



Tekerlek ve Lastikler



Prof. Dr. Selim ÇETİNKAYA

ŞÇ

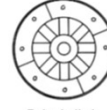
Tekerlek ve lastikler



Kütük kesiti



Tahtadan



Bakır halkalı



Demir halkalı



Lastik kaplı



Pnömatik



Balon

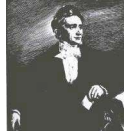


Çelik kuşaklı radyal

Tekerleğin gelişimi

Tekerlek ve lastikler...

- 1844 Charles Goodyear **vulkanize**¹ lastiği icat etti.
- 1888 John Dunlop pnömatik bisiklet lastiğini icat etti.
- 1911 Philip Strauss ilk başarılı iç tüplü otomobil lastiğini icat etti.
- 1903 the Goodyear ilk tubeless patentini aldı, ancak 1954'te Packard tarafından üretilebildi



Charles Goodyear 1800 - 1860

Vulkanizasyon yüksek sıcaklıkta sülfür veya eşdeğeri katkılarla lastiğin sertlik ve dayanımını artırma işlemi. Bu işlemle lastiğin yüzeyi de daha düzgün olur ve yapışkanlığı azalır.



John Boyd Dunlop 1840 - 1921

Tekerlek ve lastikler...

- Tekerlekler oldukça zorlu koşullarda çalışmaktadır.
- Sadece taşıtı desteklemekle kalmaz, ayrıca;
 - darbeleri absorbe eder,
 - aşırı sıcaklık değişimlerine dayanır,
 - dönüş, ivme ve frenleme kuvvetleriyle başa çıkar.

Tekerlek ve lastikler...

Lastiklerden beklenen fonksiyonlar:

- Taşıtın ağırlığını ve üzerindeki yükü taşımak
- Yüzey pürüzlülüğüne karşı taşıtı yastıklamak
- Yeterli tahrik ve frenleme kuvveti geliştirmek
- Yeterli yönlendirme ve doğrultu kararlılığı sağlamak

Lastikler niçin önemlidir?

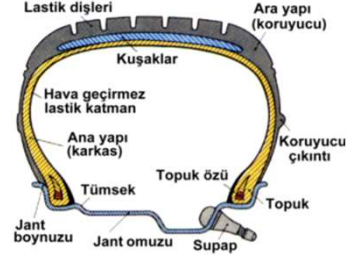
- Motor performans ve verimini büyük oranda etkiler.
- Şehirlerarası yolda, taşıtın yakıt tüketiminin yaklaşık yarısı lastiklerin yuvarlanmasına harcanmaktadır (diğer yarısı da aerodinamik kayıplara).
- Hatalı tasarım ölümcül olabilir.

Lastik kavramları

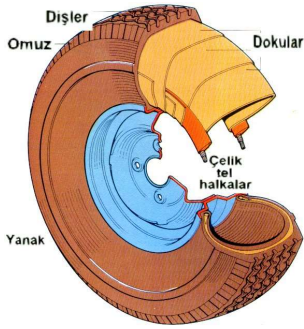
■ Sürtünme - tutunma

- Hızlanmak, frenlemek ve dönebilmek için (özellikle yağmurla, çamurda, karda) sürtünme gereklidir.
- Sürtünme taşıtı yavaşlatır!

Lastik terimleri



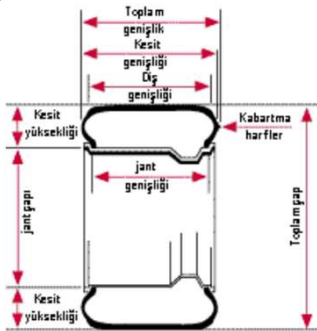
Lastik terimleri...



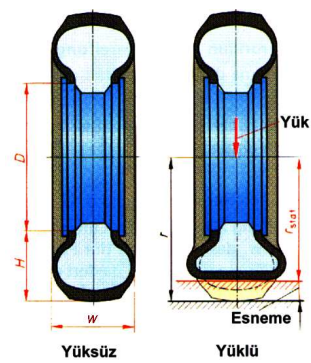
Lastik terimleri...

- **Jant:** Lastik ile aks sistemi arasında bulunan, jant çemberi ve göbekten oluşan dönen eleman
- **Kesit Genişliği (W):** 24 saat şişirilmiş olarak duran yeni bir lastiğin genişliği. Bu ölçü, normal yüzeyleri kapsamakta, koruyucu yan çıkıntıları kapsamamaktadır.
- **Kesit Yüksekliği (H):** Lastiğin janta oturma yüzeyi ile dışların dış çevresi arasındaki mesafe
- **Toplam Çap:** Kesit yüksekliğinin iki katıyla, jant anma çapının toplamı
- **Kesit Oranı (H/W):** Yeni bir lastikte, kesit yüksekliğinin kesit genişliğine oranı. (Kesit oranları otomobil lastiklerinde 0,80 - 0,40; ticari taşıtlarda 1,00 - 0,60 arasındadır. Oran küçüldükçe dönüş kararlılığı gelişmektedir.)
- **Jant Anma Genişliği:** Flanşın iki iç yüzeyi arasındaki mesafe
- **Kaçıklık (offset):** Jantın kampanaya tespit edildiği göbük kısmının tekerlek simetri düzlemine mesafesi

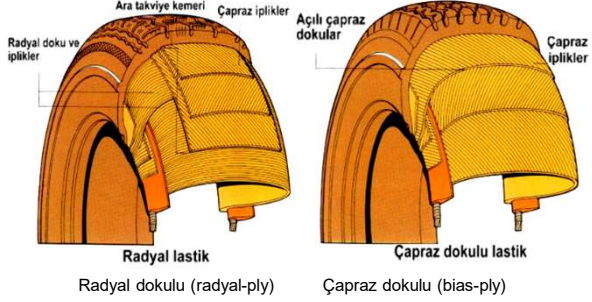
Lastik boyutları



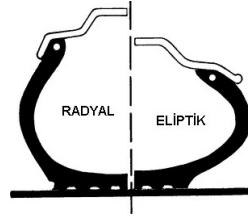
Lastik boyutları...



