

# Taşıtlarda Fren Verimi ve Frenleme Mesafesi Analizi

Hüseyin BAYRAKÇEKEN \*, Mesut DÜZGÜN \*\*

\* Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, AFYON

\*\* Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü,  
06500 Teknikokullar, ANKARA

## ÖZET

Frenleme sırasında frenleme kuvvetinin doğrudan ölçümü oldukça zor olmakla birlikte, frenleme mesafesi ile fren sisteminin verimi üzerinde bilgi edinilebilmektedir. Fren mesafesinin tespitinde hassas deneylerin yapılması her zaman mümkün olamamaktadır. Taşıtlarla ilgili bir takım verilerin kullanılması ile yol deneyi yapmadan da yaklaşık olarak fren mesafesini ve frenleme verimini tahmin etmek matematiksel modellerle mümkündür. Bu çalışmada fren mesafesi ve fren veriminin analizi yapılarak, frenleme mesafesi ve fren verimi için kullanılan matematiksel modeller ile bu modeller arasındaki farklılıklar ortaya konulmuştur.

**Anahtar Kelimeler :** Frenleme, Fren Mesafesi, Fren Verimi, Taşıt Dinamiği, Taşıt Güvenliği

## Vehicles Brake Efficiency and Braking Distance Analysis

### ABSTRACT

While braking a car during real driving conditions, it is difficult to estimate the break force directly; however, an approximate braking distance determination is possible to obtain by using systems efficiency. Experimental investigation to determine the breaking distance can not be always possible accurately. It is possible to estimate the breaking distance and breaking efficiency without doing any road test by using some mathematical models in which several data about the properties of the car one utilized. In this study, the breaking distance and breaking efficiency were analyzed, Mathematical models from previous studies were compared and their differences were emphasized.

**Key Words:** Braking, Braking Distance, Brake Efficiency, Vehicle Dynamics, Vehicle Safety

### 1. GİRİŞ

Taşıtların güvenliğini etkileyen en önemli unsurlardan birisi, frenleme performansıdır. Durma mesafesi, frenleme performansının en önemli göstergelerinden biridir. Durma mesafesi frenleme sürecinin başlamasından itibaren taşıtların durmasına kadar alınan toplam yoldur. Frenleme performansına etki eden başlıca faktörler ise; taşıt ağırlığı, ön-arka tekerleklerin frenleme etkinliği, fren sisteminin dizaynı, fren hidrolik ve mekanik aksamının durumu, fren sistemini etkileyebilecek çevre şartları, lastiklerin durumu, araç üzerindeki yük, yol şartları, fren ayarları, tekerlek – yol arasındaki sürtünme ve tutunma katsayısıdır (1).

Frenleme mesafesi konusunda üretici firmalar seri üretime geçmeden önce yol deneyleri yapmakta fakat bu deneyler üretim sırasında imal edilen tüm taşıtlar için mümkün olamamaktadır. Frenleme sırasında değişken sayısının oldukça fazla olmasından dolayı, frenleme mesafesi ve frenleme verimini formüle etmek oldukça güçtür. Fakat bazı kabuller yapılarak matematiksel model haline dönüştürülebilir. Frenleme mesafesi ve fren verimi konusunda bir çok çalışma yapılmış, yavaşlama ivmesi, tepki zamanı, taşıt hızı, yol-tekerlek arasındaki sürtünme katsayısı gibi değişik faktörlere bağlı matematiksel modeller geliştirilmiştir (2,3,4). Taşıtların fren ve-

rimlerin tespiti için balata-kampana arasındaki sürtünme, taşıtların toplam frenleme kuvveti, ağırlık merkezi, tekerlek-yol arasındaki sürtünme (tutunma) gibi faktörlere bağlı olarak frenleme verimi modelleri oluşturulmuştur (4,5,6,7).

Bu çalışmada, fren sistemi verimi ve durma mesafesinin matematiksel olarak tespit edilmesini sağlayan formüller ve bu formüllerin aralarındaki farklar incelenmiştir.

