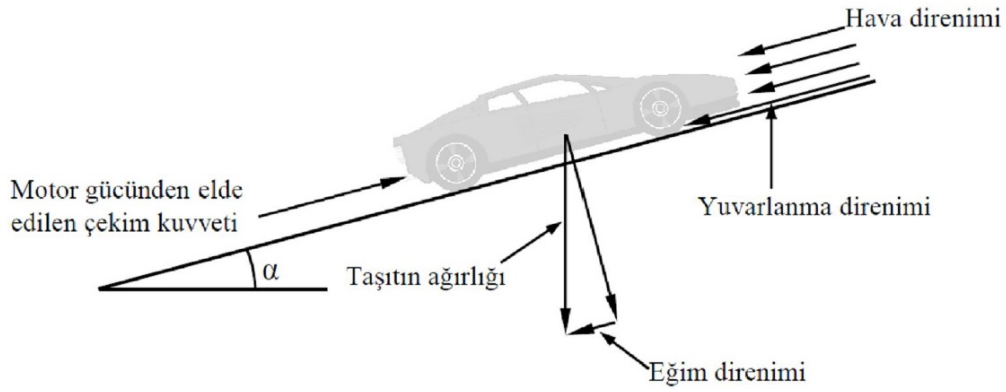


BÖLÜM 4

KARAYOLUNDA SEYREDEN ARAÇLARA ETKİYEN DİRENÇLER

Dinamikten bilindiği üzere belli bir yörünge üzerinde hareket eden cisimleri hareket yönünün tersi yönünde bir takım kuvvetler etkiler. Bu hareketler cismin hızını azaltıcı nitelikte olur. Karayolunda da hareket eden araçlara bu tür kuvvetler etki eder. Bu tür kuvvetlere harekete karşı direnç kuvvetleri denir.

- 1) Yuvarlanma Direnci, (D_y)
- 2) Hava Direnci, (D_h)
- 3) Eğim Direnci, (D_e)
- 4) Eylemsizlik Direnci, (D_a)
- 5) Kurba Direnci, (D_k)

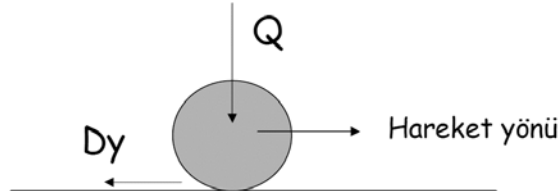


4.1. ETKİYEN DİRENÇLER

4.1.1. Yuvarlanma Direnci (D_y)

Taşıt lastiklerinin yol yüzeyine temas ettiği noktalarda yaptığı şekil değiştirmeler; kaplama pürüzlülüğüne bağlı olarak çukur, kasis ve farklı boyuttaki malzeme yüzeylerine batı çıkması; lastiklerin etrafındaki hava sirkülasyonu; taşıtın aktarma organları arasındaki sürtünmeden meydana gelir. Yuvarlanma direncinin büyük bir kısmına lastiklerin şekil değiştirmeleri sebep olur.

Direnimin büyüklüğü; kaplama durumuna, hava şartlarına, lastiğin iç basıncına, lastik malzemesinin esnekliğine ve taşıt hızına göre değişir.



Yuvarlanma direnci aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanabilir:

$$D_y = \mu_r \cdot Q$$

Bu formülde;

D_y : Yuvarlanma direnci (kg)

μ_r : Yuvarlanma direnci katsayısı (kg/kg) ya da (kg/ton)

Q : Taşıtın kütlesi (kg ya da ton)

Tablo 1. Çeşitli kaplamalarda yuvarlanma direnci katsayıları.

