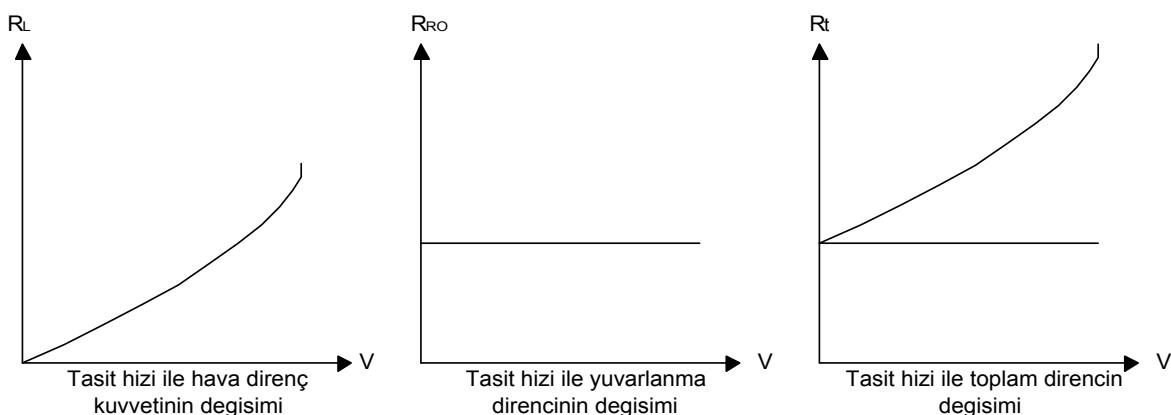
P : Basınç merkezinin yeri,

g : Ağırlık merkezinin yeri göstermektedir.

Şekil b'deki dizayn, aracın rüzgarla savrulmasını engellemeye Şekil a'ya göre daha idealdir. Mümkün olsa da her iki merkez üst üste bindirilebilse daha da iyi olur.

Hava direnç kuvveti hızın karesi ile artıyor.

Şekil 7. Basınç merkezinin yeri



Şekil 8. Rüzgar direncinin etkileri

**Örnek problem 1:** Aşağıda özellikleri belirtilmiş olan taşıtin düz yolda hava direnç kuvvetinin yuvarlanma direncinin iki katı olduğu zamandaki hızını, teker gücünü ve motor gücünü bulunuz? ( $\eta_{tr}=0,82$ )

$$G = 1200 \text{ kg} = 12000 \text{ N} \quad R_{RO} = f_{RO} * G$$

$$A = 2,75 \text{ m}^2 \quad R_{RO} = 0,02 * 12000$$

$$F_{RO} = 0,02 \quad R_{RO} = 240 \text{ N} \text{ yuvarlanma direncinin iki katı olduğu anı bulalım.}$$

$$\rho_{HAVA} = 1,25 \text{ kg/m}^3 \quad R_L = 2 * 240 = 480 \text{ N}$$

$$C_W = 0,5$$

Toplam direnç minimum tekerlekteki tahrik kuvvetine eşit olmalıdır. Dolayısı ile;

$$R_T = R_{RO} + R_L \Rightarrow R_T = 480 + 240 = 720 \text{ N} \quad F_w = R_T = 720 \text{ N} \text{ olur.}$$

Hava direnç kuvvetinin formülünden yola çıkarsak taşıtin hızını bulabiliriz:

$$R_L = 0,5 * \rho * C_W * A * (V)^2 \quad \text{Buradan hızı çekelim: } V^2 = \frac{480}{0,5 * 1,25 * 0,5 * 2,75} \quad \text{Sonuç olarak:}$$

$V = 23,63 \text{ m/s}$  veya  $V = 85,07 \text{ km/h}$  bulunur.

$$P_w = \frac{F_w * V}{3600} \quad \text{formülünden yola çıkıp teker gücünü } P_w = 720 * 23,63 = 17013,6 \text{ W veya}$$

$P_w = 17,01 \text{ kW}$  olarak bulabiliriz.

$$\eta_{tr} = \frac{P_w}{Pe} \quad \text{formülünden yola çıkararak da } Pe = \frac{17,01}{0,82} = 20,7 \text{ kW} \quad \text{motor efektif gücünü}$$

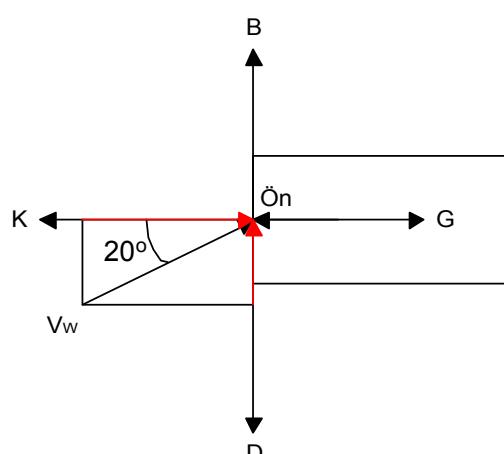
bulabiliriz.

Özgül yakıt tüketimi 350 gr/kWh olduğuna göre bu taşıt 450 km yolu kaç Liralık yakıt tüketir ve kaç saatte alır.

$$be = 350 \frac{\text{gr}}{\text{kWh}} * \frac{1\text{kg}}{1000\text{gr}} \quad B = be * Pe = \frac{350}{1000} \frac{\text{kg}}{\text{kWh}} * 20,7 \text{ kW} = 7,245 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$t = \frac{450}{85,07} = 5,29 \text{ h} \quad TL = 7,245 * 5,29 * 2000000 = 76652100 \quad \text{Günümüz petrol fiyatlarına göre.}$$

**Örnek problem 2:** Kuzeye doğru gitmekte olan bir taşıt  $20^\circ$  lik açıyla kuzeydoğudan 60 km/h'lik hızla esen rüzgara karşı hareket etmektedir. Taşıt hızı 90 km/h olduğuna göre rüzgar direnç kuvvetiyle hava direnç kuvvetinin oranını bulunuz?



$V_{WX}$  : Rüzgarın x ekseni hızı,

$R_w$  : Rüzgarlı havada direnç kuvveti,

$R_L$  : Rüzgarsız havada direnç kuvveti,

$V$  : Taşıt hızı=90km/h

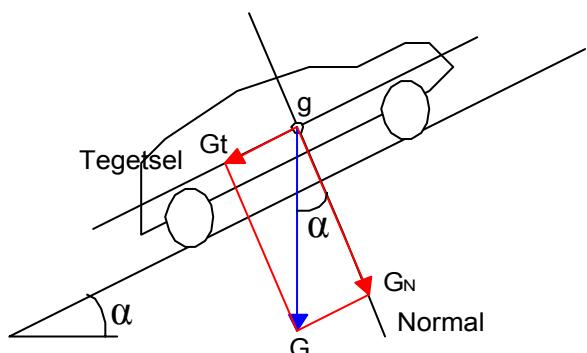
$$V_{WX} = 60 * \cos 20^\circ = 56,38 \text{ km/h}$$

Rüzgarlı ve rüzgarsız hava direnç kuvvetlerini birbirine oranlarsak:

$$\frac{R_w}{R_L} = \frac{0,5 * \rho * C_w * A * (V_0 + V)^2}{0,5 * \rho * C_w * A * V^2} \quad \text{geriye}$$

$\frac{R_w}{R_L} = \frac{(v_0 + v)}{v^2} = \frac{(56,38 + 90)^2}{(90)^2} = 2,64$  bulunur. Bu oran rüzgarlı havadaki dirençler ile rüzgarsız havadaki dirençlerin birbirine oranıdır. Yani bunu şöyle ifade edebiliriz:  $\frac{R_L + R_w}{R_L} = 2,64 = 1 + \frac{R_w}{R_L}$  buradan rüzgar direnç kuvvetiyle hava direnç kuvvetinin oranı  $\frac{R_w}{R_L} = 1,64$  bulunur.

## 8.0 YOKUS DİRENCİ (Re)



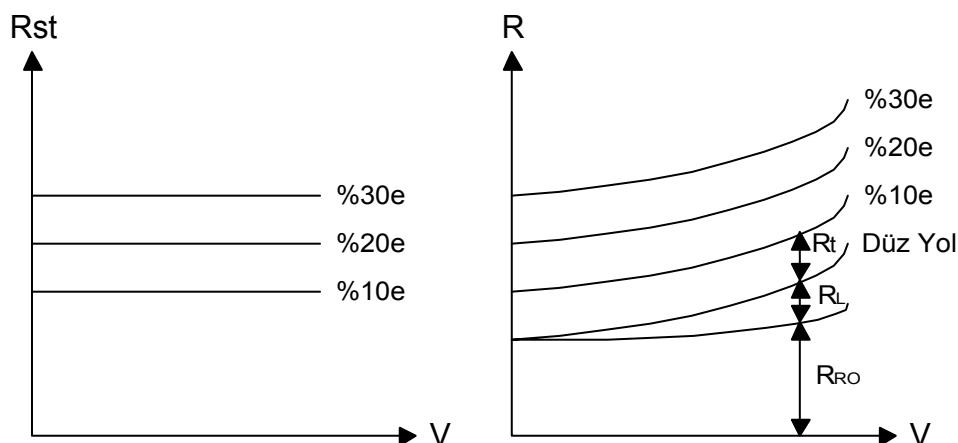
$$Re = (\pm) G * \sin\alpha = (\pm) G * \tan\alpha$$

$$Re = G * (\pm)e \quad Ne = \frac{Re * V}{3600} \text{ kW}$$

İşaret yokuş yukarı + yokuş aşağı – olmalıdır. Çünkü yokuş yukarı giderken Re kadar daha güç gereklidir. Oysa yokuş aşağı inerken gerekmek hatta daha az olmalıdır (Re kadar).

Şekil 9. Yokuş Direnci

Burada,  $G_t = G_{st} = G * \sin\alpha$  ‘dır. Burada  $m * g = G$  ’dir. Dolayısı ile  $G_t = m * g * \sin\alpha$  olur. Bu formüldeki  $\sin\alpha$  eğimi ifade ettiğinden sonuç  $G_t \approx m * g * e$  olur. Çünkü küçük açılı ( $5^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $15^\circ$ ) yollarda  $\sin\alpha$  yaklaşık olarak  $\tan\alpha$  eşittir ve  $\tan\alpha$ ’da yolun eğimine “e” eşittir.



Şekil 10. Eğimli yolun taşıt hızına etkileri

## 9.0 İVME DİRENCİ (Ra)

Hızlanan aracın bir ivmesi vardır [ $F(N) = m(kg) * a(m/s^2)$ ].

Birde dönen cisimlerin ivmeleri vardır. Bu dönen cisimlerin ivmeleri tekerlek dış çapında bir karşı koyma direnci ile karşılaşır. Taşıtın efektif kütlesi, taşıt kütlesinin efektif kütle katsayıları kadar fazlasıdır.  $\mu_{ef} = m * \lambda$  Efektif kütle katsayısı toplam transmisyon oranı ile alakalıdır.

$\lambda \cong 1.04 + 0.0025 * i^2$  İvme direnci ise taşıtin efektif kütlesinin ivmesi ile çarpımıdır.  $R_a = \mu_{ef} * a$  burada  $a = \frac{dv}{dt}$  dir. Düz rüzgarsız bir yolda  $R_t = R_{RO} + R_L$  dir. Burada motorun tekerleklerle verdiği tahrik gücü  $F_t$  ile toplam direnç olan  $R_t$  arasında aşağıdaki durumların olması söz konusudur:

- $F_t > R_t$  ise taşıt hızlanabilir, momenti fazladır.
- $F_t = R_t$  ise sabit hızda gider konumunu korur.
- $F_t < R_t$  ise yavaşlar.
- $F_t - R_t =$  rezerv kuvveti, yokuş çıkarken veya hızlanmak için bu kuvvet kullanılır.