### 2. FRENLEME VE DURMA MESAFESİ

Hareket halindeki bir taşıtların sahip olduğu kinetik enerji, frenleme esnasında servis frenleri ve varsa yavaşlatıcılar tarafından absorbe edilerek ısı enerjisine dönüştürülür. Servis frenlerinin sağladığı enerjiye destek olarak, transmisyon, hava direnci, yol ve tekerlekler arasındaki yuvarlanma direnci gibi diğer faktörleri de vardır.

$$S = aV_0 + bV_0^2 \quad (1)$$

Tepki zamanı  $a \cdot V_0$  olarak ifade edilmekte ve pedal kuvveti, sürücünün yeteneği ile, uygulanan fren kuvvetine karşı fren sisteminin gösterdiği tepkiye bağlıdır.  $b \cdot V_0^2$  yavaşlama ivmesini ifade etmektedir. Durma mesafesinin kısa olması için yavaşlama ivmesinin büyük değerlerde olması gerekmektedir(2).

$$a_y = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{(V_s - V_0)}{\Delta t} \quad (2)$$

Frenleme hareketinde, reaksiyon süresince ( $t_r$ ) araç, sabit hızla belirli bir yol kat ettikten sonra, frenleme başlangıcından duruncaya kadar geçen süre olan ( $t_s$ ) süresinde de yol almaktadır (Şekil 1). Frenleme sırasında alınan toplam yol ( $S$ ), bu sürelerde alınan yolların toplamıdır.

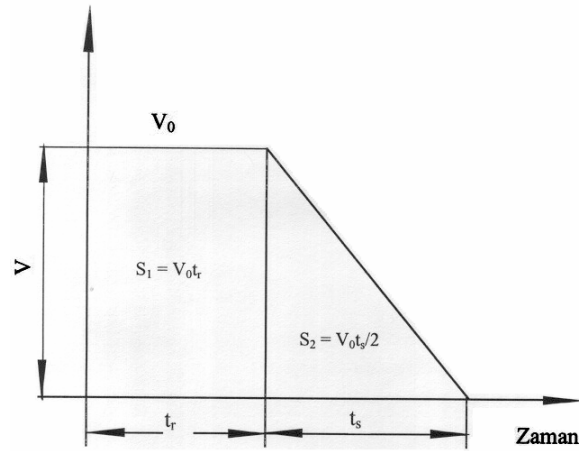
$$S = V_0 t_r + \frac{V_0 t_s}{2} \quad (3)$$

Burada;  $t_s$  yerine  $\Delta t$  yazar ve bunu hız ve ivme cinsinden ifade edilirse,

$$S = V_0 t_r + \frac{V_0^2}{2a_y} \quad (4)$$

Hız ile durma mesafesi arasındaki ilişki elde edilir.

Frenleme kinetiği incelendiğinde sürücünün frene basması ile fren basıncının oluşması ve bunun yavaşlamaya dönüşmesi, iç içe geçen bir kısım olaylara neden olur (Şekil 2). Sürücünün engeli gördükten sonra frene basıncaya kadar bir süre geçer ( $t_r$ ), frene basıldıktan sonra pedal kuvveti ( $F_p$ ) artmaya başlar. Bunun fren sistemine aktarılması için bir gecikme zamanı ortaya çıkar ( $t_b$ ).

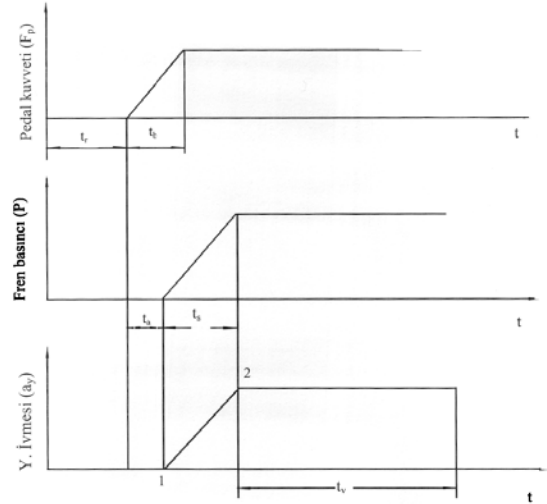


Şekil 1. Hız - zaman grafiği

**Kabuller;** Fren sistemi tepki süresi ( $t_a$ ) sonunda balatalar, kampana veya disk yüzeyi ile temas etmekte-

dir. Bu süre içerisinde yavaşlama ivmesi lineer olarak değişmekte ve frenleme momenti artmaktadır. Tepki süresinin sonunda pedal kuvveti sabit kabul edilmekte ve tekerleklerde kızaklama meydana gelebilmektedir. Tam frenleme süresi olan ( $t_v$ ) boyunca yavaşlama ivmesi sabit kalmaktadır. Pratikte pedal kuvveti değişimi lineer eğriden farklı özellik göstermektedir. Lineer olmayan yavaşlama ivmesinde durma mesafesi % 0.5-1 daha fazla olmaktadır(6). Pedal kuvvetinde artış ( $t_b$ ) zamanında olmaktadır (Şekil 2).