Kaplama Cinsi	μ_0
Beton yollar ve ince dokulu kaplamalar	0,010-0,020
Asfalt makadam kaplamalar	0,020-0,025
Kırma aş ve çakıl kaplamalar	0,030-0,040
Parke kaplamalar	0,040-0,050
Kuru ve sıkı toprak	0,030-0,060
Gevşek toprak, kumlu, çamurlu yüzeyler	0,015-0,060

$V=50$ km/saat ve daha düşük hızlarda yuvarlanma direnci için Tablo 1'deki değerler kullanılabilir. Taşıt hızı 50 km/sa'ten büyükse tablo değerleri aşağıdaki formülle düzeltilerek kullanılır.

$$\begin{aligned} v \leq 50 \frac{km}{st} & \quad \mu_r = \mu_0 \\ v > 50 \frac{km}{st} & \quad \mu_r = \mu_0 [1 - 0,01(V - 50)] \end{aligned}$$

Bu formülde;

μ_r : Yuvarlanma direnci katsayısı

μ_0 : Tablo 4.1'den alınacak katsayı

V : Taşıtın hızı (km/sa)

4.1.2. Hava Direnci (D_h)

Taşıtın hareket doğrultusuna dik enkesit alanı üzerine ve harekete zıt yönde doğrudan doğruya etkiyen hava basıncı, taşıtın yüzeyi etrafındaki türbülanslı havadan kaynaklanan sürtünme, taşıtın tekerleklerinin etrafı, altı ve arkasında oluşan hava akımı, taşıt içindeki radyatör ve vantilatör tarafından oluşturulan hava akımı hava direncine sebep olur.



Hava direncini bulmak için aşağıdaki formül kullanılır:

$$D_h = \frac{KFV^2}{13}$$

Bu formülde;

D_h : Hava direnci (kg)

F : Taşıtın hareket doğrultusuna dik düzlem üzerindeki izdüşüm alanı (m²)

V : Taşıtın hızı (km/sa)

Taşıtın hareket doğrultusuna dik düşey düzlemdeki izdüşüm alanı için; $F = 0,9 (b.h)$ ifadesi kullanılabilir. Buradaki b ve h, metre cinsinden taşıtın genişliği ve yüksekliğidir.

Tablo 2. Çeşitli taşıt tiplerine göre K ve F değerleri.

Taşıt Tipi	K (kg.sn ² /m ⁴)	F (m ²)
Yarış otomobilleri	0,010-0,015	1,5-2,0
Normal otomobiller	0,015-0,030	1,5-2,6
Otobüsler	0,025-0,050	4,0-6,5
Kamyonlar	0,050-0,070	3,0-6,0

Havanın fazla rüzgarlı olması durumunda taşıtın hızının olduğu gibi alınması doğru sonuçlar vermeyebilir. Bu gibi durumlarda, rüzgarın taşıtın hareket yönünde esmesi halinde yukarıdaki formülde hız değeri olarak $V = (V_{\text{taşıt}} - V_{\text{rüzgar}})$; taşıtın hareket yönünün tersine esmesi durumunda ise hız değeri $V = (V_{\text{taşıt}} + V_{\text{rüzgar}})$ olarak alınmalıdır.

4.1.3. Eğim Direnci (D_e)

Eğimli bir yol kesimindeki taşıtın seyri sırasında eğim dolayısıyla maruz kaldığı dirençtir. Eğim direnci, taşıt ağırlığının veya kütesinin (Q), yuvarlanma yüzeyine paralel olan bileşenidir ($Q.\sin\alpha$). Çoğu zaman karşılaşıldığı üzere, α açısının küçük olduğu durumlarda $\sin\alpha \approx \tan\alpha$ olduğu kabul edilebilir. Bu sebeple, eğim direnci aşağıda verilen bağıntı ile hesaplanabilir:

$$D_e = Q . \tan(\alpha)$$

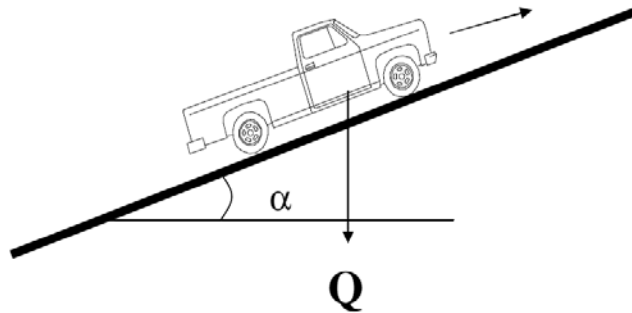
Bu formüle;