**Örnek Problem 3a:** %10 eğimli bir yolda ve 72 km/h hızda hareket eden bir taşıtla ilgili aşağıdaki değerler bilinmektedir. Bu hızdaki tahrik kuvvetini ve gücünü hesaplayınız?

$$m = 1200 \text{ kg}$$

$$A = 2.5 \text{ m}^2$$

$$C_w = 0.42$$

$$\rho = 1.25 \text{ kg/m}^3$$

Çözüm için önce direnç kuvvetleri hesaplayacağız.  $F_t = R_{RO} + R_L + R_e$

$$\begin{aligned} \text{Burada önce } R_{RO}'yu \text{ bulalım: } R_{RO} &= G * f_{RO} = G * [0.01 * (1+V/160)] \\ &= 1200 * 9.81 * 0.0145 \\ \underline{R_{RO}} &= 170.7 \text{ N (Yuvarlanma direnci)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Şimdi de } R_L'yi \text{ bulalım: } R_L &= 0.0386 * \rho * C_w * A * (V)^2 = 1.25 * 0.42 * 2.5 * (72)^2 \\ \underline{R_L} &= 262.6 \text{ N (Hava direnci)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Şimdi de } R_e'yi \text{ bulalım: } R_e &= R_{st} = m * g * e = 1200 * 9.81 * 0.10 \\ \underline{R_e} &= 1177.2 \text{ N (Yokuş direnci)} \end{aligned}$$

Bulmuş olduğumuz bu değerleri yerine yazarsak toplam tahrik kuvvetini bulabiliriz:  
 $F_t = R_{RO} + R_L + R_e = 170.7 + 262.6 + 1177.2 = 1610.5 \text{ N}$

Tekerlek tahrik gücünü bulmak için  $P_t = F_t * V$  formülünde verileri yerlerine birimlerine uygun şekilde yazarsak bulabiliriz:  $P_t = 1620.5 \text{ (N)} * 72 \text{ (km/h)} *$

$$P_t = 1620.5(N) * 72 \left( \frac{\text{km}}{\text{h}} * \frac{1000\text{m}}{1\text{km}} * \frac{1\text{h}}{3600\text{s}} \right) = 32.21 \text{ kW}$$

**Örnek Problem 3b:** Tekerlek yarıçapı 0.4 m, bu hızdaki transmisyon oranı 5/1 ve aktarma organları verimi 0.90 olduğuna göre, bu durumda motor devrinin ve gücünü bulunuz?

Transmisyon verimi tekerlek gücünün motor gücüne oranıdır.  $\eta_{tr} = \frac{P_t}{Pe}$  buradan

$$Pe = \frac{P_t}{\eta_{tr}} = \frac{32.21}{0.90} = 35.79 \text{ kW bulunur.}$$

Bu hızdaki teker devri ise:  $V = \frac{2 * \pi * r_w * n_w}{60}$  formülünden teker devri çekilirse bulunabilir.

$$n_w = \frac{20(\frac{m}{s}) * 60(s)}{2 * \pi * 0.4(m)} = 477.5 \frac{d}{dk} \quad \text{Bizden istenen ise motor devridir. Dolayısı ile motor devri}$$

transmisyon oranı kadar daha fazladır.  $n_e = n_w * i$ 'den  $n_e = 477.5 * 5 = 2387.5 \text{ d/dk.}$

**Örnek Problem 3c:** Aynı koşullardaki taşıtin yokuş aşağı aynı hızda inmesi durumunda motor gücü ne olur?

Burada yokuş aşağı inme söz konusu olduğundan yokuş direnci faydalı bir direnç konumuna geçer. Dolayısı ile toplam tahrik kuvvetimizin azalması gereklidir.  $+Re$  kullanmamız durumunda daha fazla teker tahrîgi gerekecekti ki bu durum ancak yokuş yukarı çıkarken olur.

$F_t = R_{RO} + R_L - Re$  olur. Yani:  $F_t = 170.7 + 262.6 - 1177.2 = -743.9 \text{ N}$  bulunur.

**Örnek Problem 4:** 1000 kg ağırlığındaki bir taşıtin 80 km/h hızla giderken  $0.7 \text{ m/s}^2$  ivmeye hızlanabilmesi için gerekli tahrîk kuvvetini ve bu durumda toplam tahrîk gücünü hesaplayınız? Taşitin bu durumda toplam transmisiyon oranı  $5/1$ 'dir. Taşitin boyutları  $b = 1.5 \text{ m}$  ve  $h = 1.6 \text{ havanın özelliklerini ise } C_w = 0.5, \rho = 1.26 \text{ kg/m}^3$ .

$$F_t = R_{RO} + R_L + Ra$$

$R_L = 0.0386 * \rho * C_w * A * (V^2)$  Burada taşıtin hava vuruş kesit alanı verilen ölçülerin 0.9 katıdır, köseler ve aynalarдан dolayı. Sonuçta  $R_L = 0.0386 * 1.26 * 0.5 * (0.9 * 1.5 * 1.6) * 80^2 \text{ bulunur. } R_L = 336.17 \text{ N}$

$R_{RO} = G * f_{RO}$  formülünden yola çıkarsak  $f_{RO} = 0.01 * (1 + 80/160) = 0.015$  bulunur. Sonuçta  $R_{RO} = 1000 * 9.81 * 0.015 = 147.15 \text{ N}$

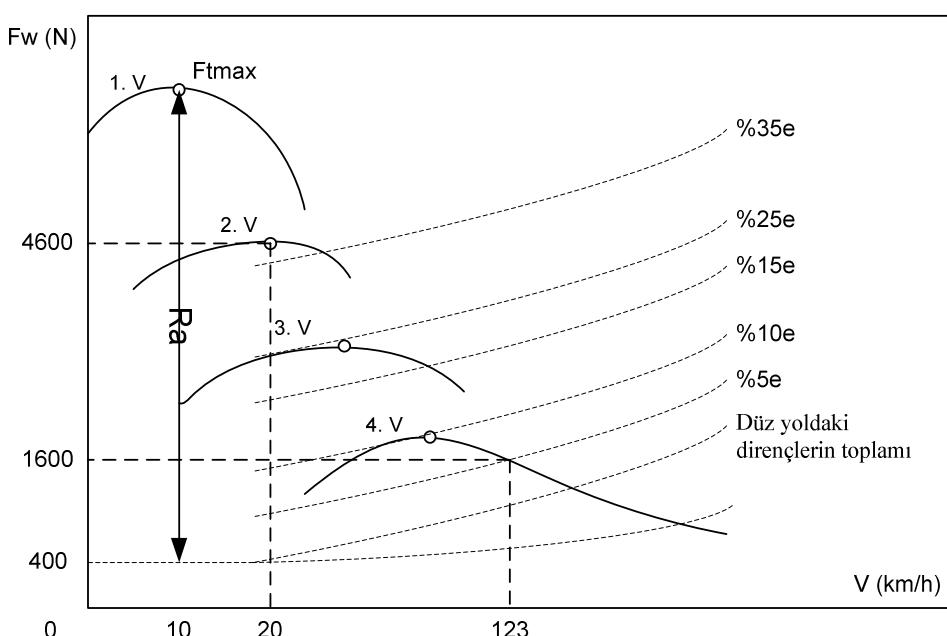
$Ra = m * \lambda * a$  Burada  $\lambda = 1.04 + 0.0025 * i^2$ 'dır.

$Ra = 1000 * (1.04 + 0.0025 * 5^2) * 0.7 = 771.75 \text{ N}$  bulunur. Bulunan bu değerleri baştaki formülde yerlerine yazarsak toplam tahrîk kuvveti:

$$F_t = R_{RO} + R_L + Ra = 147.15 + 336.17 + 771.15 = 1255.07 \text{ N}$$

$$Pt = \frac{F_t * V}{3600} = \frac{1255.07 * 80}{3600} = 27.89 \text{ kW}$$

**Örnek Problem 5a:** Aşağıdaki Şekil 11'deki grafiğe göre yol eğiminin %5 olduğu durumda maksimum taşıt hızını ve gücü bulunuz? Transmisiyon verimi 0.80 ve kütlesi 1222 kg'dır.



Şekil 11. Tekerlek tahrîk kuvvetinin taşıt hızı ile değişimi

Taşitin anlık gücü o hızda tahrîk kuvveti ile hızının çarpımı olduğundan,

$$Pt = F_t(N) * V(\frac{km}{h}) * \frac{1h}{3600s} * \frac{1000m}{1km} * \frac{1}{1000kW} = 54.6 \text{ kW}$$

Taşının transmisyon verimi bilindiğine göre motor gücü:  $P_e = \frac{Pt}{\eta_{trans}} = \frac{54.6}{0.80} = 68.25 kW$  ’dır.

**Örnek Problem 5b:** Yukarıdaki Şekil 11’deki grafiğe göre taşının 2. viteste maksimum çıkabileceği eğim nedir?

$Re = Rst = 4600 - 400 = 4200 N'$ dur. Aynı zamanda  $Re = G * Sin\alpha = m * g * e$ ’den

$e = \frac{4200}{1222 * 9.81} = 0.35$  bulunur.  $Sin\alpha$  formülünden gidilirse  $20.5^\circ$ ,  $Tan\alpha$ ’dan ise  $e = 0.37$

bulturur.

**Örnek Problem 5c:** Yukarıdaki Şekil 11’deki grafiğe göre taşının maksimum ivmesini bulup açıklayınız.

İvme direnci formülünden gidilirse ivmenin maksimum olabilmesi için

$Ra = \mu_{ef} * a \Rightarrow a = \frac{Ra}{\mu_{ef}}$  Ra’nın maksimum olduğu yere bakılır. Ra ise 1. vitesin maksimum

noktası ile  $\langle R_{RO} + R_L \rangle$  eğrisi arasında maksimumdur.

$$\boxed{\begin{aligned} Me &= 110 Nm, ne = 2500 \frac{d}{dk} \\ G &= 13 kN, Cw = 0.45 \\ f_{ro} &= 0,017, r_m = 0,35 m \\ h &= 1,4 m, b = 1,5 m, i = 5 \\ \rho &= 1,22 \frac{kg}{m^3}, \eta_{tr} = 0,86 \end{aligned}}$$

**Örnek Problem 6:** Taşıt yatay yolda 10 km/h rüzgarla aynı yönde gidiyorsa yanda verilenlere göre maksimum hızını bulunuz?

$$F_t = \frac{Me * i * \eta_{tr}}{r_m} = \frac{110 * 5 * 0,86}{0,35} = 1351,4 N$$

$$R_{RO} = 13000 * 0,017 = 221 N$$

$$R_L = 0,0386 * 0,45 * 1,22 * 0,9 * 1,4 * 1,5 * (-Vo + V)^2$$

$$F_t = R_{RO} + R_L \rightarrow 1351,4 = R_{RO} + R_L$$

Burada  $R_{RO}$  bilindiğine göre,  $R_L = 1351,4 - 221 = 1130,4 N$  sonuç olarak şöyle yazılabilir;

$$1351,4 = 221 + 0,0386 * 1,22 * 0,45 * 0,9 * 1,4 * 1,5 * (-Vo + V)^2$$

$$1130,4 = 0,040052 * (-Vo + V)^2$$

$168 = -Vo + V$  bulunur ki burada biz  $Vo$  değerinin 10 km/h olduğunu biliyoruz. Sonuç olarak:  $V = 178$  km/h bulunur.

**Örnek Problem 7:** Taşının 2. vitesteki maksimum ivmelenmesini hesaplayınız, ve 2. vitesteki motor devri 3000 d/dk ve motor gücü 100 Nm, transmisyon oranı 5, vites kutusu dilsiz oranı 1.8, transmisyon verimi 0.88, teker yarıçapı 0.35 m ve  $G=10000 N$ ’dur. Tekerlek tahrik kuvvetini bulunuz?

$$FT = \frac{Me * i * \eta_{tr}}{rw} = \frac{100 * 1,8 * 5 * 0,88}{0,35} = 2262,8 N$$

$$R_{RO} = 10000 * f_{ro} = 10000 * 0,01 \left( 1 + \frac{V}{160} \right) \quad \text{Motor devri } 1,8 * 5 \text{ kat azalarak tekerlere}$$

$$\text{iletiliyorsa teker devri: } \frac{3000}{9} = rw = 333,3 \frac{d}{dk} \text{ ’dır.}$$

$$V = \frac{2 * \pi * r_w * n_w}{60} = \frac{2 * \pi * 0,35(m) * 333,3}{60(s)} * \frac{3600s}{1h} * \frac{1km}{1000m} = 44 \frac{km}{h} \text{ bulunur. Bu değer}$$

yukarıdaki yerine yazılırsa yuvarlanma direnci  $R_{RO} = 127,5 N$  bulunur. Hava direnci ise;  $R_L = 0,0386 * \rho * Cw * A * (V)^2$  formülünden;

$$R_L = 0.0386 * 1.22 * 0.45 * 0.9 * 1.4 * 1.5 * 44^2 = 77.5 \text{ N olarak bulunur.}$$

İvme direnci formülünden ise;  $R_a = F_t - (R_{RO} + R_L) = \mu_{ef} * a \rightarrow 2262.8 - (127.5 + 77.5) = \mu_{ef} * a$   
 $2057.8 = \mu_{ef} * a = m * \lambda * a = m * (1.04 + 0.0025 * i^2) * a = 1222 * 1.1025 * a = 1347.3 * a$  bulunur.

Buradan  $a = \frac{Ra}{m_{eff}} = 1.53 \text{ m/s}^2$  bulunur.

## 10.0 LASTİĞİN YOLA TUTUNMA KUVVETİ VE KAYMA

Taşıtın tekerlek tıkanık kuvveti ( $F_t$ ) yola tutunma kuvvetinden ( $F_{t_{max}}$ ) fazla ise yola tutunma kuvvetini dikkate alırız, çünkü fazlası tekere kayma yapar. Mesela  $F_t = 1000 \text{ N}$  olsun ve  $F_{t_{max}} = 800 \text{ N}$  olsun; o zaman 200 N'luk bir kuvvet sürtünmeye harcanarak kayıp olur. Öyleyse 800 N'a göre dizayn yaparsak sürtünme kayması olmaz.