Tehlikeyi gördükten sonraki; reaksiyon zamanı, fren sisteminin tepki süresi ve maksimum frenleme ivmesi için gerekli olan fren basıncındaki artış sürelerinin toplamının yarısı kadar bir zamanda, büyük miktarda bir yavaşlama ivmesi meydana gelmediğinden bu süreler kayıp zaman olarak değerlendirilmektedir ( $t_i = t_r + t_b/2$ ). Reaksiyon süresi; engelin görülmesiyle, pedala basmaya karar verme ve basma arasında geçen süredir. Bu süre kişisel ve çevre faktörlerine bağlı olarak 0,3-0,7 s arasında değişmektedir. Fren cevap ve basınç artış süreleri ise, taşıtın türüne ve özelliklerine bağlı olarak 0,36-0,54 s arasında değişmektedir(3).



Şekil 2. Zaman bağlı olarak pedal kuvveti, fren basıncı, yavaşlama ivmesi değişimi

Frenlemenin başlamasından önce, yaklaşık 1s'lik reaksiyon süresine göre belirli frenleme ivmeleri için durma mesafeleri Çizelge 1'de görülmektedir.

Çizelge 1. Bir saniye kayıp süre için durma mesafeleri (7)

İvme ( $a_y$ ) m/s <sup>2</sup>	Frenleme öncesi taşıt hızı (km/h)									
	50	60	70	80	90	100	120	140	160	180
	1 s reaksiyon süresinde alınan yol (m)									
	14	17	19	22	25	28	33	39	44	50
Toplam durma mesafesi (m)										
4,4	36	48	62	78	96	115	160	210	270	335
5	33	44	57	71	87	105	145	190	240	300
5,8	30	40	52	65	79	94	130	170	215	265
7	28	36	46	57	70	83	110	145	185	230
8	26	34	43	53	64	76	105	135	170	205
9	25	32	40	50	60	71	95	125	155	190

Durma süresi ( $t_d$ ) ve durma mesafesi (S);

$$t_d = t_1 + \frac{V_0}{a_y}, \quad S = V_0 t_1 + \frac{V_0^2}{2a} \quad (5)$$

Durma mesafesi için yaklaşık uzaklığı belirleyebilmek için tahmin yapmayı sağlayan sayısal eşitlikler de kullanılmaktadır. Örneğin; % 40 frenleme oranı ve 1.085 s reaksiyon süresi için, S durma mesafesi,  $V_0$  taşıt hızı olmak üzere

$$S \cong \left( \frac{3V_0}{10} \right) + \left( \frac{V_0}{10} \right)^2 \quad (6)$$

şeklinde (3). Denklemdaki katsayılar (1) denkleminde

$$a = \frac{3}{10}, \quad b = \frac{1}{100}$$

olarak

Çizelge 2. Dü:

Hız (km/h)	Frenleme mesafesi (m)	Yavaşlama mesafesi (m)	Totol durma mesafesi (m)	Frenleme mesafesi (m)	Yavaşlama mesafesi (m)	Totol durma mesafesi (m)
32	6,7	7,6	14,3	12,2	18,9	31,1
48	10,1	16,8	26,9	28,0	38,1	66,1
64	13,4	32,0	45,4	50,3	63,7	114,0
80	16,8	57,1	73,9	77,7	94,5	172,2
97	20,1	91,4	111,5	112,8	132,9	244,7
113	23,5	138,1	161,6			
129	26,8	198,1	224,9			

tanımlanmıştır. Düzgün ve kuru bir otoyoldaki yaklaşık durma mesafeleri Çizelge 2’de görülmektedir (reaksiyon süresi 3/4 s için).

Fren performansının en önemli göstergesi, frenlemeden sonra sağlanan kısa bir durma mesafesidir. Bu da maksimum yavaşlama ivmesi ile mümkündür. Frenleme verimini % 100 kabul ederek hareket denklemini uygulandığında yaklaşık durma mesafesi, reaksiyon mesafesi göz önüne alınmadığı durumda

$$V_s^2 = V_0^2 - 2a_y S \quad (7)$$

olur. Durma anında son hız sıfır olacağından,

$$S = \frac{V_0^2}{2a_y} \quad (8)$$

elde edilir. Yavaşlama ivmesi g cinsinden ifade edilirse (4),

$$S = \frac{V_0^2}{2g} = \frac{V_0^2}{2 \times 9,81} \cong \frac{V_0^2}{20} \text{ (m) minimum}$$

durma mesafesi elde edilir.