D_e : Eğim direnci (kg)

Q : Taşıtın kütlesi (kg)

α : Yolun yatayla yaptığı açı

Yolun yatayla yaptığı açının yerine yolun eğiminin yüzde şeklinde (% s) ifade edildiği durumlarda, eğim direnci direkt olarak ($D_e = Q . s / 100$) ifadesiyle hesaplanabilir. Eğimin yukarı yönde hareketi zorlaştırıcı, aşağı yönde ise hareketi kolaylaştırıcı etkisi vardır. Bu yüzden eğim yukarı yönde hareketi zorlaştırıcı, aşağı yönde ise hareketi kolaylaştırıcı etkisi vardır. Bu yüzden eğim yukarı yönde hareketi zorlaştırıcı, aşağı yönde ise hareketi kolaylaştırıcı etkisi vardır olarak alınmalıdır.



4.1.4. Kurp Direnci (D_k)

Yatay kurp kesimlerindeki seyir esnasında, taşıtın ön tekerlekleri taşıt eksenine göre belirli bir açı altında döndürülmek suretiyle hareket sağlanır. Kurp direnci, ön tekerleklerin yatay ekseninde döndürülürken kaplama yüzeyine temas ettiği noktalarda ortaya çıkar. Kurpun eğriliği ve taşıt hızı arttıkça kurp direnci de artış gösterir. Diğer bir deyişle, kurp direnci; kurp yarıçapı ile ters, taşıt hızı ile doğru orantılıdır. Kurp direncini bir bağıntı ile vermek oldukça zor olup bunun yerine belirli durumlardaki kurp direnci değerleri için çeşitli deney sonuçlarından yararlanılarak tablolar hazırlanmıştır. Aşağıdaki tabloda iyi bir asfalt kaplama üzerinde seyreden bir otomobilin maruz kaldığı kurp direnci değerleri, kurp yarıçapı ve hıza bağlı olarak gösterilmiştir.

Tablo 3. Değişik kurp yarıçapları ve hız değerlerine göre kurp direnci.

Kurp Yarıçapı(m)	Taşıt Hızı(km/sa)	Kurp Direnci(kg)
350	80	18
350	96	36
175	48	18
175	64	54
175	80	108

4.1.5. Eylemsizlik (İvme) Direnci (D_i)

Taşıtın hareketi sırasında hızlanması ve yavaşlaması ile ortaya çıkan bir direnimdir. Bilindiği gibi F , bir cisme uygulanan kuvvet; m , bir cismin kütlesi; a , ivmesi olmak üzere ($F = m.a$) ifadesi dinamiğin birinci prensibidir. Buna göre hız değişimlerinde ortaya çıkan F kuvvetine ivmelenme kuvveti denir ve motorun yenmesi gereken bir direnç doğurur. İvme direnci, taşıt hızlanırken motorun yenmesi gereken bir direnç olduğundan pozitif, taşıt yavaşlarken ise motora yardımcı bir direnç olduğundan negatif değer alır. Bu direnimin miktarı taşıtın ağırlığı ve ivmelenme değerine bağlı olup aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir:

$$D_i = \frac{Q}{g} \cdot a$$

Bu formülde;

D_i : Eylemsizlik veya ivme direnci (kg)

D_i : Taşıtın kütlesi (kg)

a : Taşıtın hızlanma veya yavaşlama ivmesi (m/s^2) (dv/dt).

g : Yer çekimi ivmesi ($9,81 m/s^2$)

4.2. MOTORLU TASITLARDA GÜÇ, ÇEKME KUVVETİ VE HAREKET

- Bir motorlu taşıtın gücü:

$$G_m = Z_{tr} V$$

- G_m = taşıtın motor gücü (kgm/sn)
- Z_{tr} = Yürütücü (motris) tekerleklerle gelen çekme kuvveti (kg)
- V = taşıtın hızı (m/sn)

