

## Panik Frenleme Davranışının Yarım Taşıt Test Cihazında İncelenmesi

Hüseyin BAYRAKÇEKEN<sup>\*1</sup>, Tuğçe TÜRK BAY<sup>2</sup>, Faruk Emre AYSAL<sup>3</sup>, Hicri YAVUZ<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.

<sup>2</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.

<sup>3</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.

<sup>4</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon Meslek Yüksekokulu, Raylı Sistemler Yol Teknolojisi Bölümü, Afyonkarahisar.

Sorumlu yazar \*e-posta: bceken@aku.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1572-4859>

tturkbay@aku.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7263-9741>

faysal@aku.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9514-1425>

hicriyavuz@aku.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8427-5164>

Geliş Tarihi: 17.01.2020

Kabul Tarihi: 29.06.2020

### Öz

#### Anahtar kelimeler

Panik Fren; Fren-Süspansiyon Test Cihazı; Frenleme Profili; Tam frenleme Mesafesi

Günlük hayatın vazgeçilmez unsurlarından biri olan taşıtlarda frenleme etkinliği en önemli parametrelerden biridir. Bu çalışma panik frenleme esnasında fren pedal kuvveti değişikliğinin frenleme üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Deneyler Afyon Kocatepe Üniversitesi, Otomotiv Mühendisliği Uygulama ve Araştırma Laboratuvarında bulunan yarım taşıt modeli olarak kullanılan Fren-Süspansiyon Test Cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Farklı yaş grupları ve cinsiyetlerden yirmi sürücünün panik frenleme davranışlarından elde edilen veri setleri incelenmiş ve ortak bir frenleme profili elde edilmiştir. Fren pedalı üzerine uygulanan kuvvet arttıkça fren iç hat basıncının, kaliperdeki basıncın, fren kuvvetinin arttığını ve tam frenleme mesafelerinin azaldığını göstermiştir. Yaş, kilo ve boy gibi parametrelerin frenleme profilini çok etkilemediği, ancak erkek sürücülerin kadın sürücülere oranla frenleme performanslarının daha iyi olduğu görülmüştür.

## The Investigation of Emergency Brake Behaviour with Half Vehicle Test Device

### Abstract

#### Keywords

Emergency Brake; Brake-Suspension Test Device; Braking Profile; Brake Distance

Braking event is an important parameter of the vehicles being an indispensable element of daily life. This study was conducted to determine the effect of changing the brake pedal force on braking during emergency brake. Experiments were carried out using Brake-Suspension Test Device which is used as a semi-vehicle model in the Automotive Engineering Application and Research Laboratory of Afyon Kocatepe University. Data sets obtained from panic braking behaviour of twenty drivers of different age groups and genders were examined and a common braking profile was obtained. The results showed that as the force applied on the brake pedal increased, the internal brake pressure increased, thereby the pressure in the calliper and brake force were increased and reducing stopping distances. It was found that parameters such as age, weight and height did not affect the braking profile much. However, it was found that male drivers had better braking performances than female drivers.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

### 1. Giriş

Fren sistemi, araç güvenlik sistemlerinin temelini oluşturmaktadır. Sürücünün aracında taşıdığı diğer yolcuların, yayaların, kendinin ve trafikteki diğer sürücülerin can güvenliğini sağlaması için fren sistemi hayati önem taşımaktadır. Taşıt

performansında görülen artışlar frenleme performansı ve etkinliğinin artırılmasını son derece önemli bir konu haline getirmiştir. Günümüzde fren sistemleri için mekanik, hidrolik, pnomatik ve elektrikli hava tahrikli fren sistemi olmak üzere farklı çeşitler mevcuttur. Daha iyi bir frenleme verimi elde

etmek için fren sisteminin elemanlarında ve sistemin bütününde iyileştirmeler yapılması gerekmektedir (Albatlan, 2012; Ryzhikov ve Batyshchev, 2017).

Fren sistemi etkinliği ve performansı üzerinde çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların bir kısmı fren sistem ve elemanları üzerine olurken bir kısmı da fren pedal kuvveti ve araçların durma mesafesi üzerine yapılmıştır (Sun vd., 2015).