$\mu_{RO_{max}}$  = Yuvarlanma sırasında maksimum tutunma katsayısi ise tekerin yola tutunma kuvveti  $F_{t_{max}} = \mu_{RO_{max}} * G$  ve tekerin tıkanık kuvveti  $F_t = \mu_{RO_{max}} * G$  olur.

Kayma başladıkten sonra tekerin yuvarlanma sırasında maksimum tutunma katsayısi daha da azalır.  $F_{t_{kayma}} = \mu_s * G$  den tekerin kayma anındaki tutunma katsayısi ( $\mu_s$ ) yuvarlanma sırasında maksimum tutunma katsayıısından ( $\mu_{RO_{max}}$ ) küçük olur. Yani,  $\mu_s < \mu_{RO_{max}}$  olur. İvmelenme olabilmesi için  $F_t$ 'nin daima  $F_{t_{max}}$ 'dan az olması gereklidir. Sürtünme kaybı ilk kalkışta olur. Aniden kalkmanın olabilmesi için taşıtin kütlesinin azaltılması gereklidir.

1. Viteste maksimum hızda kalkış yapılmıca tekerlek sürtünmesi olmadan yavaş yavaş kalkabilir mi? (patinaj yapmadan)?

Hayır olamaz çünkü tedrici hareket olmak zorundadır. Muhakkak kavramada yada tekerlekle zemin arasında kayma (sürtünme) olur. Kuru asfalt yolda kabak lastiğin yere tutunma kuvveti daha fazladır.  $\mu_{RO} = 0,2 \sim 1,2$  arasındadır. Tıkanık kuvveti ( $F_t$ ) azaldıkça, yani  $F_{t_{max}}$ 'dan daha az düşükçe kaymadan hareketlenmemiz daha fazla olacaktır. Çünkü kayma olmayacağındır. Dolayısı ile  $\mu_{RO_{max}}$  ve  $\mu_s$  Kuru > Karlı > İslak > Buzlu yollarda hızı bağlı olarak azalır. Kuru havalarda kabak lastiğin  $\mu_{ro_{max}} = 1$ 'dir.

$\mu$  'nın taşıt hızına, lastik durumuna ve yol durumuna göre değişimi

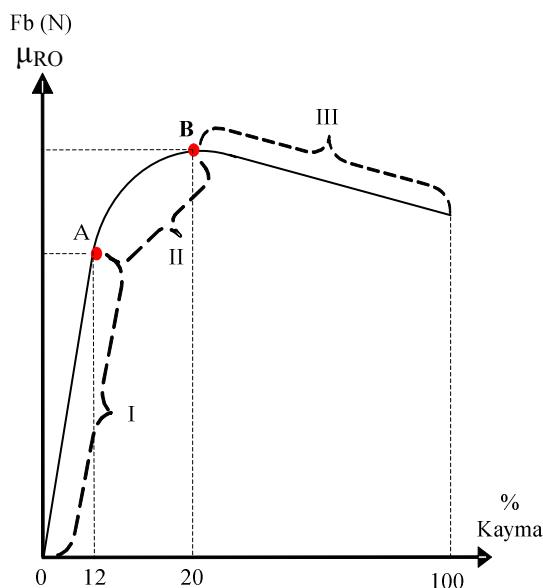
Taşıt Hızı Km/h	Lastığın Durumu	Yol Durumu				
		KURU	Islak Su derinliği 0,2 mm	Aşırı yağmur su derinliği 1 mm	Su derinliği 2mm	BUZLU
50	Yeni	0,85	0,65	0,55	0,5	0,1 ve daha az
	Aşınmış Diş Derinliği en az 1mm	1	0,5	0,4	0,25	-
90	Yeni	0,8	0,6	0,3	0,05	-
	Aşınmış Diş Derinliği en az 1mm	0,95	0,2	0,1	0,05	-
130	Yeni	0,75	0,55	0,2	-	-
	Aşınmış Diş Derinliği en az 1mm	0,90	0,2	0,1	-	-

Geri viteste patinaj ihtiyimali daha fazladır. O yüzden traktör arka tekerlek dişlileri ileri giderken izi v şeklindedir. Geri gelirken izi ise izi ^ şeklindedir ve bu patinajı engeller. Kayma durumunda tekerlek 10 kere döndürünce 100 m gitmesi gerekiyorsa 90 m veya 110m gidebilir. Frenlediğimizde 3 devir atması durumunda 3 m gidiyorsa 3,5 m gider.

## 11.0 KAYMA

Serbest halde dönen tekerleğin dönme açısına  $\Theta_0$  desek (merkezine göre 1 devirde  $360^\circ$  döner.) Tahrik durumundaki tekerleğin dönme açısına da  $\Theta$  dersek, yüzde olarak kayma miktarı (% S) kayma =  $\frac{\theta - \theta_0}{\theta}$  olur ve kayma oluyorsa  $\Theta > \Theta_0$ 'dır, normalde ise  $\Theta_0 = \Theta$ 'dır.

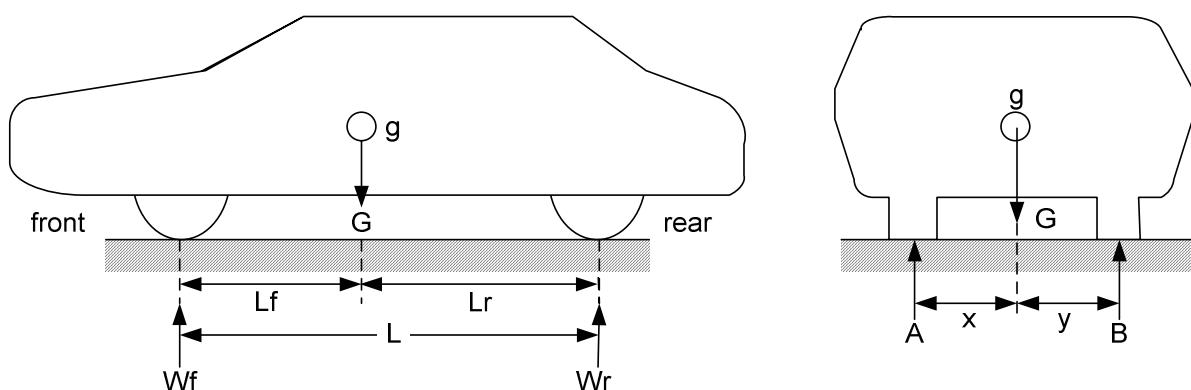
Diger bir ifade ile doğrusal kayma taşıt hızı ile teker hızının, taşıt hızına oranıdır  $S_L = \frac{Vx - \omega_z * R}{Vx}$ , frene basıldıkça önce teker hızı ( $Wz * R$ ) azalır. Düzgün doğrusal harekette ise  $Vx = Wz * R$ 'dır.



Şekil 12. Frenleme kuvveti veya tekerin yola tutunma oranının tekerin kayma oranı ile değişimi

## 12.0 DÜZ YOLDAKİ STATİK AKS YÜKÜ DAĞILIMI

Dış kuvvetler ve kütle kuvvetleri taşıta etki eder. Mesela eğimli yola çıkmak için eğim direnci kütle kuvvetinin etkisini gösterir. Birde hava kuvveti vardır. Taşıt dururken statik kuvvetler etki eder. Taşıt dururken ki her tekerlein ağırlığı ile hareket halindeki ağırlığı eşit değildir, buna da dinamik kuvvetler denir.



Şekil 13. Statik aks yüklerinin dağılımı

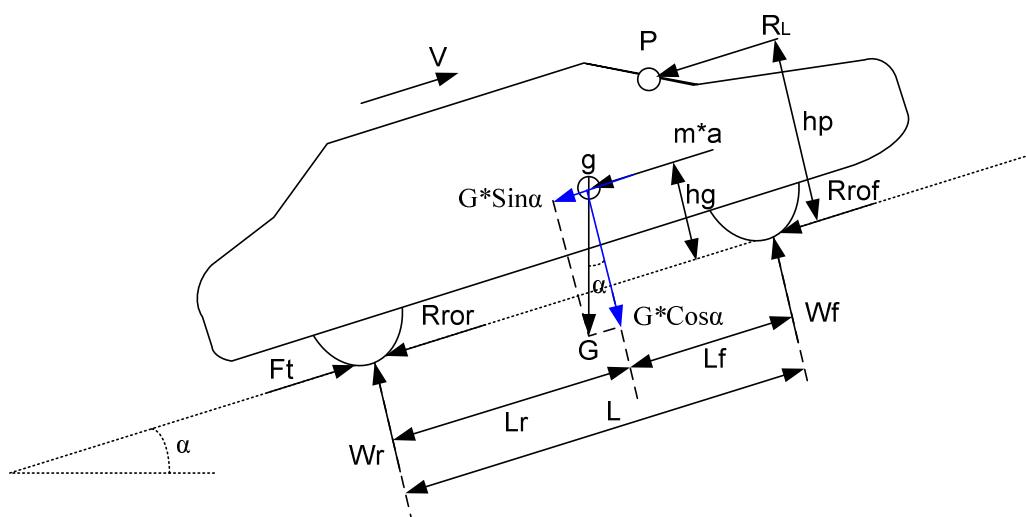
Önden görünüşte A kuvveti, B kuvveti ve G kuvveti belli ise tekerlekler arası mesafe L mesafesidir ve  $L=x+y$ 'dir. İhtiyacımız olan ölçümleri yaptıktan sonra hem yandan hem de önden görünüşe göre ağırlık merkezini bulabiliriz.  $G=Wf+Wr=A+B$

Arka tekerin yere temas noktası olan r noktasına göre moment alırsak:

$\Sigma Mr = 0$  'dan  $G * Lr - Wf * L = 0$  ve buradan ön aksa gelen statik yük  $Wf = G * \frac{Lr}{L}$  ve

$\Sigma M_f = 0$  'dan da arka aksa gelen statik yük  $Wr = G * \frac{Lf}{L}$

## 13.0 EĞİK YOLDAKİ AKS YÜKÜ DAĞILIMI



Şekil 13. Eğik yol şartlarındaki kuvvetler

Şekil 13'e göre  $hp \approx hg$  mesafeleri yaklaşık olarak birbirine eşit alınabilir. Aynı şekilde  $G^* \cos\alpha \approx G$  alınabilir.

*Burada Sekil 13'e göre arka tekerleğin vola temas noktasına göre moment alacak olursak;*

$$\sum Mr = 0 \text{ ise, } G^* \cos\alpha^* L_r - G^* \sin\alpha^* h_g - m^* a^* h_g - R_L^* h_p - W f^* L = 0 \text{ buradan,}$$

$G^*L_r - G^* \sin\alpha * hg - m*a*hg - R_L * hg = Wf^*L$  olur, hg parantezine alırsak,

$$G^*L_r - hg^*(G^*S\sin\alpha + m^*a + R_L) = Wf^*L \text{ olur.} \quad [1]$$

Yola paralel yöndeki kuvvetlerden yola çıkarsak:

$F_t - R_L - R_{rof} - R_{ror} - m \cdot a - G \cdot \sin\alpha = 0$  dir, burada " $R_{rof} + R_{ror} = R_{ro}$ " dur. Dolayısı ile

$F_t - R_{ro} - G^* \sin \alpha - m^* a - R_L = 0$  olur ve burada  $F_t$ - $R_{ro}$  eşitliğinin bir tarafında bırakılırsa:

$F_t - R_{ro} = G^* \sin\alpha + m^* a + R_L$  bulunur ki bu eşitlik,

[1] numaralı formülde yerine yazılırsa ön aks yükünün formülü yine aynı eşitlik,

[2] numaralı formülde yerine yazılırsa arka aks yükünün formülü ortaya çıkar.

$G^*Lr - hg^*(Ft - Rro) = Wf^*L$  sonucu çıkar ki buradan ön aks kuvveti çekilirse

$$Wf = \underbrace{\frac{1}{L} * [G * Lr - hg * (Ft - Rro)]}_{\text{Wfd = Statik yük (Wfs) - Dinamik yük (\Delta W)}}$$

*Simdi de Sekil 13'e göre ön tekerleğin yola temas noktasına göre moment alacak olursak:*

$\Sigma M_f = 0$  ise,  $Wr * L - R_L * hp - m * a * hg - G * \sin \alpha * hg - G * \cos \alpha * Lf = 0$ ,  $hp \approx hg$  ve  $G * \cos \alpha \approx G$  olduğundan  $Wr * L - R_L * hg - m * a * hg - G * \sin \alpha * hg - G * Lf = 0$  olur.

$$Wr * L = R_L * hg + m * a * hg + G * \sin \alpha * hg + G * Lf$$

$$Wr = \frac{1}{L} * [G * Lr + hg * (R_L + m * a + G * \sin \alpha)] \quad [2]$$

$$Wr = \frac{1}{L} * [G * Lf + hg * (Ft - Rro)]$$

Wrd=Statik yük (Wrs)+Dinamik yük (\Delta W)

Ön ve arka aks yükü formüllerine dikkat edilirse dinamik yük onde negatif arka aks formülünde ise pozitiftir. Çünkü yokuş yukarı çıkarken arka tekerlek aks ağırlığı artar. Ön tekerlek aks ağırlığı ise azalır.