Güçü HP (Buhar beygiri) ve hızı km/sa cinsinden bağıntı

$$G_m = \frac{Z_{tr} \cdot V \cdot n}{270}$$

Çekme kuvveti (kg) formülden çekilirse:

$$Z_{tr} = \frac{G_m \cdot 270}{V}$$

Z_{tr} , motris tekerlekleri çeviren kuvvettir. Bu kuvvetin motris tekerleklerle intikali ile normal koşullarda yol yüzeyi ile tekerlek lastikleri arasındaki sürtünme sebebiyle kayma olmayacağından, dönme ve böylece hareket sağlanmış olur.

$$Z_{tr} = \eta \cdot \frac{G_m \cdot 270}{V}$$

η = verimlilik katsayısı < 1.0

Motorlu taşıtların hareket edebilmesi için ilk koşul, çekme kuvvetinin harekete karşı dirençleri yenmesidir. Yani; $Z_{tr} \geq \text{Toplam Direnç} = \Sigma D$

$$Z_{tr} = D_y + D_h + D_e + D_k + D_i$$

*Diğer koşul:

Q, toplam ağırlıklı bir taşıtın duruş halinde iken motris tekerleklerine isabet eden Q_1 ve tekerlek lastiği ile yol yüzeyi arasındaki sürtünme katsayısı (f) ise, $(Q_1 \cdot f)$ “sürtünme (aderans) kuvveti” dir.

$$Q_1 \cdot f > \text{Toplam direnç}$$

Q : Taşıt ağırlığının motris tekerlere isabet eden kısmı, aderans ağırlığı (N).

- Genellikle arka tekerlekleri motris olan Ağır taşıtlarda $Q_1 = 2/3 \cdot Q$, Otomobillerde $Q_1 = 1/2 \cdot Q$; Arazi vitesi kullanılan taşıtlarda $Q_1 = Q$ alınır.
- f : Kayma-sürtünme katsayısı
- $Q_1 \cdot f$: Sürtünme (aderans) kuvveti (N)

*Taşıt hareketleri

- $Z_{tr} < \mu_0 \cdot Q < Q_1 \cdot f$ ise hiç hareket yok
- $\mu_0 \cdot Q < Z_{tr} < Q_1 \cdot f$ ise normal ilerleme
- $\mu_0 \cdot Q < Q_1 \cdot f < Z_{tr}$ ise patinajla ilerleme
- $Q_1 \cdot f < \mu_0 \cdot Q < Z_{tr}$ ise olduğu yerde patinaj
- $D_y = \mu_0 \cdot Q$ (yuvarlanma direnci)

ÖRNEKLER

Örnek 1: Motoru 120 BB gücündeki bir kamyonun bos ağırlığı $Q = 3000 \text{ kg}$ 'dır. Kamyon $V = 35 \text{ km/st'lik}$ bir hızla $s = 7\%$ eğimli bir rampayı çıkacaktır. Motor randıman katsayısı $\eta = 0,80$, yüzeydeki kayma sürtünme katsayısı $f = 0,50$, yuvarlanma direnci katsayısı $\mu_r = 0,020 \text{ kg/kg}$, kamyonun genişliği $b = 2,40 \text{ metre}$, yüksekliği $h = 2,80 \text{ metre}$, hava direnç katsayısı $0,075$ 'dir. Kamyonun arka tekerlekleri motris olduğuna göre:

a-) Taşıtın Z_{tr} çekme kuvvetini hesaplayınız.

b-) Taşıyabileceği faydalı yükü hesaplayınız (Q_F)

c-) Bu yük ile kamyonun hareket edip edemeyeceğini tahkik ediniz (NORMAL İLERLEME).