Yayaların araç hızını ve durma mesafesini doğru tahmin edebilmesi, yayaların güvenli şekilde karşıdan karşıya geçme kararı verebilmeleri için önemlidir. Sun vd. yaptıkları çalışmada, yayaların karşıdan karşıya geçerken araçların hızları ve durma mesafeleri hakkındaki tahminlerini ölçmek için doğal bir trafik ortamında bir saha deneyi yapmışlardır. Kırk dört katılımcı (18-45 yaş) 1043 araca ilişkin tahminlerini bildirmiş ve buna karşılık gelen gerçek araç hızı ve durma mesafesi kaydedilmiştir. Yayaların hız tahminleri farklı hız seviyelerinde ve farklı hava durumlarında değişmektedir. Güneşli durumlarda yayalar, 40 km/s'den daha düşük hızları doğru bir şekilde tahmin edebilirken bu değerlerin üzerindeki gerçek araç hızlarını hafife alma eğilimindedir. Yağmurlu durumlarda yayalar 35 km/s ile 45 km/s arasındaki hızları doğru tahmin edebilirken 45 km/s'den daha yüksek olan gerçek araç hızlarını hafife alma eğilimindedir. Yayaların 65 km/s üzerinde seyahat eden araçların durma mesafesini genellikle doğru tahmin edemediği görülmüş ve karşıdan karşıya geçerken risk faktörünün attığı belirlenmiştir. Bu durum araçların panik fren esnasında durma mesafelerinin ne kadar hayati önem taşıdığını göstermektedir (Sun vd., 2015).

Sürücülerin kazadan kaçınmak için bazen agresif ve ani bir şekilde fren yapmaları gereklidir. Bu durum sonucunda yol şartları, lastik vb donanımların uygun olması halinde araç hızı daha kısa sürede azaltılabilmektedir. Frenleme davranışı üzerinde etkili olan ortalama fren pedal kuvveti, frenleme tipi (sürekli veya kademeli), fren pedalı konumu, fren pedalı itme mesafesi, fren gecikmesi vb parametrelerin hakkında birçok araştırma

yapılmıştır. Pawar vd. yaptıkları çalışmada sürücülerin frenleme davranışlarını ve kaza olasılıklarını analiz etmişlerdir. Yaya geçidi ve engel gibi ani frenleme gerektiren iki durum için bir sürüş simülatöründe fren pedalı kuvveti ve maksimum frenleme geçiş süresini incelenmiştir. 59 erkek ve 26 kadın sürücünün katıldığı deneyde cinsiyet, yaklaşım hızı, yaş, sürüş geçmişi ve sürüş koşullarının sürücülerin frenleme davranışını önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir (Pawar vd. 2020). Yadav vd. kanlarındaki alkol oranları değişen 82 sürücü ile yaptıkları yol testinde kandaki alkol oranının artmasının sürücünün fren ve gaz pedalına uyguladıkları kuvvet büyüklüğünün değiştirdiğini göstermiştir (Yadav 2019).

Deepa vd. fren pedalı oranı normal ve panik frenleme anlarında dinamik olarak değiştirmek için çalışmalar yapmışlardır. Normal frenleme; fren pedalı üzerindeki kuvvetin kademeli olarak, panik fren ise acil durum esnasında ani bir kuvvet ile fren pedalına basmak olarak tanımlanmıştır. Elde edilen yeni dizaynın elektronik kontrollü sistemlere göre ucuz bir kontrol yöntemi olduğunu öne sürmüşlerdir (Deepa vd. 2018)

Düzgün vd. (2005) taşıtlardaki frenleme mesafesini tespit etmek için yol testleri yapmışlardır. Test aracı 50, 80, 90 ve 120 km/s hızlarda kullanılmış ve 60, 120, 180, 240, 300, 350 N pedal kuvvetlerinde frenlemeler yapılarak durma mesafeleri ve süreleri ölçülmüştür. Deney sonuçları aynı hız değerlerinde fren pedalına uygulanan kuvvet arttıkça fren mesafesinin azaldığını göstermiştir. Hız değerleri yükseldikçe fren mesafesinde artış görülmüştür.