**Örnek Problem 8:**  $5^0$  eğimli bir yolda hareket etmekte olan bir taşıtlı ilgili olarak aşağıdaki değerler bilinmektedir. Buna göre arkadan tarihlenen bir taşıtin dinamik aks yüklerini ve maksimum tarihlenen kuvvetini hesaplayınız?

$$R_{ro} = f_{ro} * G = 0,015 * 10000 = 150 \text{ N}$$

$$0,015 = 0,01 * \left( 1 + \frac{V}{160} \right) \Rightarrow V = 80 \text{ km/h}$$

$$R_L = 0,0386 * \rho * C_w * A (V^2) = 271,744 \text{ N}$$

$$Ra = \frac{G}{g} * a = \frac{10000}{9.81} * 0.5 = 509.6 \text{ N}$$

$$F_t - R_{ro} = G * \sin \alpha + R_a + R_L$$

$$F_t - R_{ro} = 10000 * \sin 5^\circ + 509.6 + 271,7 = 1652,8 \text{ N}$$

$$L - L_f = L_r = 1,5 \text{ m}$$

Taşitin ağırlık merkezi % 60'a % 40 ise bu yaklaşık olarak ön aks yükünün 6 kN ve arka aks yükünün de 4 kN olması demektir. Oysa Ön aks yükünde azalma görülmektedir:

$$Wf = \frac{1}{2.5} * [10000 * 1,5 - 0,6 * 1652,9] = 5603.3 \text{ N}$$

aynı şekilde arka aks yükünde ise artma

görülmüştür, işte bu yoldaki eğimin aks yükleri üzerindeki etkisidir.

$$\text{Arka aks yükü: } Wr = \frac{1}{2.5} * [10000 * 1 + 0,6 * (1652,9)] = 4396.7 \text{ N}$$

$F_t - R_{ro} = 1652,9$  Rro daha önce bulunmuştu 150 N olarak, buradan  $F_t = 1802,9$  N bulunur.

$$F_{t_{max}} = \mu_{ro_{max}} * G = 0,85 * 4396,7 = 3737,195 \text{ N}$$

Arkadan tarihlenen olduğu için  $W_r$  yi alırız.

**Örnek Problem 9:** Tabloda verilen değerlere göre bu taşıtin aşınmış lastikle 1 mm su derinliği bulunan yolda bu hızı yapıp yapamayacağını belirleyiniz.

Tablodan  $\mu_{ro} = 0.1$  bulunur. Arkadan çekilişli olduğundan dolayı da  $W_{rd} = 4396.7$  N kullanılır, Önden tarihlenmiş olsaydı  $W_{df}$  yi alacaktık.

$F_t = W_{rd} * \mu_{ro} \rightarrow 1802,9 = \mu_{ro} * 4396,7 \rightarrow \mu_{ro} = 0.41$  bulunur. Bu değerden daha düşük olana dek kayma olmaz. 0.40 olduğunda ise kayma başlar.

$\mu_{ro}$  hangi değerden daha aşağıya inerse tekerin yola tutunma kuvveti ( $F_{t\ max}$ ), tekerlek tarihlenmiş kuvvetinden ( $F_t$ ) küçük olursa o değere kadar kayma olmaz. Ancak bu değerden aşağıya düşerse  $\mu_{ro}$  kayma başlar.

Uygulamamız gereken  $F_t$  değeri 1802,9 N dur.  $F_{t\ max}$  bu değerden aşağı indiği anda kayma olur. Bu andaki  $\mu_{ro}$ 'yu şöyle buluruz  $\mu_{ro} = \frac{F_t}{W_r}$  dan 0,41 buluruz. Yol şartları 0,41 ve altına inince kayma olur.  $F_t$  direnç kuvvetleri yenecek kuvvettir.

## 14.0 MAKİMUM TARIHİK KUVVETİ

Şekil 13'de eğimli bir yoldaki taşıta etkiyen kuvvetleri görmekteyiz.  $R_{st} = G * \sin\alpha$  ve taşıtin yokuş yukarı hızlanması durumunda  $R_a$  yokuş aşağıya doğrudur. Yavaşlıyorsa gidiş yönü ile aynı yöndedir.

$$W_{dr} = \frac{1}{L} * [G * l_f + h_g * (F_t - R_{ro})]$$

$$W_{df} = \frac{1}{L} * [G * l_r - h_g * (F_t - R_{ro})]$$

Taşıt arkadan tarihlenmiş ise  $F_{t\ max} = W_{dr} * \mu_{ro\ max}$  ve  $R_{ro} = G * f_{ro}$  ise formülde yerlerine yazarsak

$$W_{dr} = \frac{1}{L} * [G * l_f + h_g * (W_{dr} * \mu_{ro\ max} - G * f_{ro})]$$

$$W_{dr} = \frac{G * L_f}{L} + \frac{h_g * W_{rd} * \mu_{ro\ max}}{L} - \frac{h_g * G * f_{ro}}{L}$$

bu formülde her terimi L ile çarparak sonuç değişmez ve  $W_{dr} * L = G * L_f + h_g * W_{dr} * \mu_{ro\ max} - h_g * G * f_{ro}$  olur.

$$W_{dr} * L - h_g * W_{dr} * \mu_{ro\ max} = G * L_f - h_g * G * f_{ro}$$

$$W_{dr} * (L - h_g * \mu_{ro\ max}) = G * (l_f - h_g * f_{ro})$$

$W_{dr} = G * \left( \frac{l_f - h_g * f_{ro}}{L - h_g * \mu_{ro\ max}} \right)$  bu formülde parantez içindeki ifade arka aks dinamik yük dağılım faktöründür veya diğer bir deyişle ağırlık dağılım faktöründür ve  $w_{dr}$  ile ifade edersek:

$$w_{dr} = \frac{W_{dr}}{G}$$

dir. Statik yük dağılımı ise:  $W_{sr} = \frac{L_f}{L}$  olur.  $F_{t\ max} = W_{dr} * G * \mu_{ro\ max}$  olur.

Aynı hesaplamalar ön aks için yapılrsa sonuçta sadece işaretler değişir.

$W_{df} = G * \left( \frac{L_r + h_g * f_{ro}}{L + h_g * \mu_{ro\max}} \right)$  bu formülde parantez içindeki ifade ön aks dinamik yük dağılım faktöridür ve  $w_{df}$  ile ifade edilir.  $w_{df} = \frac{W_{df}}{G} \Rightarrow W_{df} = G * w_{df}$   
 $F_{t\max} = w_{df} * G * \mu_{ro\max} = W_{df} * \mu_{ro\max}$  olur.

4 tekerlekten tarihlenen aracın tekerlek yükü arkaya tekerlek dinamik yükü ile ön tekerlek dinamik yükünün toplamıdır. Yani:  $W_{d4} = W_{dr} + W_{df}$

Araç tek bir milden öne ve arkaya hareket veriyorsa aracın tek tekerleği kayınca o taraf işe yaramaz. Diğer iki tekerlekçe çalışmaz. Bunun için bazı dişlileri iptal ederek (kollar ile) tüm tarihlenen kuvvetini o tekerleklerde (işe yarayan) vererek kaymadan hareket edebilir. Bazı araçlarda ise ayrı millerden hem öne hem de arkaya hareket iletilir. Sonuçta bir yanı çalışmaz ise de diğerini çalışır.

**Örnek Problem 10:** Aşağıda verilenlere göre önden ve arkadan çekilişli iki taşıt için ağırlık dağılım faktörlerini ve  $G = 8$  kN olduğuna göre maksimum tarihlenen kuvvetlerini belirleyiniz.  
 $L_r = L_f = 0,5 * L$ ,  $h_g = 0,33 * L$ ,  $f_{ro} = 0,015$ ,  $\mu_{romax} = 0,85$

$$W_{dr} = G * w_{dr}$$

$$w_{dr} = \frac{0,5 * L - 0,33 * L * 0,015}{L - 0,33 * L * 0,85}$$

$$w_{dr} = 0,688 \approx 0,69$$

$$W_{dr} = 5520 \text{ N}$$

$$F_{t\max} = G * w_{dr} * \mu_{romax} = W_{dr} * \mu_{romax}$$

$$F_{t\max} = 8000 * 0,69 * 0,85 = 4692 \text{ N}$$

$$W_{df} = G * w_{df}$$

$$w_{df} = \frac{(0,5 + 0,33 * 0,015) * L}{(1 + 0,33 * 0,85) * L} = 0,39$$

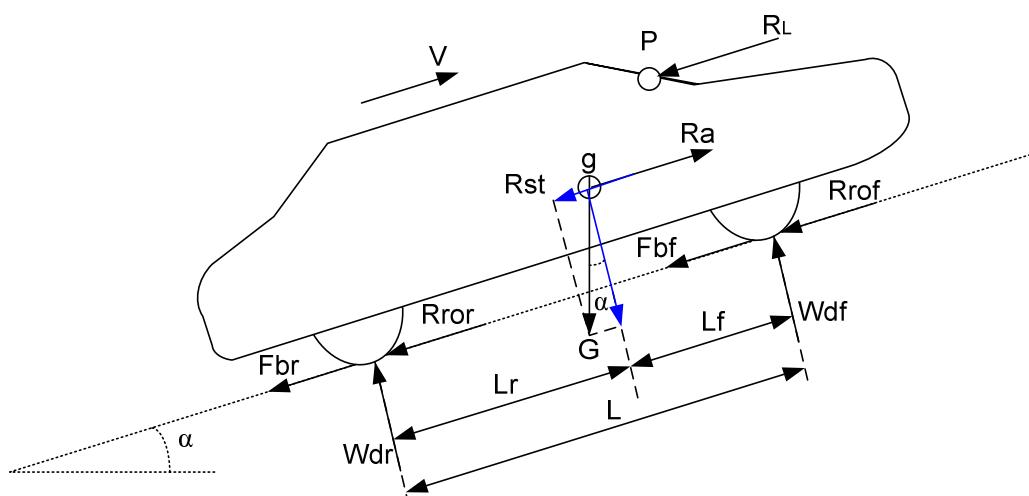
$$W_{df} = 3120 \text{ N}$$

$$F_{t\max} = G * w_{df} * \mu_{romax}$$

$$F_{t\max} = 8000 * 0,39 * 0,85 = 2652 \text{ N}$$

$L_r = L_f = 0,5 * L$  olduğundan statik aks yükleri eşit olur. Öyleyse dinamiği iyi olanı tercih ederiz. O da arkadan tarihlenen araçtır.

## 15.0 MAKİMUM FRENLEME KUVVETİ



Şekil 14. Taşıta etkiyen kuvvetler

$F_{br}$  arka tekerlek frenleme kuvveti

$F_{bf}$  ön tekerlek frenleme kuvveti

Araç frenleme kuvveti =  $F_b = F_{br} + F_{bf}$  dir.

$\Sigma M_f=0$ 'dan

$$(R_L + R_{st} - R_a) * h_g - W_{dr} * L + G * \cos \alpha * L_f = 0$$

$$W_{dr} = \frac{1}{L} * [G * l_f + h_g * \underbrace{(R_L + R_{st} - R_a)}]$$

Parantez içindeki değerlerin eşitliğini yola paralel olan kuvvetlerden de bulabiliriz.