$$S = \frac{0,28V_0^2}{2 \times 9,81} = 0,004V_0^2 \text{ (m)} \quad (9)$$

Yol-tekerlek arasındaki sürtünme katsayısı dikkate alındığında formül; Macnabb ve arkadaşları, (8) tarafından

$$S = \frac{V_0^2}{(254\mu)} \quad (10)$$

Çizelge 3. 100 km/h hız için tırnak derinlikleri ve ıslak zeminde fren mesafeleri (10)

Tırnak derinliği (mm)	8	4	3	2	1
Frenleme mesafesi (m)	70	82	87	97	118
Her mm aşınıda Fren mesafesi artışı (%)	4	7	15	30	

şeklinde önerilmiştir.

Tekerlek fren torkları, tekerlekle yol arasında frenleme veya tutunma kuvvetleri oluşturur. Frenleme kuvvetinin dinamik aks yüküne oranı “ tutunma katsayısı” olarak tanımlanır. Tutunma katsayısı değeri, tekerlekle yol arasındaki sürtünmeye bağlıdır ve hem frenleme kuvveti hem de dinamik yüke göre değişir. Tutunma katsayısı, frenleme anında tekerleğin tam kilitlenmeden önceki değeridir. Tutunma katsayısı, ancak tekerlek kilitlendiği andaki sürtünme katsayısına eşit değerdedir (9).

Çizelge 3’de farklı tekerlek tırnak derinliğinde ıslak zeminde durma mesafeleri verilmiştir. Zeminde oluşan su katmanları üzerinde hareket eden eski ve yeni tekerleklerin verdiği tutunma katsayıları Çizelge 4’de görülmektedir.

Çizelge 4. Değişik yol şartlarında tutunma katsayıları (7)

Taşıt hızı (km/h)	Tekerlek Durumu	Yol durumu (kuru)	Yol durumu 0,2 mm su	Yol durumu 1 mm su	Yol durumu 2 mm su	Buzlu Yol
50	Yeni	0,85	0,65	0,55	0,5	0,1 ve daha düşük
	Eski	1	0,5	0,4	0,25	
90	Yeni	0,8	0,6	0,3	0,05	
	Eski	0,95	0,3	0,1	0,05	
130	Yeni	0,75	0,55	0,2	0	
	Eski	0,9	0,2	0,1	0	

Taşıt hızı yüksek veya lastik tırnak derinliği az ise, taşıt su birikintisinden geçerken suyun lastik profilinde bulunan kanallardan dışarı atılması zorlaşır. Tahrik ve özellikle frenleme esnasında lastik altından dışarı atılamayan su, tekerlekle zeminin ilişkisinin kesilmesine sebep olur. Bu durum, taşıtın kararlılığını bozarak emniyetli sürüşü ortadan kaldırır. Frenleme mesafesi uzar.

Frenleme mesafesinin pedal kuvvetine göre belirlenmesinde aşağıdaki eşitlik kullanılmaktadır (9).

$$S = \left( \frac{V_0}{3,6} \right)^2 \left( \frac{1}{2a_{y,x}} \right) = \frac{V_0^2}{26a_{y,x}} \quad (14)$$

Çizelge 5’de farklı yaklaşımlara bağlı olarak fren mesafesi formülleri görülmektedir.

Formüllerde reaksiyon süresi hariçtir. Yaklaşık frenleme mesafesi (1)’deki gibi ifade edilebilir.

Çizelge 5. Frenleme mesafesi formüllerinin karşılaştırılması

Formül No	Formül	Taşıt özellikleri	Açıklama	Frenleme mesafesi (m)
1	$S \approx \left( \frac{V_0}{10} \right)^2$	$V_0 = 90 \text{ km/h}$	Yaklaşık frenleme mesafesi	81
2	$S = \frac{V_0^2}{2a_y}$	$V_0 = 25 \text{ m/s}$ $a_y = 3,85 \text{ m/s}^2$	Yavaşlama ivmesine göre	81
3	$S = \frac{V_0^2}{(254\mu)}$	$V_0 = 90 \text{ km/h}$ ( $\mu = 0,4$ )	Sürtünme katsayısına göre	80
4	$S_a = 0,189e^{(-0,01pk)}$ $S_b = 1,456e^{(0,001pk)}$ $S = S_a (V_0)^{S_b}$	$V_0 = 90 \text{ km/h}$ ( $pk = 175 \text{ N}$ )	Pedal kuvvetine göre	81
5		$V_0 = 90 \text{ km/h}$	Minimum durma mesafesi	32,4
6	$S = \frac{0,004V_0^2}{250\eta}$	$V_0 = 90 \text{ km/h}$ ( $\eta = 0,4$ )	Hız ve fren verimi	81
7	$S = \frac{V_0^2}{26a_{y,x}}$	$V_0 = 90 \text{ km/h}$ $a_y = 5,5 \text{ m/s}^2$ $x = 0,7$	Hız, ivme ve iyilik derecesine göre	81