Lastiklerin yapısı



Kesit profili



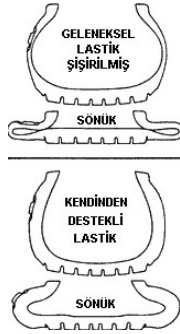
Eliptik

- Kalın yan duvarlar
- Kısa profil
- İyi yalıtım daha yüksek şişirme basıncına olanak sağlar
- Daha az yuvarlanma direnci
- Özel jant gerektirir.
- Jant sadece eliptik lastiğe uyur

Kesit profili...

Kendinden destekli:

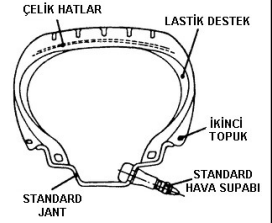
- Run-flat'ın ön tasarımı
- Kalın yan duvarlar
 - Patladığında kendinden destek sağlar.
 - Daha kalın
- Patlama uyarısı yok



Kesit profili...

Run-flat:

- Yeni üretim teknolojisi
- Kalın yan duvarlar ve iç destek
 - Patladığında biçimini büyük ölçüde korur.
 - Patlamadan sonra daha uzun süreyle izin verir.



Lastik işaretleri



Lastik işaretleri...

ISO gösterimi:

Lastiğin, kesit genişliği mm, jant anma çapı inch olarak ve aralarında bir sembol ile belirtilir.

Örnek: 185/65 R 15 89T

Burada;

- 185 : mm olarak kesit genişliği
- 65 : Kesit oranının 100 katı
- R : Radial, (B: bias belted, D: diagonal)
- 15 : inch olarak jant anma çapı
- 89 : Yük endeksi
- T : Hız limiti

Lastik işaretleri...

Diğer bazı işaretler

- M+S (ÇK) : Çamur ve kar lastiği
M+S/E : Çivili buz lastiği
AS (D.1.2) : Tarım traktörü lastiği, arka
M (A) : Askeri taşıt lastiği
TR (B.1) : Kamyon ve otobüs lastiği
NHS (C) : Karayolu dışı taşıt lastiği

Parantezlerdeki gösterimler, TS 662'ye göredir.



Örnek

| | |
|---------|---|
| LT | Light Truck (kamyonet) |
| 235 | Kesit genişliği, mm |
| 85 | Kesit oranı %85 doğru basınçta H/W oranı |
| R | Radial dokulu konstrüksiyon |
| 16 | Jant çapı, inch |
| 115/113 | Tek veya çift lastik kullanılmaması durumunda yük indeksi. 115, 1210 kg a denk gelmektedir. |
| N | Hız indeksi, 140 km/h'e eşit |



Lastik çapının hesaplanması

Örnek: 185/60R14 85H

Kesit yüksekliği= 185 mm x 0,60= 111 mm

İki adet yükseklik= 111 mm x 2= 222 mm

Jant çapıyla birlikte= 222 mm + 355,6 mm (14")= 577,6 mm

Lastiğin yaşı

- Lastiklerin, üretim tarihinden 5 yıl sonra kullanılmaması tavsiye edilmektedir.



Lastik boyut ve işaretleri

Binek lastikleri

| LASTİK EBADİ | YÜK ENDEKSİ | HIZ LİMİTİ | AZAMI HAVA | LASTİK EBADİ | YÜK ENDEKSİ | HIZ LİMİTİ | AZAMI HAVA |
|--------------|-------------|------------|------------|--------------|-------------|------------|------------|
| 155/80 R 12 | 76 | Q/S/T | 32 | 175/85 R 13 | 80 | Q/S/T | 36 |
| 145/80 R 13 | 74 | Q/S/T | 32 | 185/85 R 14 | 79 | Q/S/T/H | 36 |
| 155/80 R 13 | 79 | Q/S/T | 32 | 185/85 R 14 | 82 | Q/S/T/H | 36 |
| 165/80 R 13 | 83 | Q/S/T | 34 | 185/85 R 14 | 86 | Q/S/T/H/V | 36 |
| 175/80 R 14 | 88 | Q/S/T | 34 | 195/85 R 14 | 86 | Q/S/T/H/V | 36 |
| 185/80 R 14 | 91 | Q/S/T | 34 | 215/85 R 15 | 96 | Q/S/T | 36 |
| 155/70 R 12 | 73 | Q/S/T | 36 | 185/85 R 14 | 79 | Q/S/T/H | 36 |
| 155/70 R 13 | 76 | Q/S/T | 36 | 185/85 R 15 | 89 | Q/S/T/H | 36 |
| 165/70 R 13 | 79 | Q/S/T | 36 | 195/85 R 15 | 91 | Q/S/T/H/V | 36 |
| 175/70 R 13 | 82 | Q/S/T | 36 | 205/85 R 15 | 94 | Q/S/T/H/V | 36 |
| 185/70 R 13 | 86 | Q/S/T | 36 | 175/80 R 14 | 79 | H | 36 |
| 185/70 R 14 | 85 | Q/S/T | 36 | 185/80 R 14 | 82 | Q/S/T/H | 36 |
| 175/70 R 14 | 84 | Q/S/T | 36 | 195/80 R 14 | 86 | Q/S/T/H/V | 36 |
| 185/70 R 14 | 89 | Q/S/T | 36 | 185/80 R 15 | 84 | Q/S/T/H | 36 |
| 195/70 R 14 | 91 | Q/S/T/H | 36 | 195/80 R 15 | 88 | Q/S/T/H/V | 36 |
| 205/70 R 14 | 95 | Q/S/T | 36 | 205/80 R 15 | 91 | Q/S/T/H/V | 36 |
| 155/85 R 13 | 73 | Q/S/T | 36 | 225/80 R 16 | 96 | W | 36 |
| 165/85 R 13 | 77 | Q/S/T | 36 | 235/80 R 16 | 100 | V | 36 |
| 185/85 R 15 | 82 | V | 36 | 195/85 R 15 | 86 | Q/S/T/H/V | 36 |
| 205/85 R 15 | 88 | V | 36 | 205/85 R 15 | 91 | W | 36 |
| 215/85 R 16 | 93 | W | 36 | 195/80 R 15 | 82 | V | 36 |
| 205/80 R 15 | 86 | V | 36 | 195/45 R 14 | 77 | V | 36 |

Lastik boyut ve işaretleri...