Yola paralel olan kuvvetlerden

$$\underbrace{R_L + R_{st} - R_a}_{R_L + R_{st} - R_a} + \underbrace{F_{bf} + F_{br}}_{F_b} + \underbrace{R_{rof} + R_{ror}}_{R_{ro}} = 0$$

$R_L + R_{st} - R_a + F_b + R_{ro} = 0$  dir.

$$R_L + R_{st} - R_a = - (F_b + R_{ro})$$

Sonuç olarak arka tekerleğin frenleme kuvvetini hesap eden formül:

$$W_{dr} = \frac{1}{L} * [G * l_f - h_g * (F_b + R_{ro})] \text{ bulunur.}$$

Şimdi de aynı işlem basamaklarını arka teker-yol temas noktasından moment alarak hesaplıyalım:

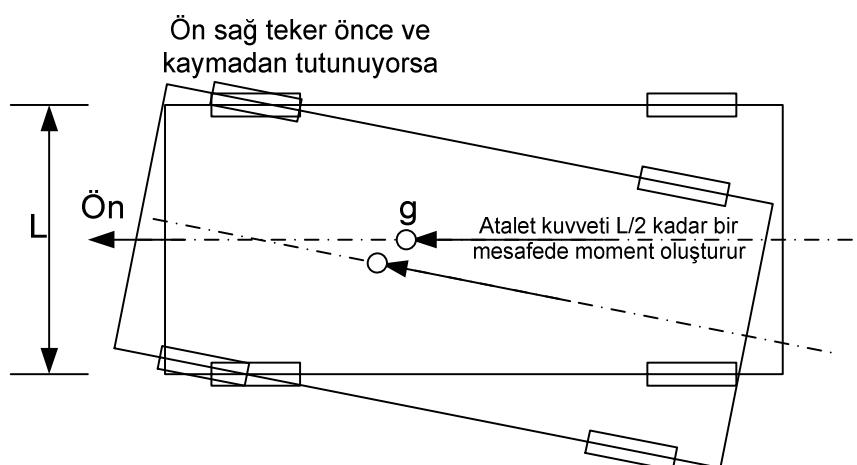
$\Sigma M_r=0$ 'dan

$$W_{df} = \frac{1}{L} * [G * l_r - h_g * (R_L + R_{st} - R_a)]$$

$$R_L + R_{st} - R_a + F_b + R_{ro} = 0 \text{ dan } R_L + R_{st} - R_a = - (F_b + R_{ro})$$

Ön tekerleğin frenleme kuvvetini hesap eden formül de  $W_{df} = \frac{1}{L} * [G * l_r + h_g * (F_b + R_{ro})]$

olarak bulunmuş olur. Burada aradaki işaretin pozitif olmasına dikkat etmek lazım (- \* - = +). Yük arka tekerlege çok gelirse o tekerlekler daha fazla aşınır. Frenleme sonunda bir kilitlenme olacaksız ki istenmez ama olursa şayet ön tekerleklerin kilitlenmesi istenir. Çünkü önlere kilitlenirse aracın direksiyon hakimiyeti azalmaz ve devrilme olmaz. Fakat arkadan kilitlenirse o zaman direksiyon hakimiyeti azalır ve devrilme olabilir.



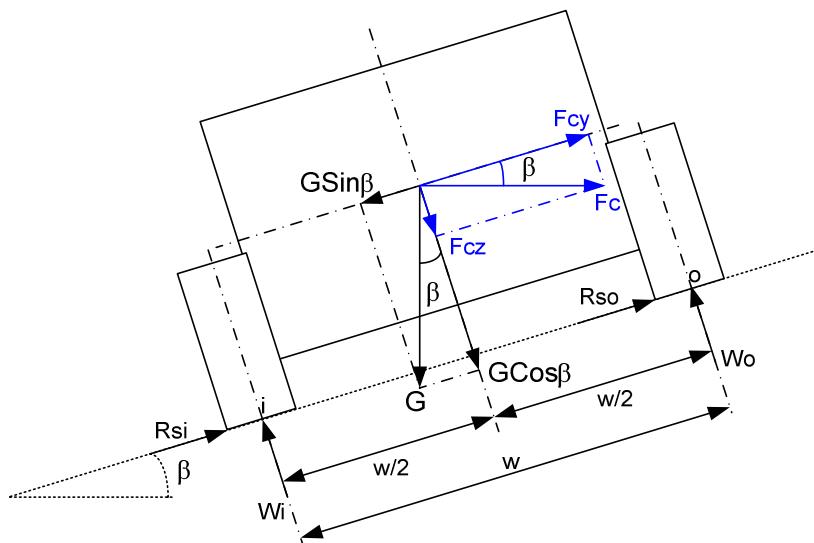
Şekil 15. Frenlemedeki tek tekerin moment etkisi

Maksimum frenleme kuvveti toplam dirence eşit veya az olmalıdır, büyük olursa kayar.

$F_{b\max} = G \times \mu_{RO\max}$  Frenleme kuvvetinin maksimum olabilmesi için kaymaması gereklidir.

Kayarsa frenleme kuvveti ( $F_b$ ) azalır.

## 16.0 VIRAJ TUTUMU



Şekil 16. Viraj Kuvvetlerinin etkisi

Dinamik durumda santrifüj kuvveti hesaba katılır. Santrifüj kuvvet ( $F_c$ ) dışa doğru ve yatay eksendedir. Yanal tutunma kuvvetleri ( $R_{so}+R_{si}$ ) kayma olmaması için taşıt ağırlığının sinüsünden fazla olmalıdır. Aksi takdirde taşıt içe doğru kayar.  $W_o=0$  olursa devrilme başlar. Taşıt içeriye de dışarıya da kayabilir. Hesaplamalarda taşıtin süspansiyonsuz olduğunu kabul edeceğiz.

$$\text{Viraj kuvveti } F_c = \frac{m \times V^2}{r_c} \text{ burada } r_c \text{ viraj yarıçapıdır. } F_{cy} = F_c \times \cos\beta$$

### 16.1 Aks reaksiyonları

$$\sum Mi = 0 \text{ 'dan, } hg \times G \times \sin\beta - F_{cy} \times hg - \frac{w}{2} * (F_{cz} + G \times \cos\beta) + W_o \times w = 0$$

$$\begin{aligned} W_{do} &= \frac{1}{w} * \left[ -hg \times G \times \sin\beta + F_{cy} \times hg + \frac{w}{2} (F_{cz} + G \times \cos\beta) \right] \\ &= \frac{1}{w} * \left[ -hg \times G \times \sin\beta + hg \times \frac{m \times V^2}{r_c} \times \cos\beta + \frac{w}{2} \times \frac{m \times V^2}{r_c} \times \sin\beta + \frac{w}{2} \times G \times \cos\beta \right] \end{aligned}$$

$F_{cy}$  ve  $F_{cz}$  değerlerini yerlerine yazarsak;

$$W_{do} = \frac{1}{w} * \left[ -hg \times G \times \sin\beta + hg \times \frac{G \times V^2}{g \times r_c} \times \cos\beta + \frac{w}{2} \times \frac{G \times V^2}{g \times r_c} \times \sin\beta + \frac{w}{2} \times G \times \cos\beta \right]$$

$m=G/g$  değerini yerlerine yazdık ve  $G$  parantezine aldık.

$$W_{do} = G * \left[ -\frac{hg}{w} * \sin\beta + \frac{hg * V^2}{w * g * r_c} * \cos\beta + \frac{V^2}{2g * r_c} * \sin\beta + \frac{\cos\beta}{2} \right]$$

bu formülde büyük parantez içindeki değer sıfır bir arası değişir ve taşıt ağırlığının dağılım faktörüdür. Burada  $V$  (m/s) ve  $r_c$  (m) olarak alınırsa sonucun birimi  $G$  (N) ile aynı olur.

## 16.2 İçe Kayma

$G \times \sin\beta = R_{si} + R_{so} + F_{cy}$  kayma başlangıcıdır.  $G \sin\beta$  küçükse kayar. Burada yanal tutunma kuvveti ( $R_s$ ) =  $R_{si} + R_{so}$ 'dır.  $R_s = (F_{cz} + G \cos\beta) \times \mu_L$  Buradaki  $\mu_L$  sürtünme katsayısıdır.

$G \times \sin\beta = R_s + F_{cy}$  bu formüldeki  $R_s$  değerini yukarıdan alıp yerine yazarsak sonuç;

$G \sin\beta = (F_{cz} + G \cos\beta) \times \mu_L + F_{cy}$  olur. Yine bu formüldeki  $F_{cz}$  yerine yazıp parantezden çıkartırsak;

$$G \sin\beta = \mu_L * \frac{m * V^2}{r_c} * \sin\beta + G \cos\beta * \mu_L + \frac{m * V^2}{r_c} * \cos\beta \quad [1] \text{ bulunur.}$$

Bu formüldeki her bir terimi  $\cos\beta$  değerine bölüp "G" leri eşitliğin bir tarafına toplarsak sonuç;

$$G \tan\beta - G \mu_L = \mu_L * \frac{m * V^2}{r_c} * \tan\beta + \frac{m * V^2}{r_c} \text{ olur. Burada } G = m * g \text{ değerlerini yerlerine}$$

yazıp  $m$ 'ler birbirini götürürse sonucumuz;

$$g \tan\beta - g \mu_L = \mu_L * \frac{V^2}{r_c} * \tan\beta + \frac{V^2}{r_c} \text{ olur. Buradan da } V \text{ ortak parantezine alırsak;}$$

$$g (\tan\beta - \mu_L) = V^2 * \left[ \frac{\mu_L * \tan\beta + 1}{r_c} \right]$$

$$V_{min} = \left[ g * r_c * \left( \frac{\tan\beta - \mu_L}{\mu_L * \tan\beta + 1} \right) \right]^{0,5} \quad [1]$$

Bu formül bize içe kaymamak için gerekli minimum hızı verir.

## 16.3 Dışa Kayma

Araç hangi hızlar arasında yol almalıdır ki içe veya dışa kaymasın. Minimum ve maksimum hızı ne olmalıdır. Şekil 16'dan yararlanılarak [1] numaralı formül içe kayma durumu incelenirse aynı eşitlik dışa kayma durumunda  $F_{cy}$  yönüne ve değerine eşitlenir.

$$\begin{aligned} F_{cy} &= GS \in \beta + (GC \oslash \beta + F_{yz}) * \text{yanal sürtünme katsayısi} \\ \overbrace{\frac{m * V^2}{r_c} * C \oslash \beta} &= G * S \in \beta + \mu_L * \overbrace{\left( G * C \oslash \beta + \frac{m * V^2}{r_c} * S \in \beta \right)} \end{aligned}$$

Her bir değeri  $C \oslash \beta$ ya bölüp  $G=m*g$  değerlerini yerlerine yazıp  $m$ 'leri götürürsek:

$$G * \tan\beta + \mu_L * G + \mu_L * \frac{m * V^2}{r_c} * \tan\beta = \frac{m * V^2}{r_c}$$

$$g * \tan\beta + \mu_L * g + \mu_L * \frac{V^2}{r_c} * \tan\beta = \frac{V^2}{r_c}$$

$$g * (\tan\beta + \mu_L) = \frac{V^2}{r_c} - \mu_L * \frac{V^2}{r_c} * \tan\beta$$

$$g * (\tan \beta + \mu_L) = V^2 * \left( \frac{1 - \mu_L * \tan \beta}{r_c} \right)$$

$$\frac{g * (\tan \beta + \mu_L) * r_c}{(1 - \mu_L * \tan \beta)} = V^2$$

$$V_{\max} = \left[ g * r_c * \left( \frac{\tan \beta + \mu_L}{1 - \mu_L * \tan \beta} \right) \right]^{0,5} \quad [2]$$

Bu formül bize dışa kaymamak için gerekli minimum hızı verir. Bu hızdan fazla giderse dışa kayma başlar.

#### 16.4 İçe devrilmemek için gerekli minimum hız

Ağırlık dağılım faktörünü sıfıra eşitlersek içe devrilmemek için gerekli minimum hızı bulabiliyoruz.

$\sum M_i = 0$ 'dan

$$-\frac{hg}{w} * \sin \beta + \frac{hg * V^2}{w * g * r_c} * \cos \beta + \frac{1}{2} * \frac{V^2}{g * r_c} * \sin \beta + \frac{1}{2} * \cos \beta = 0 \quad \text{bu formüldeki}$$

her bir terimi  $\cos \beta$ 'ya bölersek;

$$-\frac{hg}{w} * \tan \beta + \frac{hg * V^2}{w * g * r_c} + \frac{1}{2} * \frac{V^2}{g * r_c} * \tan \beta + \frac{1}{2} = 0$$

$$\frac{V^2}{g * r_c} * \left( \frac{hg}{w} + \frac{1}{2} * \tan \beta \right) = \frac{hg}{w} * \tan \beta - \frac{1}{2}$$

$$\frac{V^2}{g * r_c} = \frac{\left( \frac{hg}{w} * \tan \beta - \frac{1}{2} \right)}{\left( \frac{hg}{w} + \frac{1}{2} * \tan \beta \right)}$$

$$V^2 = g * r_c * \left( \frac{\frac{hg}{w} * \tan \beta - \frac{1}{2}}{\frac{hg}{w} + \frac{1}{2} * \tan \beta} \right)$$

$$V_{\min} = \left[ g * r_c * \left( \frac{\frac{hg}{w} * \tan \beta - \frac{1}{2}}{\frac{hg}{w} + \frac{1}{2} * \tan \beta} \right) \right]^{0,5} \quad [3]$$

İçe devrilmemek için gerekli minimum hız formülüdür.