Çözüm 1:

$$Z_{tr} = \eta \cdot \frac{G_m 270}{V}$$

a-) Motor gücü ve hız belli olduğundan

$$Z_{tr} = \frac{0,80 \cdot 120 \cdot 270}{35} = 740,57 \text{ kg}$$

b-) Dirençler:

$$D_y = \mu_r \cdot Q = 0,020 \cdot Q \text{ (yuvarlanma direnci)}$$

$$D_h = \frac{KFV^2}{13} = 0,075 \cdot 0,9 \cdot 2,40 \cdot 2,80 \cdot \frac{35^2}{13} = 42,74 \text{ kg (hava direnci)}$$

$$D_e = (Q \cdot s / 100) \quad D_e = 0,07 \cdot Q = 0,07Q \text{ (eğim direnci)}$$

$$Z_{tr} = \text{Toplam Direnç} = 0,02 \cdot Q + 0,07 \cdot Q + 42,74 = 740,57 \text{ kg}$$

$$Q = 7753,67 \text{ kg} \Rightarrow \text{Faydalı yük: } 7753,67 - 3000 = 4753,67 \text{ kg}$$

c-) İkinci koşul kontrol edilmelidir.

$$\mu_0 \cdot Q < Z_{tr} = 740,57 < Q \cdot f \text{ ise normal ilerleme}$$

$$\mu_0 \cdot Q = 7753,67 \cdot 0,02 = 155,1 \text{ kg} < Z_{tr} < Q \cdot f = (2/3) \cdot 7753,67 \cdot 0,5 = 2584,56$$

$$\mu_0 \cdot Q < Z_{tr} < Q \cdot f \text{ normal ilerleme}$$

$$155,01 < 740,57 < 2584,56 \text{ hareket mümkündür.}$$

$$\mu_0 \cdot Q < Z_{tr} < Q \cdot f$$

Örnek 2: Motor randıman katsayısı $\eta = 0,8$, toplam ağırlığı $Q = 1500 \text{ kg}$ olan bir otomobil $V = 50 \text{ km/saat}$ hızla %6 eğimli bir yolda rampa yukarı giderken, yolda görüş uzunluğu yeterli olduğunda 3 sn içinde hızını $V \text{ km/saat'e}$ çıkararak, önde aynı yönde gitmekte olan taşıtı geçmiştir. Yapılan bu işlem sırasında 155 BB motor gücü gerekmiştir. Yuvarlanma sürtünme katsayısı 20 kg/ton, hava direnç katsayısı 0,0875 taşıtın genişliği 1.8 m, yüksekliği 1.45 m. kayma sürtünme katsayısı 0.5 olarak verildiğine göre taşıtın sollama manevrasındaki hızını hesaplayınız.

Çözüm 2:

$$\text{Kurba Direnci } D_k = 0$$

$$\text{Yuvarlanma direnci } D_y = 20 \text{ kg/ton} \cdot 1,5 \text{ ton} = 30 \text{ kg}$$

$$\text{Hava direnci } D_h = 0,0875 \cdot 0,9 \cdot 1,8 \cdot 1,45 \cdot V^2 / 13 = 0,0140 V^2$$

$$\text{Eğim Direnci } D_e = Q \cdot s / 100 = 1500 \cdot 0,06 = 90 \text{ kg}$$

$$\text{Eylemsizlik Direnci } D_a = (Q/g) \cdot (dv/dt) = (1500/9,81) \cdot ((V-50)/3,6)/3 = 14,158V - 707,9$$

$$\Sigma D = 0 + 30 + 0,158V^2 + 90 + 14,158V - 707,9$$

$$\Sigma D = 0,158 V^2 + 14,158V - 587,9$$

$$Z_{tr} = \eta * \frac{G_m * 270}{V}$$

$$Z_{tr} = 0,8 * \frac{.155 * 270}{V} = 33480/V$$

$$Z_{tr} = \Sigma D \quad 33480/V = 0,0158 V^2 + 14,158V - 587,9$$

$$33480 = 0,158V^3 + 14,158V^2 - 587,9V$$

V=60 için

V=65 için

V=70 için =>33480=33640,6 V=70 km/saat uygundur.