Minibüs kamyonet lastikleri

| LASTİK EBADİ | YÜK ENDEKSİ | HIZ LİMİTİ | AZAMI HAVA | LASTİK EBADİ | YÜK ENDEKSİ | HIZ LİMİTİ | AZAMI HAVA |
|---------------|-------------|------------|------------|---------------|-------------|------------|------------|
| 175/75 R 16 | 101 | Q | 68 | 195/85 R 16 | 104 | Q | 65 |
| 185/75 R 16 | 104 | Q | 68 | 650 R 16 | 108/107 | P | 72 |
| 195/75 R 16 | 107 | Q | 68 | 700 R 16 | 117/116 | L | 80 |
| 205/75 R 16 | 110 | Q | 68 | 750 R 16 | 121/120 | L | 84 |
| 215/75 R 16 | 113 | Q | 68 | 750-16 | 113/112 | P | 80 |
| 225/75 R 16 | 113 | Q | 68 | 650-16 | 108/107 | P | 72 |
| 195/70 R 16 C | 98 | R | 65 | 700-16 | 113/112 | P | 80 |
| 205/70 R 16 C | 106 | Q | 65 | 750-16 | 116/114 | P | 84 |
| 225/70 R 16 C | 112/110 | P | 65 | 900-16 | 120/118 | P | 80 |
| 205/85 R 16 C | 102 | T | 65 | 670-13 | 99/98 | P | 47 |
| 195-14 | 106/104 | P | 64 | 750-14 | 93 | P | 47 |
| 155 R 12 C | 83/85 | R | 65 | 185 R 14 C | 99/97 | R | 65 |
| 195 R 14 C | 106/104 | P/Q/R | 65 | 185/75 R 14 C | 102 | Q | 65 |
| 165/70 R 14 C | 89 | R | 55 | 185/75 R 14 C | 102 | Q | 65 |
| 195/75 R 14 C | 102 | Q | 65 | | | | |

Lastik boyut ve işaretleri...

Hız sembolü

| Hız sembolü | Maksimum hız (km/h) | Hız sembolü | Maksimum hız (km/h) | Hız sembolü | Maksimum hız (km/h) |
|-------------|---------------------|-------------|---------------------|-------------|---------------------|
| A1 | 5 | C | 60 | P | 150 |
| A2 | 10 | D | 65 | Q | 160 |
| A2 | 10 | E | 70 | R | 170 |
| A3 | 15 | F | 80 | S | 180 |
| A4 | 20 | G | 90 | T | 190 |
| A5 | 25 | J | 100 | H | 210 |
| A6 | 30 | K | 110 | V | 240 |
| A7 | 35 | L | 120 | W | 270 |
| A8 | 40 | M | 130 | Y | 300 |
| B | 50 | N | 140 | ZR | > 240 |

Lastik boyut ve işaretleri...

Yük endeksi

| L1 | kg | L1 | kg | L1 | kg | L1 | kg | L1 | kg |
|----|-----|----|-------|----|-------|-----|-------|-----|--------|
| 70 | 335 | 80 | 460 | 90 | 600 | 100 | 800 | 110 | 1060 |
| 71 | 345 | 81 | 462.4 | 91 | 615.2 | 101 | 825.2 | 111 | 1090 |
| 72 | 355 | 82 | 475.2 | 92 | 630 | 102 | 850 | 112 | 1120 |
| 73 | 365 | 83 | 487.6 | 93 | 650 | 103 | 875.2 | 113 | 1150 |
| 74 | 375 | 84 | 500 | 94 | 670 | 104 | 900 | 114 | 1180 |
| 75 | 387 | 85 | 515.2 | 95 | 690 | 105 | 925.2 | 115 | 1210 |
| 76 | 400 | 86 | 530 | 96 | 710 | 106 | 950 | 116 | 1250 |
| 77 | 412 | 87 | 545.2 | 97 | 730 | 107 | 975.2 | 117 | 1280 |
| 78 | 425 | 88 | 560 | 98 | 750 | 108 | 1000 | 118 | 1325.2 |
| 79 | 437 | 89 | 580 | 99 | 775.2 | 109 | 1030 | 119 | 1360 |

Havasız lastikler (tweel - lekerlek?)

- Pnömatik olmayan lastik ve tekerlek kombinasyonu. Michelin tarafından şimdiki lastiklere güvenli ve verimli bir alternatif olarak üretildi.
- İş ve askeri araçlarda test ediliyor.
- GM ve Michelin'in 2024 yılında binek otomobillerinde kullanılacak havasız lastikleri piyasaya çıkarmayı planladıkları belirtiliyor.



Havasız lastikler...

Havasız lastiklerin seri imalatlarının yaklaştığı belirtiliyor. Hankook, iFlex lastiğini seri yüksek test aşamasına getirdiğini belirtti.



Havasız lastikler...

- Bridgestone'un havasız lastik konsepti.
- Üzerine dış açılmış bir lastik bant, plastik bağlarla ortadaki küçük alüminyum janta tutturuluyor.
- Lastiğin bağları, gerekli basıncı karşılamak için yeterince rijit, fakat yol pürüzlülüklerini aşarken de yeterince esnek.
- Düşey esneklik, ince dişleri bükmeden, iç ve dış parmaklar ters yönlere ilerliyor.



Havasız lastikler...

Avantajları:

- Dönüş yeteneği pnömatikten 5 kat daha iyi
- Yoldaki pürüzlülükleri iyi sönümler
- Patlama, sönme riski yok
- Dişler 2-3 kat daha uzun ömürlü
- Ağırlık mevcutlarla aynı



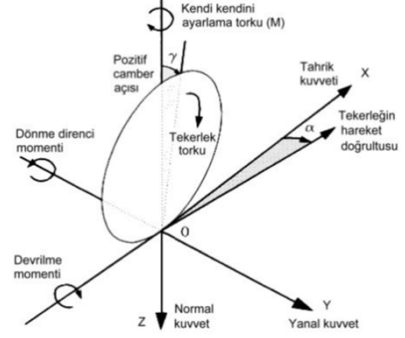
Havasız lastikler...