## **16.5 Dışa devrilmemek için gerekli maksimum hız**

Bunun için dışa devrilmeden yapılan maksimum hızı şöyle bulabiliriz:

$\Sigma M_o=0$  dersek

$$0 = G * \sin\beta * hg + (Fc_z + G \times \cos\beta) * \frac{w}{2} - Fc_y * hg - Wi \times w$$

$$hg * G * \sin\beta + \frac{m * V^2}{r_c} * \sin\beta * \frac{w}{2} + G * \cos\beta * \frac{w}{2} - hg * \frac{m * V^2}{r_c} * \cos\beta = Wi * w$$

$$\frac{1}{w} * \left( hg * G * \sin\beta + \frac{w}{2} * \frac{G * V^2}{g * r_c} * \sin\beta + G * \frac{w}{2} * \cos\beta - hg * \frac{G * V^2}{g * r_c} * \cos\beta \right) = W_{di}$$

$$W_{di} = G * \left[ \frac{1}{w} * \left( hg * \sin\beta + \frac{w}{2} * \frac{V^2}{g * r_c} * \sin\beta + \frac{w}{2} * \cos\beta - hg * \frac{V^2}{g * r_c} * \cos\beta \right) \right]$$

$$W_{di} = G * \left( hg * \sin\beta * \frac{1}{w} + \frac{1}{2} * \frac{V^2}{g * r_c} * \sin\beta + \frac{1}{2} * \cos\beta - hg * \frac{V^2}{g * r_c} * \cos\beta \right)$$

İç tekerlek dinamik kuvvet formülünde, büyük parantez içindeki değer ağırlık dağılım faktörüdür. Bu değeri sıfır yapan hızdan daha fazla hızlı gidersek araç dışa devrilir.

$$0 = \left[ \frac{hg}{w} * \sin\beta + \frac{1}{2} * \left( \frac{V^2}{g * r_c} \right) * \sin\beta + \frac{1}{2} * \cos\beta - \left( \frac{hg * V^2}{w * g * r_c} \right) * \cos\beta \right]$$

Her bir terimi  $\cos\beta$ 'ya bölersek;

$$\begin{aligned} \left( \frac{hg * V^2}{w * g * r_c} \right) - \frac{1}{2} * \frac{V^2}{g * r_c} * \tan\beta &= \frac{hg}{w} * \tan\beta + \frac{1}{2} \\ V_{max} &= \left[ g * r_c * \left( \frac{\frac{hg}{w} * \tan\beta + \frac{1}{2}}{\frac{hg}{w} - \frac{1}{2} * \tan\beta} \right) \right]^{0.5} \end{aligned} \quad [4]$$

dışa devrilmemek için gerekli maksimum hız formülüdür.

İçe, dışa kayma olmadan yapılacak maksimum hız ve içe, dışa devrilmeden yapılacak maksimum hız olmak üzere 4 adet hız değeri bulunur.

**Örnek Problem 11:** Aşağıda özellikleri verilen taşıtin virajda yapabileceği maksimum ve minimum hızları hesaplayınız.

$G=10$  kN,  $w=1,6$  m,  $hg=0,7$  m,  $r_c=40$  m,  $\mu_L=0,5$ , yolun yanal eğimi  $\beta=30^\circ$

$$V = \left[ g * r_c * \left( \frac{\tan\beta - \mu_L}{\mu_L * \tan\beta + 1} \right) \right]^{0.5} \quad \text{İçe kaymamak için minimum hız.}$$

$$V = \left[ 9,81 * 40 * \left( \frac{\tan 30^\circ - 0,5}{0,5 * \tan 30^\circ + 1} \right) \right]^{0,5} = 4,85 \text{ m/s} \Rightarrow 17,46 \text{ km/h} \quad [1]$$

$$V = \left[ g * r_c * \left( \frac{\tan \beta + \mu_L}{1 - \mu_L * \tan \beta} \right) \right]^{0,5} \quad \text{dışa kaymamak için maksimum hız.}$$

$$V = \left[ 9,81 * 40 * \left( \frac{\tan 30^\circ + 0,5}{1 - 0,5 * \tan 30^\circ} \right) \right]^{0,5} = 24,38 \text{ m/s} \Rightarrow 76 \text{ km/h} \quad [2]$$

$$V_{\min} = \left[ g * r_c * \left( \frac{\frac{hg}{w} * \tan \beta - \frac{1}{2}}{\frac{hg}{w} + \frac{1}{2} * \tan \beta} \right) \right]^{0,5} \quad \text{İçे devrilmemek için minimum hız.}$$

$$V_{\min} = \left[ 9,81 * 40 * \left( \frac{\frac{0,7}{1,6} * \tan 30^\circ - \frac{1}{2}}{\frac{0,7}{1,6} + \frac{1}{2} * \tan 30^\circ} \right) \right]^{0,5} = -11,56 \text{ m/s} \quad \text{İçे devrilmez} \quad [3]$$

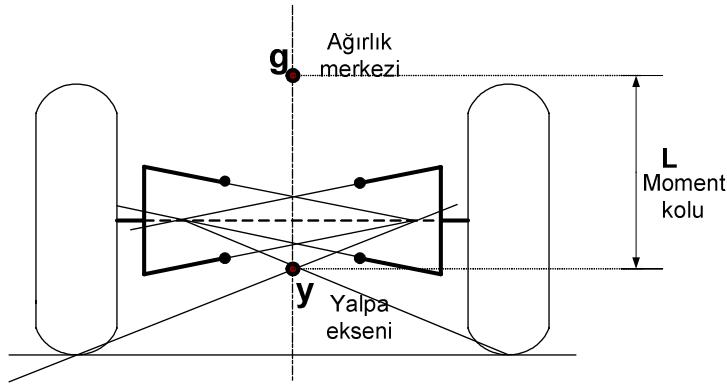
$$V = \left[ g * r_c * \frac{\left( \frac{hg}{w} * \tan \beta + \frac{1}{2} \right)}{\left( \frac{hg}{w} - \frac{1}{2} * \tan \beta \right)} \right]^{0,5} \quad \text{Dışa devrilme için maksimum hız.}$$

$$V = \left[ 9,81 * 40 * \frac{\left( \frac{0,7}{1,6} * \tan 30^\circ + \frac{1}{2} \right)}{\left( \frac{0,7}{1,6} - \frac{1}{2} * \tan 30^\circ \right)} \right]^{0,5} = 44,55 \text{ m/s} = 160,4 \text{ km/h} \quad \text{'ten fazla giderse devrilir.} \quad [4]$$

## 17.0 DEVRİLME YALPA EKSENİ

Öne olan devrilme takladır. Yana olan devrilme, devrilmedir. Devrilme bir eksenin üzerinde olur. Bu eksene devrilme ekseni denir. Taşıt virajda seyrederken, ağırlık merkezine etkiyen santrifüj kuvvet, taşıt hareket yönüne dik doğrultuda bir devrilme etkisi üretir. Bu etkinin değeri taşıt sıçramalarına bağlı, yaylanma oranına ve santrifüj kuvveti kuvvet koluna bağlıdır (Zıplayan taşıt daha kolay devrilir).

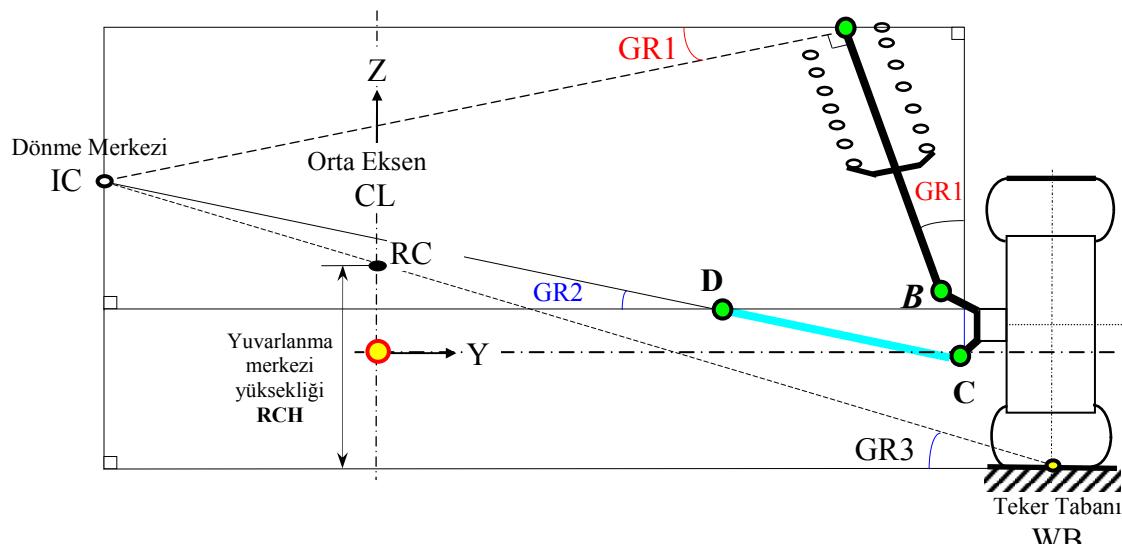
Kuvvet kolu ağırlık merkezi ile yalpa ekseni arasındaki mesafedir. Yuvarlanma (devrilme) ekseni taşıtin yola göre anlık devrilme eksenidir (Yalpa ekseni anlık devrilme eksenidir). Yalpa ekseni ön ve arka akslardan geçer ve yola dik düzlemlerdeki yalpa merkezlerinden geçen eksendir. Ön dingildeki dönme merkezi ile arka dingildeki dönme merkezi arasındaki eksene yalpa ekseni denir. Dönme ekseni araç dönerken hareket etmeyen yeridir.



Şekil 17. Süspansiyon sisteminin dönme merkezinin bulunduğu

Şekil 17'ye göre "g" aşağı indikçe L azalır dolayısı ile moment azalır ve devrilme ihtimali de azalır.

### 17.1 Ön süspansiyon sistemi



Şekil 18. McPherson tipi süspansiyon sisteminin dönme merkezi

$$GR1 = \frac{(BY - AY)}{(AZ - BZ)} = \frac{(AZ - ICZ)}{(AY - ICY)} \quad (1)$$

Yukarıdaki eşitlikteki ICZ değerini eşitliğin bir tarafına çekersek sonuçta;

$$ICZ = AZ - \frac{(BY - AY)(AY - ICY)}{(AZ - BZ)} = AZ - \frac{GR1 * (AZ - BZ)(AY - ICY)}{(AZ - BZ)} = AZ - GR1 * (AY - ICY) \text{ bulunur.}$$

$$GR2 = \frac{(DZ - CZ)}{(CY - DY)} = \frac{(ICZ - CZ)}{(CY - ICY)} \quad (2)$$

Aynı şekilde yukarıdaki eşitlikteki ICZ değerini eşitliğin bir tarafına çekersek sonuçta;

$$ICZ = CZ + \frac{(DZ - CZ)(CY - ICY)}{(CY - DY)} = CZ + \frac{GR2 * (CY - DY)(CY - ICY)}{(CY - DY)} = GR2 * (CY - ICY) + CZ \text{ bulunur.}$$

Burada 1 ve 2 numaralı formüllerin sonuçlarında ICZ'ler birbirine eşitlenirse ve bu denklemdeki ICY değeri eşitliğin bir tarafına çekilirse;

$$ICY = \frac{GR1 * AY + GR2 * CY + CZ - AZ}{GR1 + GR2} \text{ sonucu bulunur.} \quad (3)$$

ICZ değeri ise ICY değeri bulunup yukarıdaki 1 veya 2 numaralı denklemde yerine yazılarak bulunabilir.