$$S_a = 0,189e^{(-0,01pk)} \quad S_b = 1,456e^{(0,001pk)} \quad (11)$$

$$S = S_a (V_0)^{S_b} \quad (12)$$

Taşıt hızı ve fren verimine bağlı olarak mesafe(5):

$$S = \frac{V_0^2}{250\eta} \quad (13)$$

Ölçülen ivme ve uygun bir x iyilik derecesiyle erişebilen fren mesafesi aşağıdaki gibidir.

Yavaşlama ivmesine bağlı olarak (2) nolu, yol-tekerlek arasındaki sürtünme katsayısını dikkate alarak (3)’nolu formül kullanılabilir. Pedal kuvvetine göre frenleme mesafesinin tespit edilmesinde (4)’nolu formül kullanılabilir. (5) nolu formül minimum frenleme mesafesini göstermektedir. Fren verimi ne göre (6) ve yavaşlama ivmesi ile iyilik derecesine bağlı olarak da (7) nolu eşitlikler kullanılabilir.

Fren verimi ve durma mesafesi arasındaki ilişki taşıt hızına bağlı olarak Çizelge 6'da görülmektedir.

kemmel bir kavrama teması olmaması ve çok etkili olmayan fren sistemleridir (13). Bir fren verimi yaklaşımı,

Çizelge 6. Taşıt hızı ve fren verimine göre durma mesafesi değişimi(4)

Taşıt hızı (km/h)	Farklı fren verimlerine göre durma mesafeleri (m)					
	% 100	% 90	% 80	% 70	% 60	% 50
10	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
20	1,6	1,8	2,0	2,3	2,7	3,2
30	3,6	4,0	4,5	5,1	6	7,2
40	6,4	7,1	8,0	9,1	10,7	12,8
50	10	11,1	12,5	14,3	16,7	20,0
60	14,4	16,0	18,0	20,6	24,0	28,8
70	19,6	21,8	24,5	28	32,7	39,2
80	25,6	28,4	32	36,6	42,7	51,2
90	32,4	36	40,5	46,3	54	64,8
100	40	44,4	50	57,1	66,7	80

### 3. FREN VERİMİ

Aracın durma mesafesine etkiyen faktörlerden biriside fren verimidir. Fren verimi, frenleme kuvvetinin taşıt ağırlığına oranı olarak tanımlanır. Frenleme ile araç tekerleklerinin hareketine zıt bir kuvvet oluşturulur. Bu kuvvet, aracı durdurmak, ya da hızını azaltmak için uygulanan direnç olup "Frenleme kuvveti" olarak tanımlanır (9). Değişik fren verimi yaklaşımları mevcuttur. Fren verimi;- Fren donanımına uygulanan kuvvet, Tekerlek üzerindeki yük, Tekerlek yarıçapı, Fren kampanası veya diskinin ölçüleri, Frenleme yüzeyleri arasındaki sürtünme katsayısı, Yol ile lastik arasındaki sürtünme katsayısına bağlı olarak değişir.

Günümüz otomobillerinde bulunan fren donanımlarının verimleri, Çizelge 7'de görülmektedir. Fren verimini etkileyen faktörlerin çok sayıda olması nedeniyle çizelgedeki değerler ortalama değerler olup taşıtların fren sistemlerinin ulaşması gereken en az değerlerdir.

Çizelge 7. Çeşitli fren sistemlerinin yaklaşık frenleme verimleri (5)

Fren Tipi	Frenleme verimi (%)
Hidrolik Frenler	80 - 70
Mekanik Frenler	80 - 60
Havalı frenler	75 - 50
Römorklu aracın hava frenleri	70 - 45
Vakum yardımcı güç frenleri	70 - 50
Römorklu aracın vakum yardımcı frenleri	70 - 45

Yukarıda sunulan fren verimleri, verime etkiyen faktörlerin değişmesiyle birlikte değişir. Örneğin tekerlek üzerindeki yük ile tekerlek yarıçapı büyüdükçe belirli bir frenleme ve yavaşlatma oranı sağlayabilmek için donanıma uygulanacak basınç ve kuvvetlerin de artırılması gerekir. Diğer taraftan sürtünme katsayısının artırılması ile de fren kuvvetinde azalma sağlanabilir(12).