Dezavantajları:

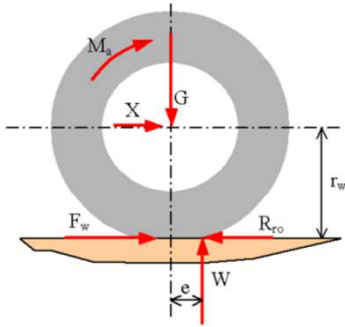
- 80 km/h üzerinde aşırı yol gürültüsü
- Yol hissi çok sert
- Montajı yeni makinaları gerektiriyor



Tekerlek eksen sistemi



Dinamik tekerleğin serbest cisim diyagramı



Dinamik tekerleğe etki eden kuvvetler

Düz yolda ve sabit hızda hareket halindeki bir tekerleğin yuvarlanma direnci için; tekerlek merkezine göre momentlerin toplamı:

$$M_a + R_{ro} \cdot r_w = F_w \cdot r_w + W \cdot e$$

$$M_a = F_w \cdot r_w$$

$$R_{ro} \cdot r_w = W \cdot e$$

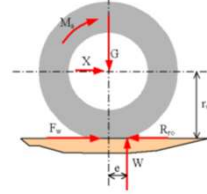
$$R_{ro} = W \cdot e / r_w$$

M_a : aks torku, Nm,

F_w : uygulanan tahrik kuvveti, N

e/r_w oranı, "yuvarlanma direnci katsayısı" olarak tanımlanmaktadır.

$$f_{ro} = e/r_w$$
$$R_{ro} = f_{ro} \cdot W$$



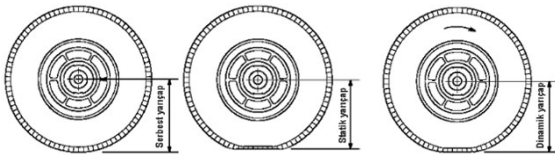
Tekerlek yarıçapı

Tekerlek serbest yarıçapı: Anma basıncında şişirilmiş tekerleğin serbest haldeki yarıçapı

Tekerlek statik yarıçapı: Taşın duruşu sırasında anma basıncında şişirilmiş ve anma yükü ile yüklenmiş tekerleğin merkezi ile zemin arasındaki mesafe

Tekerlek dinamik yarıçapı: Taşın hareketi sırasında anma basıncında şişirilmiş ve anma yükü ile yüklenmiş tekerleğin merkezi ile zemin arasındaki mesafe

Tekerlek yuvarlanma yarıçapı (efektif yarıçap): Taşın hareketi sırasında anma basıncında şişirilmiş ve anma yükü ile yüklenmiş tekerleğin kat ettiği belirli bir mesafenin yaptığı devir ve 2π 'ye bölünmesi ile hesaplanan yarıçap



Yuvarlanma direnci

"Yuvarlanma direnci birim mesafede tüketilen bir enerjidir ve yol yüzeyi ile tekerlek düzlemine paralel tüm temas kuvvetlerinin skalar toplamına eşdeğerdedir." (SAE J2452)

- Birimi [J/m] veya basitçe [N] dur, fakat kavramsal olarak, yuvarlanma direncini bir kuvvet olarak değil, mesafeye göre bir kayıp olarak algılamak daha iyidir.
- Yuvarlanma direnci esas olarak lastikteki visko elastik ısı dağılımına bağlıdır.
- Temas yüzeyindeki sürtünme ve lastik-jant sürtünmesi ile aerodinamik direnç de toplam yuvarlanma direncine (F_{ro}) etki eder.

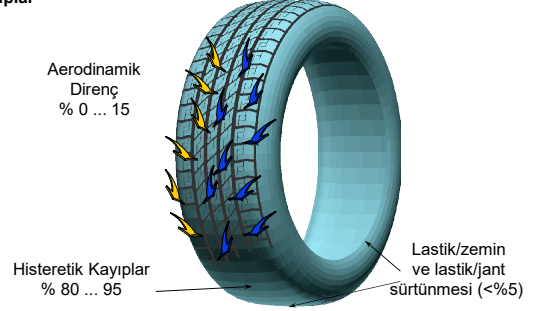
Yuvarlanma direnci...

Yuvarlanma direnci, taşıtın iç mekanik sürtünmeleri, lastiklerdeki deformasyon ve lastiklerin karayolu yüzeyi ile etkileşimleriyle ortaya çıkar.

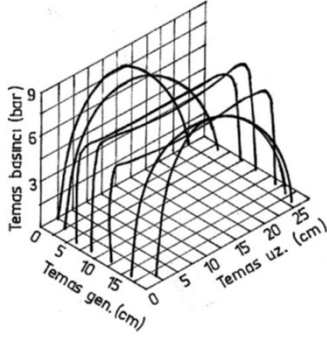
- Lastikteki deformasyonu karşılamak için gerekli kuvvet (toplam yuvarlanma direncinin %90'ı kadar)
- Lastik nüfuzu/karayolu yüzey sıkışması (%4 kadar)
- Lastik kayması ve tekerlek ve lastik çevresindeki hava sirkülasyonu (%6 kadar)

Yuvarlanma direncinin esasları

Kayıplar



Temas yüzeyindeki basınç dağılımı



Temas alanı

- Lastikler için temas alanı, taşıt ağırlığının lastik basıncına orandır.