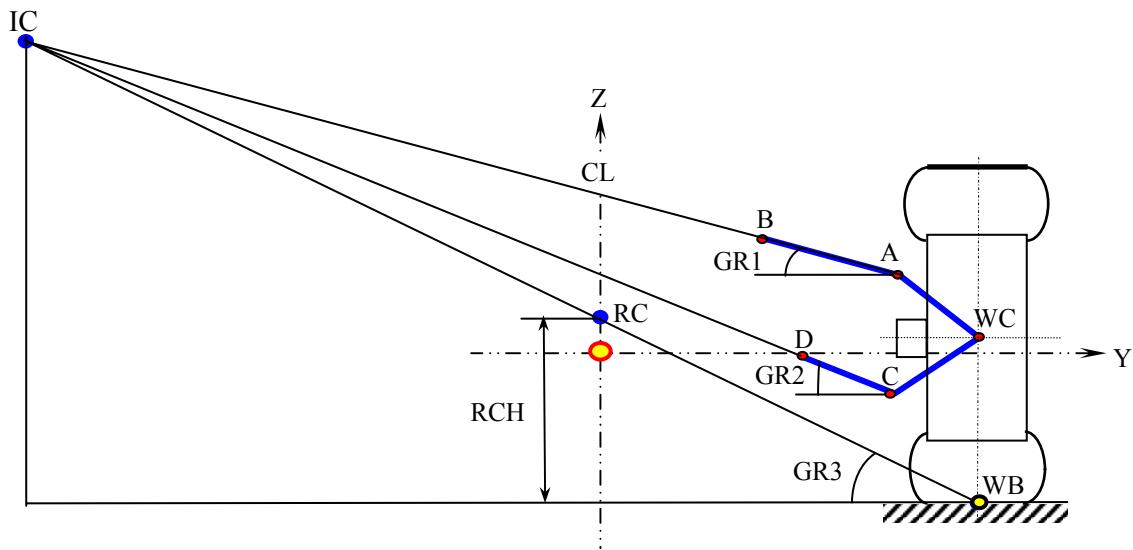
$$ICZ = AZ - GR1 * (AY - ICY) = GR2 * (CY - ICY) + CZ \quad (4)$$

$$GR3 = \frac{(ICZ - WBZ)}{(WBY - ICY)} \quad (5)$$

$$RCZ = WBZ + GR3 * (WBY - RCY) \quad (6)$$

$$RCH = RCZ - (WBZ) \quad (7)$$

## 17.2 Arka süspansiyon sistemi



Şekil 19. Çift salıncak kollu süspansiyon sisteminin dönme merkezi

Burada da ön süspansiyon sisteminde kullanılan metodu kullanarak yuvarlanma merkezi yüksekliği bulunabilir (RCH).

$$GR1 = \frac{(BZ - AZ)}{(AY - BY)} = \frac{(ICZ - AZ)}{(AY - ICY)} \quad (1)$$

Burada ICZ eşitliği bulunur,

$$GR2 = \frac{(DZ - CZ)}{(CY - DY)} = \frac{(ICZ - CZ)}{(CY - ICY)} \quad (2)$$

Burada da ICZ eşitliği bulunur ve bir üstteki ile eşitlenerek bu denklemdeki ICY çekilirse;

$$ICY = \frac{GR1 * AY - GR2 * CY + AZ - CZ}{GR1 - GR2} \text{ bulunur.} \quad (3)$$

ICY bulunduktan sonra yukarıdaki herhangi bir eşitlikten ICZ bulunabilir.

$$ICZ = AZ - GR1 * (AY - ICY) \quad (4)$$

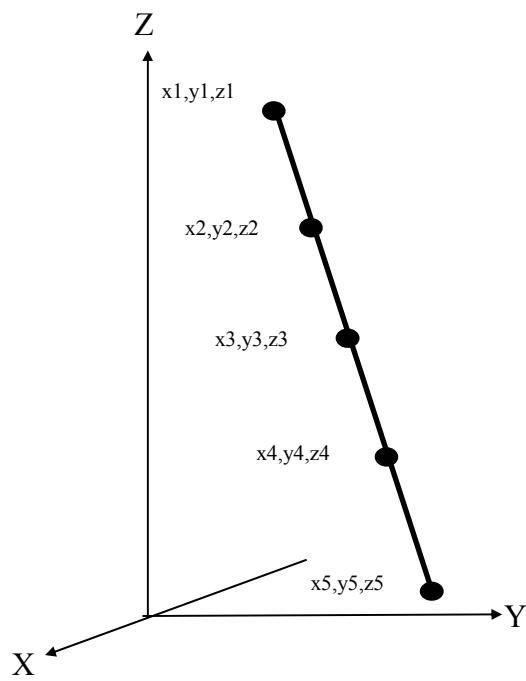
$$GR3 = \frac{(ICZ - WBZ)}{(WBY - ICY)} \quad (5)$$

$$RCZ = WBZ + GR3 * (WBY - RCY) \quad (6)$$

$$RCH = RCZ - (WBZ) \quad (7)$$

### **17.3 SİSTEM ELEMANLARININ AĞIRLIK MERKEZLERİNİN BULUNMASI**

#### **17.31 Amortisörün Ana Noktalarının Koordinatının Bulunması**



Eğer bir amortisörün alt ve üst bağlantı noktalarının koordinatlarını ölçebilirsek diğer noktaların koordinatlarını yaklaşık olarak bulabiliriz.

Bunun için denklem kurulabilir:

Bilinen noktalar ile bilinmeyen noktalar arasında kurulacak bir eşitlik bize bilinmeyen numaraların koordinatlarını verecektir. Mesela: x2 ile x1 arası mesafe x5 ile x2 arasındaki mesafenin üçte biridir.

$$3 * (x2 - x1) = (x5 - x2) \quad 3 * x2 - 3 * x1 = x5 - x2$$

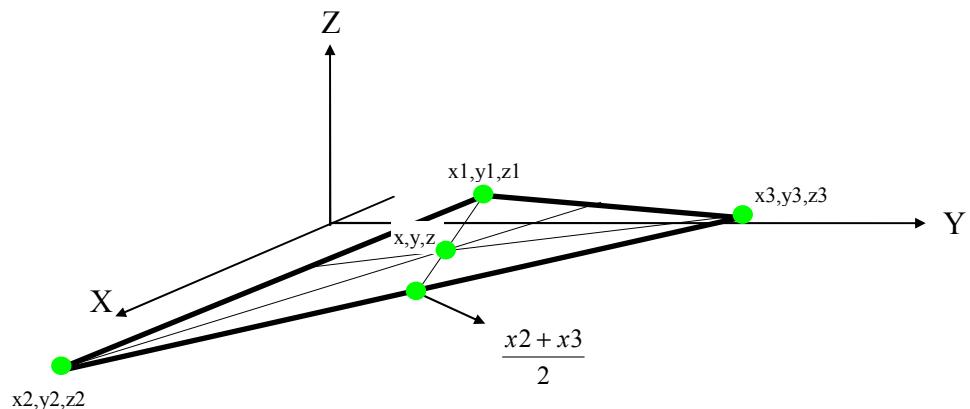
$$x2 = \frac{3 * x1 + x5}{4}, \quad y2 = \frac{3 * y1 + y5}{4}, \quad z2 = \frac{3 * z1 + z5}{4}$$

Şekil 20. Çubuğu koordinatlarının bulunması

$$(x3 - x1) = (x5 - x3) \quad 2 * x3 = (x5 + x1), \quad x3 = \frac{x5 + x1}{2}, \quad y3 = \frac{y5 + y1}{2}, \quad z3 = \frac{z5 + z1}{2}$$

$$3 * (x5 - x4) = (x4 - x1) \quad 3 * x5 - 3 * x4 = x4 - x1 \quad x4 = \frac{3 * x5 + x1}{4}, \quad y4 = \frac{3 * y5 + y1}{4}, \quad z4 = \frac{3 * z5 + z1}{4}$$

### **17.32 Süspansiyon Sistemindeki Salıncak Kollarının Ağırlık Merkezinin Bulunması**

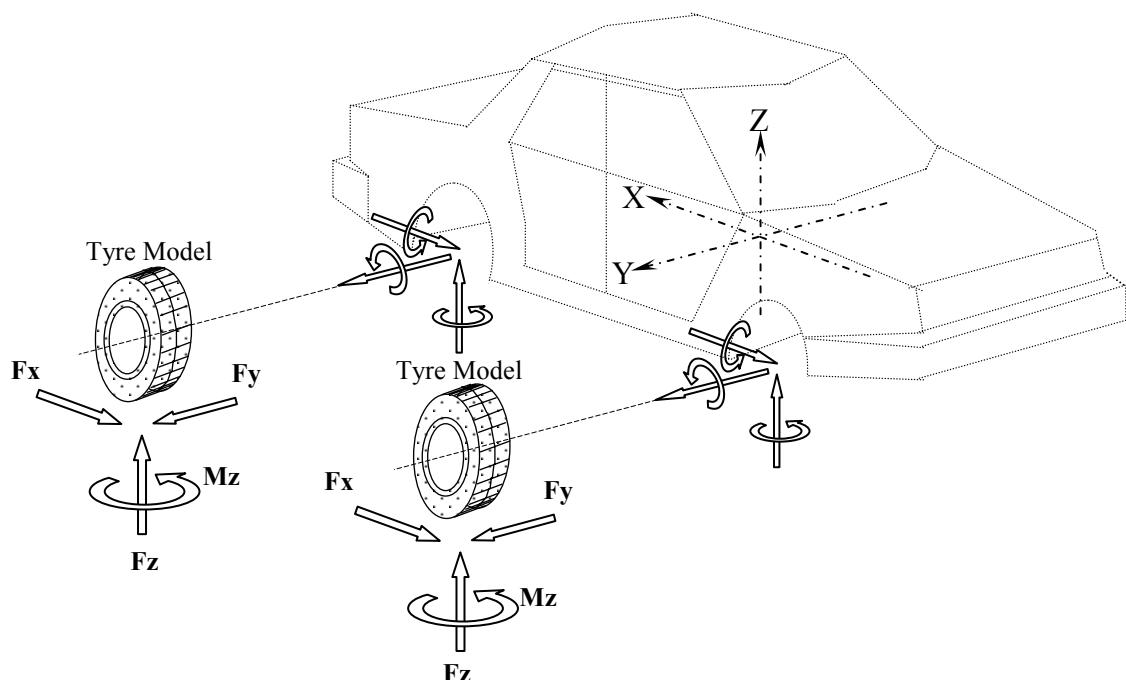


Şekil 21. Salıncak kolumnun koordinatlarının bulunması

$$x - x_1 = 2 * \left[ \left( \frac{x_2 + x_3}{2} \right) - x \right], \quad x - x_1 = x_2 + x_3 - 2 * x,$$

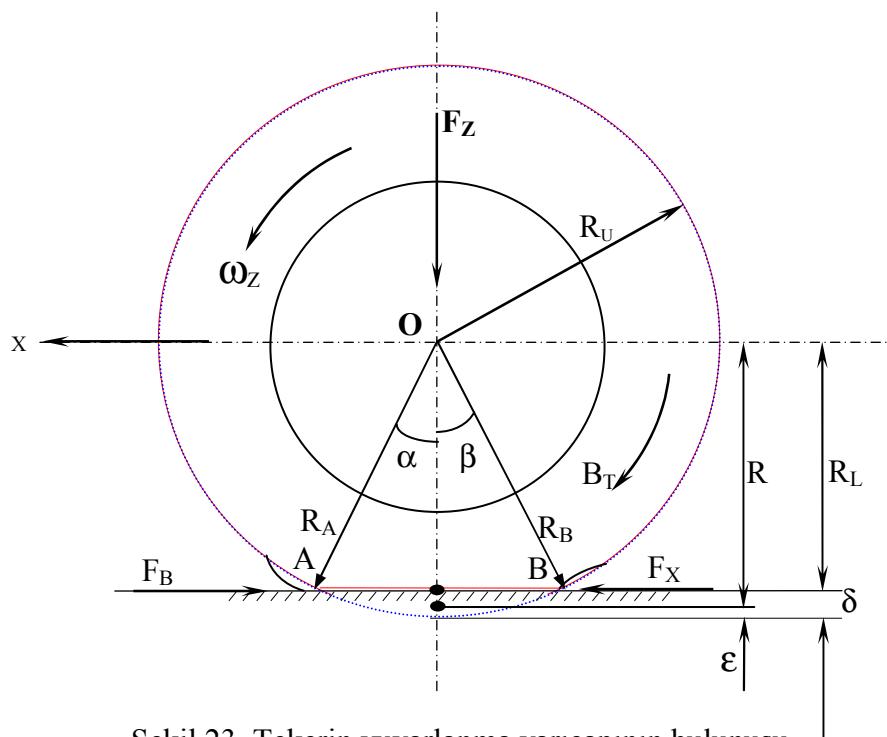
$$x = \frac{x_1 + x_2 + x_3}{3}, \quad y = \frac{y_1 + y_2 + y_3}{3}, \quad z = \frac{z_1 + z_2 + z_3}{3}$$

### **18.0 TEKER YUVARLANMA YARIÇAPININ BULUNMASI**



Şekil 22. Taşıt tekerine etki eden kuvvetler

Bir taşitin tekerleklerinin yola temas yüzey alanında üç doğrusal, üç dairesel toplam altı kuvvet meydana gelir ve bu her an değişir. Tekerin havadaki çapı, taşit üzerinde hareketsiz çapı ve taşit hızla yoluna devam ederken ki çapları farklı olur. Tekere etki eden tahrik kuvveti ve Frenleme kuvveti bu yarıçaptan etki ettiği için bu değerlerin bulunması gerekmektedir.