Frenleme kuvveti, frenleme yapılan aracın toplam ağırlığına eşitse buradaki frenleme verimi % 100'dür. Fakat frenleme verimi uygulamada % 100'den küçüktür. Bunun sebebi tekerlekle yol arasında mü-

sürtünen yüzeyler arasında meydana gelen sürtünme kuvvetinin düşey yüklere oranıdır(4).

$$\eta = \frac{F_d}{N} \quad (15)$$

Otomobillerde ön tekerlek frenleri arkaya oranla daha büyük bir frenleme kuvveti oluşturacak şekilde düzenlenirler. Frenleme sırasında taşıtın arka tarafından öne doğru yük transferi olmaktadır. Bu bakımdan ön frenlerin yaklaşık % 77, arka frenlerin ise % 23 oranlarında frenleme kuvveti ortaya koymaları istenmektedir. Taşıtın önden çekişli olması, taşıt üzerindeki yük gibi frenleme performansını etkileyen faktörlere bağlı olarak 23/77 oranında değişiklikler olabilmektedir(14).

Fren verimi yol testleri veya aracın dizaynı ile ilgili bilgilere bağlı olarak da hesaplanabilir. Fren verimi ( $\eta$ ), ön ve arka aks için şu şekilde belirlenebilir (6).

Ön aks için;

$$\eta_o = \left( \frac{a_y}{\mu} \right)_o = \frac{1 - \Psi}{1 - \Phi - \mu\chi} \quad (16)$$

Arka aks için;

$$\eta_a = \left( \frac{a_y}{\mu} \right)_a = \frac{\Psi}{\Phi + \mu\chi} \quad (17)$$

Bu formüllerdeki  $\Phi$  değeri için aşağıdaki yaklaşım önerilmiştir (6)

$$\left( 1 - \mu\chi - \frac{1 - \Psi}{\eta_{\min}} \right) \leq \Phi \leq \left( \frac{\Psi}{\eta_{\min}} - \mu\chi \right) \quad (18)$$

Diğer bir fren verimi yaklaşımı da, aracın hareket halinde sahip olduğu kinetik enerjinin frenleme ile yapılan işe eşitlenmesi ile elde edilir(4).

$$F \times S = \frac{1}{2} m V_0^2 \quad (19)$$

Kütle yerine ağırlık yazıldığında duruncaya kadar alınan yol;

$$S = \frac{G}{F} \times \frac{V_0^2}{2a_y} \quad (20)$$

Olur. Fren verimi  $\eta = \frac{F_x}{N}$  tanımlanmasıyla,

$$\eta = \frac{V_0^2}{2a_y S} \quad (21)$$

elde edilir. Hızın m/s'ye dönüştürülmesi ile

$$\eta = \frac{(0,28V_0)^2}{2 \times 9,81 \times S} = 0,4 \frac{V_0^2}{S} \%$$

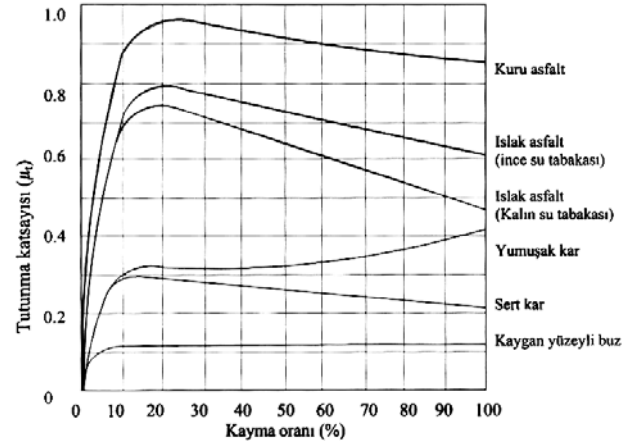
Fren verimini tespit etmek için kullanılan bir başka yöntemde, doğrusal yöndeki frenleme kuvvetinden ve taşıt ağırlığından yararlanılır(7).

$$z = \frac{F_x}{N} \quad (22)$$

$F_x$  değeri frenlemenin başlamasıyla sonu arasında Şekil 3'deki gibi bir değişim gösterir. Tekerleğin tam kilitlenme anındaki  $z$  değerine  $z_{max}$  adı verilir. Fren verimi

$$\eta = \frac{z_{max}}{\mu} \quad (24)$$

şeklinde elde edilir.