- 2001 Ford Ranger



$$A = \frac{13722 \text{ N}}{206850 \text{ Pa}} = 0,0663 \text{ m}^2$$



- 2001 Ford Explorer



$$A = \frac{17307 \text{ N}}{206850 \text{ Pa}} = 0,0837 \text{ m}^2$$

$$A = \frac{17307 \text{ N}}{179264 \text{ Pa}} = 0,0965 \text{ m}^2$$



Yuvarlanma direncinin yakıt ekonomisine etkisi

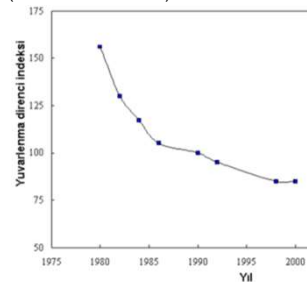
- Yuvarlanma direncinin yakıt ekonomisine etkisini anlamak için, Schuring (1988) kazanç faktörü (veya enerji oranı) tanımlamasını yapmıştır:

$$\text{Kazanç faktörü} = \frac{\text{Yak. tüketiminde azalma \%}}{\text{Yuv. direncinde azalma \%}}$$

- Otomobil ve kamyonetler için f_r 1:10 ve 2:10 arasındadır. Buna göre f_r deki % 10 iyileşme yakıt ekonomisinde % 1-2 iyileşme demektir.
- Kamyonlarda, f_r daha yüksek olabilir, tipik aralık 1:10 ve 3:10 dur. Bu nedenle kamyonların yakıt ekonomisi kazancı otomobillerinkinden daha yüksek olur.

Yuvarlanma direncinin yakıt ekonomisine etkisi...

- Lastik endüstrisi yuvarlanma direncini 1980'den bu yana önemli ölçüde düşürmüştür (1990'da indeks=100).



(Lowest Michelin F_r , high-volume construction at 80% of the T&RA 1.8 bar load, 2.6 bar, 80 km/h)

Yuvarlanma direnci ve diğer performanslar

- Tasarım değişiklikleri değişik performansları zıt yönlere etkileyebildiğinden, lastik tasarımı performansların dengelenmesini gerektirir.
- Orijinal ekipman pazarında bir lastik tek bir taşıt için tasarlanır ve lastik karakteristikleri sadece o taşıt için optimize edilir.
- Yedek parça pazarındaki lastiklerin, çeşitli taşıt tipleri için bir dengelenmiş performans seti sağlamak üzere (değişik kullanım karakteristikleri, vb.) tasarlanmasına ihtiyaç vardır.
- Yedek parça pazarı için tasarlanan lastiklerin yuvarlanma dirençleri genellikle belirli bir taşıt için tasarlanan lastiklerinkinden daha yüksektir.

Yuvarlanma direnci ve diğer performanslar...

- Yuvarlanma direnci lastik tasarım ve çalışma koşullarındaki bir çok faktörün etkisi altındadır.
- R_{ro} 'yu etkileyen faktörler:
 - Lastik kütlesi
 - Lastik formülasyonu
 - Şişirme basıncı
 - Hız
 - Ortam/Lastik sıcaklığı
 - Uygulanan döndürme torku
 - Yüzey pürüzlülüğü
 - Direksiyon açısı ve taşıtın camber/toe değerleri

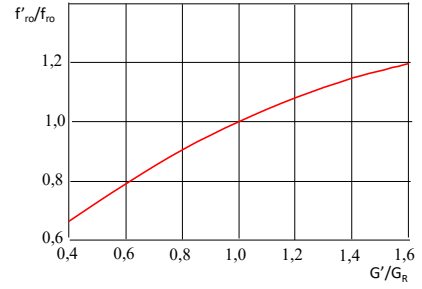
Yuvarlanma direnci...

Değişik yol yüzeyleri için yaklaşık yuvarlanma direnci katsayıları

| | Beton | Orta sert | Kum |
|----------|-------|-----------|------|
| Otomobil | 0,015 | 0,08 | 0,30 |
| Kamyon | 0,012 | 0,06 | 0,25 |
| Traktör | 0,020 | 0,04 | 0,20 |

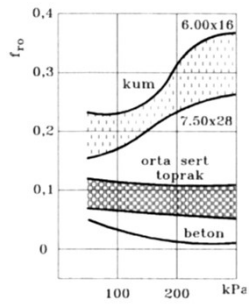
Yuvarlanma direnci...

Yükün yuvarlanma direnci katsayısına etkisi



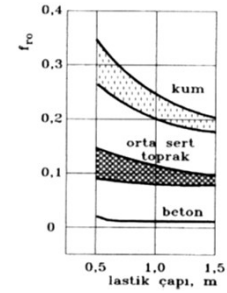
Yuvarlanma direnci...

Değişik yol yüzeyleri için yuvarlanma direnci katsayıları



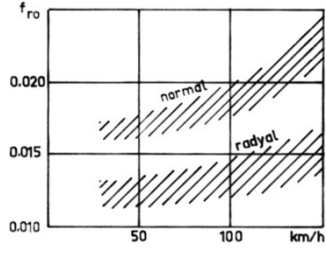
Yuvarlanma direnci...

Lastik çapının yuvarlanma direncine etkisi



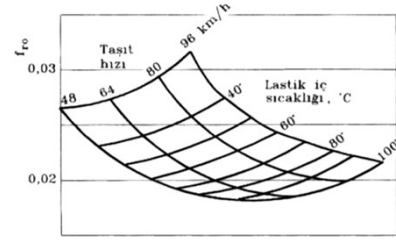
Yuvarlanma direnci...

Lastik tipine göre hızın yuvarlanma direnci katsayısına etkisi



Yuvarlanma direnci...

Hızın ve lastik iç sıcaklığının yuvarlanma direnci katsayısına etkisi



Yuvarlanma direnci...

- Yuvarlanma direncine birçok faktörün etki etmesi nedeniyle, daha basit yaklaşımlar kullanılmaktadır.
- Yuvarlanma direnci, sürtünme terimi olan **yuvarlanma direnci katsayısı** ile taşıtın karayolu yüzeyine dik ağırlığının çarpımı şeklinde belirlenmektedir.

Yuvarlanma direnci...

- Yuvarlanma direnci yaklaşık olarak:

$$R_{ro} = f_{ro} G \cos \alpha_g$$

- Eğimler genellikle küçük olduğu için, $\cos \alpha_g = 1$ kabul edilerek eşitlik daha da basitleştirilebilir:

$$R_{ro} = G f_{ro}$$

Yuvarlanma direnci...

- Karayolu taşıtları için yaklaşık yuvarlanma direnci katsayısı (f_{ro}):

$$f_{ro} = 0,01 \left(1 + \frac{V}{160} \right) \quad V: \text{km/h}$$

Yuvarlanma direnci...