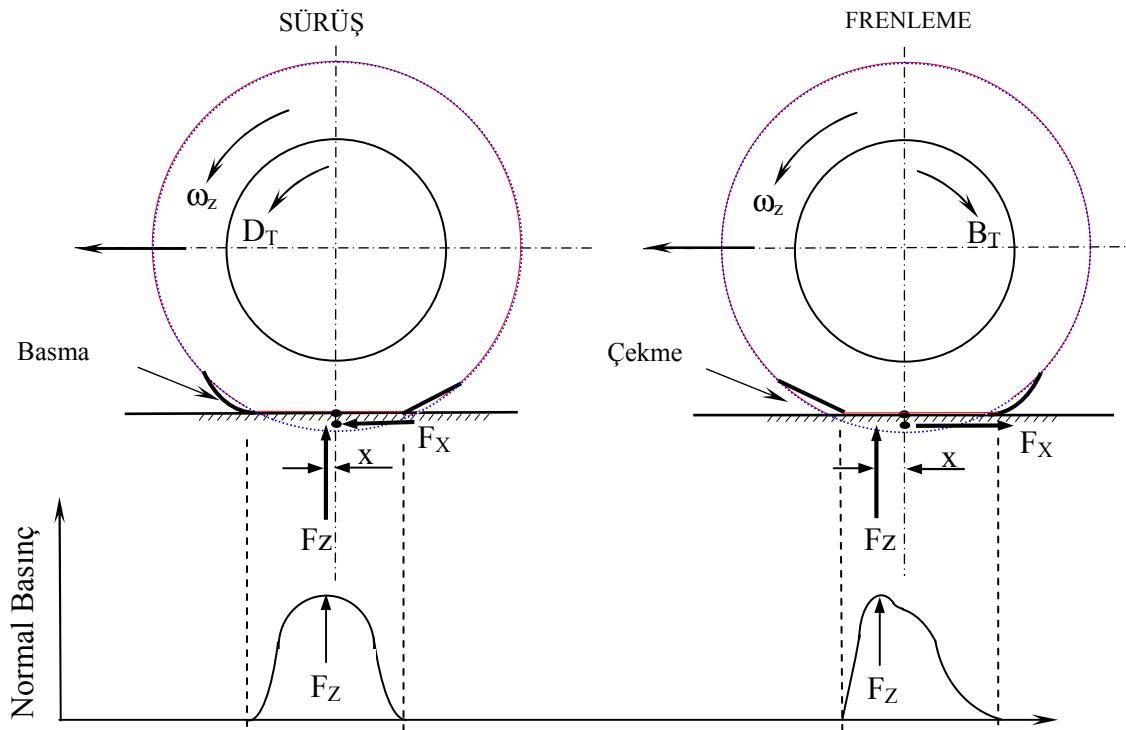
Şekil 23. Tekerin yuvarlanma yarıçapının bulunusu

Şekil 23'de kullanılan sembollerin açıklamaları aşağıdadır.

Açıklama	Sembolü	Birim
Yüksüz teker yarıçapı	$R_U$	mm
Yüklü teker yarıçapı (statik)	$R_L$	mm
Teker yuvarlanma yarıçapı	$R$	mm
Teker ön temas yüzeyinin yarıçapı	$ AO  = R_A$	mm
Teker arka temas yüzeyinin yarıçapı	$ BO  = R_B$	mm
Temas yüzeyinin uzunluğu	$ AB $	mm
Radyal teker esneme miktarı	$\delta$	mm
Dönen tekerin esneme miktarı	$\varepsilon$	mm
Tekerin açısal hızı	$\omega_z$	Rad./s
Tekerin temas yüzeyinin kavis uzunluğu	$C_L$	mm
Teker ön temas noktasının açısı	$\alpha$	Deg.
Teker arka temas noktasının açısı	$\beta$	Deg.
Tekerin yay sabiti	$K_z$	N/mm
Yüklü tekerin çevresi	$L$	mm
Tekere gelen yük	$F_Z$	N
Doğrusal harekette kayma oranı	$S_L$	-
Doğrusal hareketin kuvveti	$F_X$	N
Frenleme torku	$B_T$	Nm
Frenleme kuvveti	$F_B$	N
Taşit hızı	$V_X$	m/s

Statik yüklü tekerin yarıçapı ( $R_L$ ) ve tekerin yuvarlanma yarıçapı ( $R$ ) aşağıdaki gibi yazılabilir:  $R_L = R_U - \delta$   $R = R_U - \epsilon$

Burada  $\delta$  Radyal teker esnekliğini ve  $\epsilon$ 'da dönen tekerin esneme miktarını ifade etmektedir. Tekerin üzerine gelen normal yük ( $F_{Z0}$ ) ile teker Radyal olarak  $\delta_{FZ0}$  kadar esner. Tekerin düşey esneme katsayısı  $k_z$  ise şu şekilde hesaplanabilir:  $\epsilon_{FZ0} = \frac{F_{Z0}}{k_z}$



Şekil 24. Sürüş ve frenleme esnasında tekerin davranışları.

Dönen tekerin esneme miktarı ( $\epsilon$ ) bulunduğuanda bu değer yüksüz tekerin yarıçapının( $R_U$ )dan çıkartılırsa dönen tekerin yuvarlanma yarıçapı bulunabilir ( $R$ ). Tekerin yuvarlanma yarıçapı bulunurken taşıt hızının sabit olduğu ve tekere gelen yükün de değişmediği varsayılar. Taşıt hızı ile teker hızı arasındaki ilişki şu formül ile ifade edilebilir:  $V_X = \omega_Z * R$ .

Statik durumdaki yüklü tekerin yarıçapı şu formül ile hesaplanabilir:  $R_L = \frac{d_r}{2} + F * \left( \frac{d - d_r}{2} \right)$

Burada:  $R_L$ : Yüklü teker yarıçapı, d: Tekerin genel çapı (637 mm), F: Teker faktörü (0.77),  $d_f$ : Tekerin jant çapı (381 mm)

Tekerin çevresine göre hesap yapılrsa ve Şekil 23'e göre ufak farklılıklar olmasına rağmen şu denklikler kabul edilirse  $|AC| = |CB|$ ,  $R_A = R_B = R$  ve  $\alpha = \beta$  tekerin çevresi:

$$L = 2 * \pi * R - C_L + 2 * R * \sin\alpha$$

Burada: L: yuvarlanan tekerin yarıçapı (1937 mm)

$2\pi R$ : yüklü tekerin yarıçapı

$2*R*\sin\alpha$ : Yüklü tekerin yola temas yüzeyinin uzunluğu ( $|AB|$ )

$C_L$ : tekerin yola temas yüzeyi kavisi Raydan olarak ( $\theta^*R$ )

Şekil 23'e göre  $\alpha$  açısı şu şekilde hesaplanabilir:  $\cos\alpha = \frac{R_L}{R_U} = \frac{289}{318.5} = 0.907$ ,  $\alpha = 24.85^\circ$

$$\text{Tekerin çevresi şu şekilde hesaplanabilir: } L = R * \left[ 2 * \pi - 2 * \alpha * \left( \frac{\pi}{180} \right) + 2 * \sin \alpha \right]$$

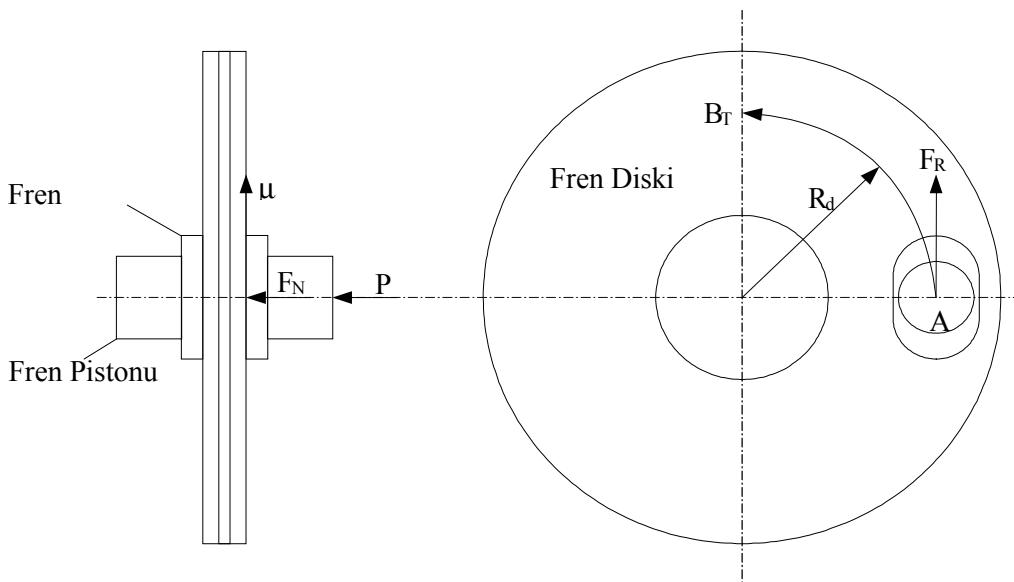
Kullanılan bilgilere göre teker yuvarlanma yarıçapı şöyle hesaplanır:

$$1937 = R * (6.2832 - 0.867 + 0.84)$$

$$1937 = R * 6.26 = d * (3.13)$$

$$R = 309.6 \text{ mm}$$

## **19.0 FRENLEME TORKUNUN HESAPLANMASI**



Şekil 25. Fren diskindeki kuvvetler

Fren pedalına basınca teker merkezindeki pabucu iten normal kuvvet ( $F_N$ ) şöyle hesaplanır:

$F_N = P * A$ . Pabuçlar diskin her iki yüzeyine de sürtündüğü için ve disk de dönüyor olduğu için bu kuvvet yüzeye paralel bir hale gelerek ( $F_R$ ) etki eder formül  $F_R = \mu * F_N * n$  olur. Bu formül bulunduktan sonra frenleme torku  $B_T = F_R * R_d$  formülü ile hesaplanabilir. Sonuç olarak bu formülü şu şekilde ifade edebiliriz:  $B_T = \mu * P * (\pi * r^2) * n * R_d$  buradaki semboller aşağıdaki tabloda açıklanmıştır.

Semboller	Açıklama	Değeri	Birim
$F_N$	Disk yüzeyine etkiyen normal kuvvet		N
P	Frenleme basıncı		N/mm <sup>2</sup>
A	Frenleme pistonu yüzey alanı	$\pi * 18.5^2$	mm <sup>2</sup>
$F_R$	Disk yüzeyindeki sürtünme kuvveti		N
$\mu$	Disk ile pabuçlar arasındaki sürtünme katsayısı	0.4	-
n	Sürtünen yüzey sayısı	2	-
$R_d$	Pabuç ile disk merkezinin yarıçapı	112	mm

## 20.0 Taşıt Davranış Karakteristikleri

Taşıt davranışı esas olarak yol düzlemine paralel kuvvetlerle bu kuvvetlerin olduğu yalpa momentlerinin etkisindeki doğrultu değişimlerini içermektedir. Bu kuvvetler iki grupta incelenebilir.

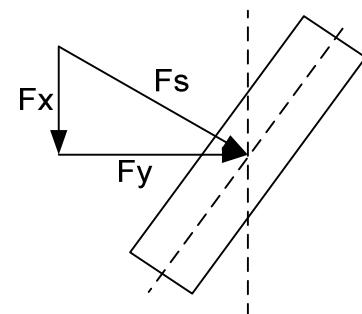
- 1- Lastik tarafından yolda üretilen kuvvetler  $F_{\text{tahrik}}$ ,  $R_{\text{fo}}$  vb.
- 2- Gövde kuvvetleri ve dış kuvvetler. Yolun yanal veya doğrultusundaki santrifüj ( $F_c$ ) kuvvetleridir.  $R_{\text{hava}}$

Taşıt davranışı aynı zamanda sürüş kolaylığı olarak da tanımlanabilir. Sürüş kolaylığı;

- a- Taşıtı istenen çizgiye düzenleme kolaylık ve hassasiyeti
- b- Taşıtı arzu edilen doğrultusundaki sürüşünün korunması kolaylığı.

Bu nedenle sürüş kolaylığı esas olarak güvenlik ve sürüş konforu ile ilgilidir. Taşıt kararlılığı ise taşıtin verilen konumunu koruma yeteneğidir. Kararlı bir taşıt baz ucu bir kuvvetin etkisinde kaldıktan sonra bu kuvvet kalktığında tekrar eski konumuna gelebilen taştır. Taşıt kararlılığının önemli göstergelerinden biriside viraj yeteneğidir. Viraj yeteneği taşıtin kontrolden çıkmadan maksimum santrifüj kuvveti karşılama yeteneğidir. İlçe devrilirken de bu santrifüjü sağlamalıdır. Kararlılık ve viraj yeteneğine ek olarak iyi taşıt davranışları için iki özellik daha gereklidir. Bunlar cevap ve geri besleme özellikleridir. Cevap özelliği; taşıt sürücüsünün kontrol girişlerine uyum özelliğidir. Direksiyon simidi 5° çevirdiğimizde araç kaç derece dönüyor, bunu şoförün iyi bilmesi gereklidir (Slalom ilkesi). Geri besleme ise başlık ile yol arasındaki ilişkileri belirli ölçülerde sürücüye iletme özellikleridir. Engebeli yollarda aracın içindeki kişinin hissetmemesi özelliği.

Taşıt düz yolda 100 m' de duruyorsa hafif direksiyonu kırarak gidersek o zaman daha önce durur. Çünkü  $F_s$  aracı durduracak yönde etki eder. Yanal kayma kuvveti artar sonuçta daha erken durur.



Şekil 26. Frenlemede tekerin konumu