Şekil 3. Kaymaya bağlı tutunma katsayısı değişimi (2)

Şekil 3'de tutunma katsayısının, kaymaya bağlı değişimi görülmektedir. % 5 kaymaya kadar, kuvvet kayma ile orantılıdır. % 5-10 kayma bölgesinde doğrusallık giderek bozulur. % 12-20 bölgesinde, tutunma kuvveti ve frenleme kuvveti maksimum değerine ulaşır. Matematiksel modellerin bir çoğu bu bölgeye göre oluşturulur. Kaymanın artışına paralel olarak tutunma katsayısı azalmaktadır ve kaymanın 1 olduğu durumda  $\mu_t$  değişerek  $\mu$  halini almaktadır. Frenleme şartlarının, frenleme zamanı ve durma mesafesine etkisi çeşitli hızlara göre Çizelge 8 görülmektedir.

Fren verimi genel olarak frenleme kuvvetinin taşıt ağırlığına oranı olarak ifade edilmesine rağmen, balata-kampana (Disk) arasındaki sürtünmeye bağlı olarak, fren verimi tespit edilebilir (1). Fren verimi, fren-

Çizelge 8. Frenleme şartlarının, frenleme zamanı ve mesafesine etkisi (7)

Frenleme şartları			Taşıt hızı ( $V_0$ ) (20 km/h)		
Sürtünme katsayısı $\mu$	Frenleme faktörü $z_{max}$	Yavaşlama ivmesi $a_y$	Ortalama ivme $a$	Toplam frenleme zamanı $t$	Fren mesafesi $S$
0,22	0,20	1,96	1,72	3,26	10,2
0,44	0,40	3,92	3,06	1,83	6,2
0,67	0,60	5,88	2,70	1,58	5,2
0,89	0,80	7,84	2,42	1,41	4,5

Çizelge 9. Fren verimi formüllerinin karşılaştırılması

Sürtünme katsayısı	Formül no	Fren verimi	Açıklamalar
0,22	1	$\eta = \frac{F_d}{N}$	Genel fren verimi
0,44	2	$\eta_o = \left( \frac{a_y}{\mu} \right)_o \frac{1 - \Psi}{1 - \Phi - \mu\chi}$ $\eta_a = \left( \frac{a_y}{\mu} \right)_a = \frac{\Psi}{\Phi + \mu\chi}$	Taşıt özelliklerine bağlı olarak frenleme verimi
0,67	3	$\eta = \frac{V_0^2}{2a_y S}$	Taşıt hızı, durma mesafesi ve yavaşlama ivmesine bağlı verim
0,89	4	$\eta = 0,4 \frac{V_0^2}{S}$	Taşıt hızı ve durma mesafesine göre verim
Sürtünme katsayısı	5	$\eta = \frac{z_{max}}{\mu}$	Tutunma katsayısı ve sürtünme katsayısına bağlı verim

lemenin sonucunu gösteren bir parametre olduğu için taşıyla ilgili verilere bağlı olarak verimin hesaplanması daha doğru sonuçlar ortaya çıkartacaktır (2). Fren verimini hesaplanmasında yavaşlama ivmesi, durma mesafesinin taşıt hızına bağlı olarak verim hesaplanabilir (3). Yavaşlama ivmesi olmadan taşıt hızı ve durma mesafesine göre de frenleme verimi bulunabilir (4). Tekerlek-yol arasındaki tutunma ve sürtünme katsayısına bağlı olarak fren verimini hesaplamak mümkündür (5). Bu formüllerin (Çizelge 9) her biri, verim hesaplamalarında, eldeki yavaşlama ivmesi, yol-tekerlek arasındaki tutunma, sürtünen elamanlar arasındaki sürtünme katsayısına vb kullanılabilirlerdir.

#### 4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada durma mesafesi ve fren verimini etkileyen faktörler ile bu faktöre bağlı olarak geliştirilen matematiksel modeller incelenmiştir.

Sürücüler araçlarının frenleme performanslarını ancak durma mesafesi ile öğrenebilmektedirler. Frenleme performansını etkileyen tüm faktörler durma mesafesini etkilemektedir. Durma mesafesi kayıp zamanda alınan yol ve frenleme mesafesinden oluşmakta, reaksiyon mesafesi sürücülere bağlı bir faktör olurken, frenleme mesafesi taşıta bağlı bir faktördür.