- Yuvarlanma direncini yenmek için gerekli güç:

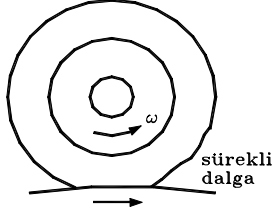
$$P_{ro} = R_{ro} \times v$$

R_{ro} yerine yazılır ve hız km/h olarak düzenlenirse;

$$P_{ro} = \frac{G f_{ro} V}{3,6 \times 10^3} \quad \begin{array}{l} P_{ro}: \text{kW} \\ G: \text{N} \\ V: \text{km/h} \end{array}$$

Yuvarlanma direnci...

Yüksek hızlarda sürekli dalga oluşumu



Tutunma kuvveti ve kayma

Hareket yönünde uygulanabilecek maksimum tahrik kuvveti:

$$F_{net} = F_t - R_{ro}$$

$$F_{net} = \mu_{romax} \cdot W$$

F_{net} : Tutunma kuvveti, N

μ_{romax} : Maksimum yuvarlanma tutunma katsayısı

Aks torkunun F_{net} kuvvetini geçecek düzeyde uygulanması durumunda, fazla tork tekerleğin patinaj yapmasına neden olur.

Tutunma kuvveti ve kayma...

Tekerlekle yol arasındaki kaymalı harekette tutunma kuvveti:

$$F_{net} = \mu_s \cdot W$$

μ_s : kayma halindeki tutunma katsayısı

Yuvarlanma sırasındaki tutunma katsayısı, kayma sırasındaki tutunma katsayısından daha yüksektir:

$$\mu_{romax} \geq 1,2 \mu_s$$

Buna göre, yuvarlanan bir tekerleğin zemine uyguladığı tahrik veya frenleme kuvveti, kayan bir tekerleğe oranla daha büyüktür.

Tutunma kuvveti ve kayma...

- Her zaman $\mu_{ro} > \mu_s$
- μ_{ro} ve μ_s yol koşullarına bağlıdır ve şu sıra ile azalır: kuru → karlı → buzlu
- μ_{ro} ve μ_s hız artışına bağımlı olarak azalır. Ancak, μ_s ıslak zeminde daha hızlı azalır.

Tutunma kuvveti ve kayma...

İvmelenme veya frenleme sırasındaki tutunma kuvveti hesabında, hareket yönündeki yük transferleri dikkate alınmalıdır.

μ_{ro} ve μ_s katsayıları lastiğin diş yapısı, diş derinliği, şişirme basıncı, yapısı ve yol koşullarına bağlıdır.

Düzgün ve kuru bir yolda en iyi tahrik kuvvetini dişsiz lastik sağlar.

Islak ya da buzlu bir yüzeyde dişsiz lastik son derece kullanışsızdır. Bu nedenle, birçok ülkede en az 1-2 mm'lik minimum diş derinliği yasal zorunluluktur.

μ_{ro} yağmurun hemen başlangıcında, yol yüzeyindeki tozların sürtünme azaltıcı etkisine bağlı olarak %50 kadar azalmaktadır. Yol yüzeyi tamamen ıslandığında, yeterince dişli olmayan lastikler kaymaya başlar.

Kayma sırasında, $\mu_{ro} = \mu_s = 0,1$ kadardır.

Tutunma kuvveti ve kayma...

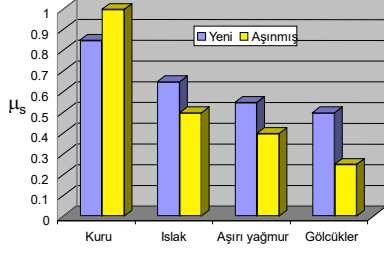
Lastiklerin yol üzerindeki tutunma katsayıları (μ_{ro})

| Taahıt hızı km/h | Lastiğin durumu | Yolun durumu | | | | Buzlu |
|---------------------|-----------------|--------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------|---------|
| | | Kuru | Islak, su derinliği ~0,2 mm | Şiddetli yağmur su de. ~1 mm | Su derinliği ~2 mm | |
| 50 | Yeni | 0,85 | 0,65 | 0,55 | 0,5 | 0,1 ve |
| | Aşınmış * | 1,0 | 0,5 | 0,4 | 0,25 | daha az |
| 90 | Yeni | 0,8 | 0,6 | 0,3 | 0,05 | " |
| | Aşınmış * | 0,95 | 0,2 | 0,1 | 0,05 | " |
| 130 | Yeni | 0,75 | 0,55 | 0,2 | 0 | " |
| | Aşınmış * | 0,9 | 0,2 | 0,1 | 0 | " |

*) 1 mm diş derinliği kalmıyca kadar aşınmış.

Tutunma kuvveti ve kayma...

Yeni ve aşınmış lastiklerde kayma



Tutunma kuvveti ve kayma...

■ Kayma, lastiğin ve yolun durumuna, taşınan yüke ve tahrik kuvvetine bağlıdır.

■ Tahrik kayması:

$$S_t = \frac{\theta - \theta_0}{\theta} = \frac{v_w - v_v}{v_w}$$

■ Frenleme kayması:

$$S_b = \frac{\theta_0 - \theta}{\theta_0} = \frac{v_v - v_w}{v_v}$$

θ : Kat edilen uzunluk boyunca tekerleğin açılma dönüş miktarı, rad,

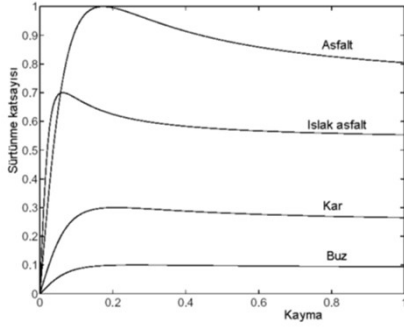
θ_0 : Aynı uzunluğu serbestçe dönen tekerleğin dönüş miktarı, rad,

v_w : Kat edilen uzunluk boyunca tekerleğin çevresel hızı, m/s,

v_v : Kat edilen uzunluk boyunca taşıtın hızı, m/s

Tutunma kuvveti ve kayma...

Çeşitli yol yüzeylerinin sürtünme katsayıları



Net tahrik ve frenleme çabası

Tutunma kuvveti F_{net} , hava direncini yenmeye, hızlanmaya veya yokuş tırmanmaya harcanmakta ve maksimum yol tutunma katsayısı tarafından sınırlandırılmaktadır.

$$F_{netmax} = W \cdot \mu_{ro,max} = (M_{max}/r_w) - R_{ro}$$

Maksimum kullanılabilir aks torku sınırlandırılmaktadır. Müsaade edilenden fazla tork uygulanırsa, tekerlek patinaja başlar ve

$$F_t = R_{ro} \text{ ve } F_{net} = 0$$

olur. Bu durumda tekerleğe etki eden tek kuvvet yuvarlanma kuvvetidir ve kayma (coasting) olur. Hareket X kuvveti yönündedir ve yuvarlanma kuvvetinin sayısal değerine uygun olarak oluşur.

Net tahrik ve frenleme çabası...

Maksimum net frenleme kuvveti için;

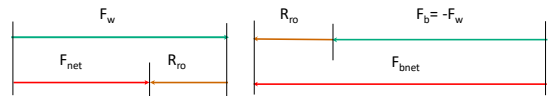
$$F_{bnetmax} = W \cdot \mu_{bmax}$$

$$F_{bnetmax} = (-M_{bmax}/r_w) - R_{ro}$$

Frenleme için, M_{bmax} 'ın değerinin negatif olduğuna dikkat edilmelidir. Bu eşitlikle, kaymasız güvenli frenleme için aks torku belirlenebilir.

Net tahrik ve frenleme çabası...

Net tutunma ve net frenleme kuvvetleri



a) Net tutunma

b) Net frenleme

ÖRNEK

Arka aks dinamik yükü 7092 N olan, arkadan tahrikli bir taşıtla ilgili olarak aşağıdaki değerler verilmiştir:

$$\begin{aligned} G &= 12 \text{ kN} & \mu_{ro} &= 0,65 \\ M_{emax} &= 110 \text{ Nm} & r_w &= 0,32 \text{ m} \\ i_d &= 4,4 & h_r &= \% 80 \\ f_{ro} &= 0,02 \end{aligned}$$

Bu taşıtta kullanılacak vites kutusunun en büyük dişli oranı ne olmalıdır?

ÇÖZÜM

Arka tekerleklerin kaymaması için;

$$\begin{aligned} F_t &\leq F_{net} + R_{ro} \\ F_{net} &= W_{rd} \cdot \mu_{ro} = 7092 \cdot 0,65 = 4609,8 \text{ N} \\ R_{ro} &= G \cdot f_{ro} = 12000 \cdot 0,02 = 240 \text{ N} \\ F_t &= 4609,8 + 240 = 4849,8 \text{ N} \end{aligned}$$

$$i_o = \frac{F_t r_w}{M_e \eta_r} = \frac{4849,8 \times 0,32}{110 \times 0,8} = 17,64$$

$$i_1 = \frac{i_o}{i_d} = \frac{17,64}{4,4}$$

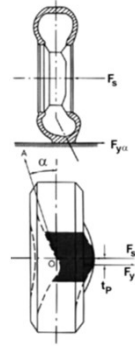
Problem

Ön aks dinamik yükü 6500 N olan, önden tahrikli bir taşıtla ilgili olarak aşağıdaki değerler verilmiştir:

$$\begin{aligned} G &= 12 \text{ kN} & \mu_{ro} &= 0,65 \\ M_{emax} &= 120 \text{ Nm} & r_w &= 0,33 \text{ m} \\ i_d &= 4,0 & h_r &= \% 85 \\ f_{ro} &= 0,02 \end{aligned}$$

Bu taşıtta kullanılacak vites kutusunun en büyük dişli oranı ne olmalıdır?

Kayma açısı ve yanal kuvvet



Bir tekerleğe yanal bir kuvvet (F_y) etki ettiğinde, temas yüzeyinde yanal bir tutunma kuvveti gelişir ve tekerlek, hareket doğrultusuna göre α kadar farklı bir düzlemde döner.

α açısına, "kayma açısı" denmektedir.

Kamber (camber) açısı sıfır olduğunda, temas yüzeyinde geliştirilen yanal kuvvete, **dönüş kuvveti** (F_{ya}) denmektedir.

Yanal kuvvet ile dönüş kuvveti ilişkisi, taşıtların doğrultu kontrolü ve kararlılığı bakımından çok önemlidir.

Kayma açısı ve yanal kuvvet...

Yanal kuvvet geliştirme yeteneği bir lastiğin en önemli özelliklerinden biridir. Bu özellik taşıtın yoldaki davranışını belirlediği gibi, sürücünün taşıtı değişik kuvvetlere karşı kontrol etmesini de sağlar.

Dönmeyen bir tekerlek de yanal kuvvet geliştirilebilir ki bu bir sürtünme kuvvetidir.

Yanal kayma, kaymaya bağlı olarak kat edilen yanal mesafenin, gerçekten kat edilen uzunluğuna mesafeye orandır.

$$ss = \frac{AY}{AX}$$

$$AX = v \cdot t \quad AY/AX = \tan \alpha \quad AY = v \cdot t \cdot \tan \alpha$$

$$ss = \frac{v \cdot t \cdot \tan \alpha}{v \cdot t} = \tan \alpha$$

Kayma açısı ve yanal kuvvet...

Yanal tutunma katsayısı;

$$\mu_y = \frac{F_y}{G_N}$$

F_y : yanal kuvvet, N

G_N : normal temas kuvveti, N

Yanal tutunma katsavıları

| Lastik tipi | Yol yüzeyi | | | | |
|--------------------|------------|-------|-------|-----------------------------|-------|
| | Kuru | Islak | Karlı | Kar ve çamurlu sic. <0°C | Buzlu |
| Normal veya radyal | 1,1 | 0,90 | 0,25 | 0,22 | 0,16 |
| M&S radyal | 0,95 | 0,80 | 0,28 | 0,25 | 0,18 |
| M&S/E normal | 0,90 | 0,25 | 0,28 | 0,28 | 0,22 |
| M&S/E radyal | 0,88 | 0,25 | 0,30 | 0,28 | 0,28 |

MS : mud and snow (winter) tire (çamur ve kar lastiği)
M&S/E: studded winter tire for ice (kış için çivili buz lastiği)

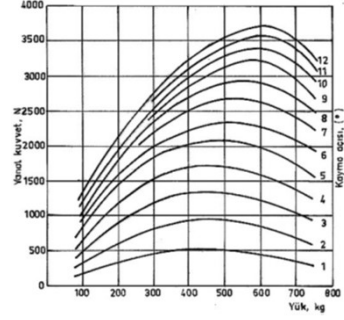
Kayma açısı ve yanal kuvvet...