Durma mesafesini başta frenleme verimi olmak üzere fren sistemi performansını etkileyen tüm faktörler etkilemektedir.

Frenleme mesafesi için değişik matematiksel modeller olmakla birlikte, modellerde farklı parametrelere göre frenleme mesafeleri hesaplanabilmektedir. Geliştirilen modeller de taşıt hızına bağlı olarak yavaşlama ivmesi, pedal kuvveti, yol-tekerlek sürtünme katsayısı ve fren verimi olmak üzere değişik parametreler kullanılmıştır.

Fren veriminin hesaplanması, taşıtın frenleme performansını ortaya koyması bakımından da önemlidir. Çeşitli fren verimi hesaplama yöntemleri bulunmakta ele alınan özelliğe bağlı olarak farklı modeller kullanılabilir. Frenleme verimi, frenleme kuvvetinin taşıt ağırlığına oranı olarak tanımlanmasına rağmen, frenleme kuvveti doğrusal, yanal ve düşey yönlerde farklı olmakta, bu kuvvetlerin fren verimi üzerindeki etkisi de farklı olmaktadır. Fren verimi hesaplamalarında değişik parametrelere bağlı olarak farklı yaklaşımlar mevcuttur.

Frenleme sırasında taşıtta başta yük dengesi ve frenleme kuvveti olmak üzere bir çok faktör değişime uğramaktadır. Bu nedenle, frenleme verimini hesaplamak için fren sürtünme elemanlarının bulunduğu kampana (Disk) ile balata arasındaki kuvvetten yola çıkarak yapılacak hesaplama yerine, tekerlek-zemin arasındaki frenleme kuvvetinden yola çıkarak frenleme veriminin hesaplanması daha gerçekçi olmaktadır.

#### Semboller

$a_y$ : Yavaşlama ivmesi	( $m/s^2$ )
$F_d$ : Disk (kampana) ile balata arasındaki sürtünme kuvveti (N)	(N)
$F_x$ : Frenleme kuvveti	(N)
$V_0$ : Frenleme başlangıcındaki taşıt hızı	(m/s)
$V_s$ : Yavaşlama sonundaki hız	(m/s)
$m$ : Kütle	(kg)
$N$ : Düşey yük	(N)
$S$ : Durma mesafesi	(m)
$\Delta t$ : Frenleme süresi	(s)
$\eta$ : Fren verimi	(%)
$\mu$ : Sürtünme katsayısı	
$x$ : İyilik derecesi	

#### 5. KAYNAKLAR

- Carley, L., Application Specific Brake Linings, Carley, Software.com, <http://www..Members.aolo.com/carleyware/library/brakes1a.htm>. 2000
- Oppenheimer, P., Comparing Stopping Capability of Cars with and Without Antilock Braking System (ABS), SAE Paper No: 880324.1988
- Çetinkaya, S., "Taşıt Mekaniği", Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 185-186.1999
- Heisler, H., Advanced Vehicle Technology, London, 1989
- Anlaş, İ., Şasi 1, M.E.B., İstanbul, 1990
- Limpert, R., Brake Design and Safety, Second Edition, Society of Automotive Engineers inc. United States of America, 1999
- Driving – Safety Systems, 2'nd updated and Expanded Edition, Robert Bosch GmbH, Germany, 1999
- Macnabb, J.M., Baerg, R., Sanderson, S., Chafe, B., Navin F., Tire/Ice Friction Values, Current and Future Developments in ABS/TCS and Brake Technology, SAE paper No: 960959, 1996
- Bayrakçeken, H., "Motorlu Taşıtlarda Fren Performans Analizi ve Geliştirilen Test Cihazında Uygulaması", Doktora Tezi, G.Ü. Fen. Bil. Enst, 146 s, 2002
- Altıparmak, D., Fren Sistemleri, Dizayn Matbaacılık, Ankara, 2001
- Demirsoy, M., Motorlu araçlar, Birsen Yayınevi, Cilt 2, Denizli, 1991
- Torbjomsen, T., The Importance of Brake Performance, New York <http://www.womanmotorist.com/Maintaince/tomt/brake-performance.shtml>
- Fillikçioğlu, C., Taşıt Frenlerinde Balata Çeşidinin ve Çalışma Şartlarının Frenleme Performansına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1998
- Taheri S., Law. E. H., Slip Control Braking of An Automobile During Combined Braking And Steering Maneuvers, Advanced Automotive Technologies, ASME, vol 40, 1991

15. Demirsoy, M., Motorlu araçlar, Birsen Yayınevi, Cilt 2, Denizli, s 372. 1991