Yanal kuvvete etki eden faktörler:

- Kayma açısı
- Yük
- Lastik şişirme basıncı
- Diş biçimi ve derinliği
- Diş malzemesi
- Lastik kesit (H/B- aspect) oranı ve genişliği
- Taç (crown) açısı
- Lastik gövdesinin yapısı
- Kamber açısı
- Yol yüzeyinin durumu

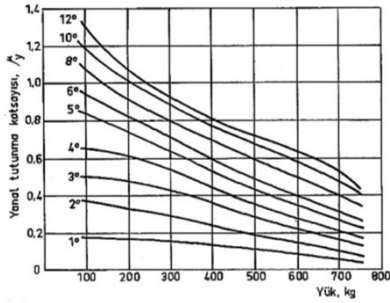
Kayma açısı ve yanal kuvvet...

Kayma açısının fonksiyonu olarak yanal kuvvet-yük değişimi (6.00x16 lastik, 2 bar basınçta)



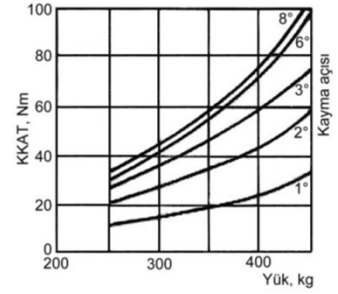
Kayma açısı ve yanal kuvvet...

Yanal tutunma katsayısı-yük ilişkisi, (6.00x16 lastik, 2 bar basınçta)



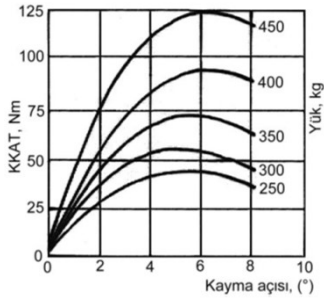
Kayma açısı ve yanal kuvvet...

Kendi kendini ayarlama torqu-yük ilişkisi (6.40x15 lastik, 1,7 bar basınç)



Kayma açısı ve yanal kuvvet...

Kendi kendini ayarlama torqu-kayma açısı ilişkisi (6.40x15 lastik, 1,7 bar basınç)



Kayma açısı ve yanal kuvvet...

Analitik bağıntılar

Uzunlamasına kuvvet;

$$F_x = \frac{C_{xs} s}{1-s} f(u)$$

yanal kuvvet

$$F_y = \frac{c_a \tan \alpha}{1-s} f(u)$$

$$f_u = \begin{cases} u(2-u) & u < 1 \\ 1 & u > 1 \end{cases}$$

$$u = \frac{\mu_{ro} W \left[1 - c_u V \sqrt{s^2 + \tan^2 \alpha} \right] (1-s)}{2 \sqrt{c_{xs}^2 s^2 + c_a^2 \tan^2 \alpha}}$$

Düşük hızlarda hızın etkisini ihmal edilirse;

$$u = \frac{\mu_{ro} W}{2c_a \tan \alpha}$$

C_{xs} : lastiğin uzunlamasına rijitliği, kN/m
 c_a : lastiğin yanal kuvvet katsayısı (dönüş rijitliği), kN/rad
 c_m : lastiğin tutunma rijitliği, kN/m
 μ_{ro} : tutunma katsayısı,
 V : taşıt hızı, km/h
 c_u : hızın etkisini temsil eden tutunma rijitliği, kN/m

ÖRNEK

Kuru asfalt bir yolda hareket halindeki bir aracın lastiği ile ilgili olarak, şu değerler bilinmektedir:

$$W = 10 \text{ kN} \quad \mu_{ro} = 0,8$$
$$c_a = 130 \text{ kN/rad} \quad c_{s} = 180 \text{ kN/m}$$
$$\text{Şişirme basıncı} = 350 \text{ kPa}$$

- a) Yanal kayma açısı 5° olduğunda, düşük bir hızda geliştirebileceği yanıl kuvveti,
b) $a = 5^\circ$, uzunlamasına kayma $s = \% 10$, hız $V = 90 \text{ km/h}$, $c_\mu = 0,004 \text{ kN/m}$ koşullarında geliştirebileceği yanıl kuvveti hesaplayınız.

ÇÖZÜM

Düşük hızlarda, hızın tutunmaya olan etkisi ihmal edilebilir.

$$u = \frac{\mu_{ro} W}{2c_a \tan \alpha} = \frac{0,8 \times 10}{2 \times 130 \times \tan 5^\circ} = 0,35$$

$u < 1$ olduğundan;

$$f(u) = u(2 - u) = 0,58$$

Yanal kuvvet;

$$F_y = c_a \tan \alpha f(u) = 130 \cdot 0,087 \cdot 0,58 = 6,597 \text{ kN}$$

ÇÖZÜM...

- b) 90 km/h hızda, hızın yol tutunma katsayısına etkisi ihmal edilemeyeceğinden

$$u = \frac{0,8 \times 10 \left[1 - 0,004 \times 90 \sqrt{0,1^2 + 0,087^2} \right] (1 - 0,1)}{2 \sqrt{180^2 \times 0,1^2 + 130^2 \times 0,087^2}} = 0,16$$

$u < 1$ olduğundan

$$f(u) = u(2 - u) = 0,294$$

yanıl kuvvet

$$F_y = \frac{c_a \cdot \tan \alpha}{1 - s} f(u) = \frac{130 \times 0,087}{1 - 0,1} 0,294 = 3,675 \text{ kN}$$



SON



ŞÇ