Fambro vd. (2000) ıslak ve kuru yol şartlarında ABS'li (Anti-Lock Braking System) ve ABS'siz durum için farklı hızlardayken panik fren testleri yapmışlardır. ABS kullanımının hem ıslak hem de kuru yol şartlarında durma mesafesini %10 ile %15 oranında azalttığı görülmüştür.

Taşıtlarında panik frenleme esnasında fren pedalına uygulanan kuvvetin yeterli olmadığı görülmüştür. Direksiyon hâkimiyeti ve aracın en kısa mesafede durmasını sağlayan tekerlek kilitlemesi

önleyici fren sisteminin devreye girmesi için tekerleklerle yeterli azami fren gücü iletilmemektedir. Bu nedenle panik frenlemeyi algılayan acil fren destek sistemi araçlarda kullanılmakta ve tekerlekler için gerekli azami fren basıncı elde edilebilmektedir (Çavdar ve Bayrakçeken, 2006).

Bu çalışmada, Afyon Kocatepe Üniversitesi'ndeki Fren-Süspansiyon Test Cihazı (FSTC) kullanılarak değişik yaş grupları ve cinsiyetlerden oluşan yirmi farklı sürücünün panik frenleme durumundaki frenleme profili elde edilerek fren mesafeleri, fren pedal kuvveti, fren iç hat basıncı arasındaki ilişki incelenmiştir. Yarım taşıt test cihazı olarak tasarımı yapılmış olan FSTC'den elde edilen verilerin gerçek taşıtlara uygulanabilirliğini ortaya koymak amacıyla bir düzeltme algoritması kullanılmıştır. Uygulanan algoritma sonucunda elde edilen veriler literatürle karşılaştırılarak bu yaklaşımın güvenilirliği incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Taşıtlarda frenleme performansını belirleme amacıyla yapılan fren testlerinde, fren test cihazları ile pedal kuvveti, fren basıncı, frenleme yüzeyi sıcaklığı, taşıtın ağırlığı, taşıtın hızı, lastik hava basıncı gibi parametrelerin frenleme esnasında taşıta etkileri deneysel olarak incelenebilmektedir. Laboratuvar ortamında birçok değer sabit tutularak sadece istenilen veri seti değiştirilebilmektedir. Taşıtlarda fren kuvvetlerinin tespitinde genellikle tamburlu tip elektromekanik fren test cihazları kullanılmaktadır. Bu cihazlarda tamburları tahrik eden bir elektrik motoru bulunmaktadır. Taşıt test cihazının tamburlarının üzerine geldiğinde elektrik motorundan sağlanan tahrik kuvvetiyle tamburlar dönmeye başlamaktadır. Taşıt çalışır durumda ve vites boşta iken gerçekleştirilen frenlemeyle tamburlara frenleme yapılmaktadır. Frenleme esnasından oluşan frenleme kuvveti tambura bağlı bulunan yük hücresi yardımıyla ya da hidrolik sistemle ölçülerek taşıtın frenleme kuvveti-momenti hesaplanabilmektedir. Bunun dışında taşıtlarda frenleme performansını belirlemek için düz zeminli test platformları da kullanılmaktadır. Bu testlerde

taşıt platformun üzerinde 8 km/s hızda sürülerek sertçe frenlenmektedir. Ancak tamburlu ve düz zeminli test cihazları yapılacak AR-GE çalışmalarında yeterli hassasiyeti ve istenilen şartları sağlayamamaktadır (Bayrakçeken, 2002). Dolayısıyla birçok araştırmacı laboratuvar ortamında daha hassas fren testleri yapmak amacıyla çeşitli test cihazları geliştirmiştir. Bu çalışmada son yıllarda geliştirilen test cihazlarından biri olan FSTC deneylerin yapılması için kullanılmıştır (Bayrakçeken vd., 2016).

Gerçekleştirilen deneylerde kullanılan FSTC Şekil 1'de görülmektedir. Deneylerin yapıldığı ortamın sıcaklığı 25 °C olarak ölçülmüştür. Bir yarım taşıt modeli olarak geliştirilen FSTC'de kullanılan içten yanmalı motor ile lastiklerin özellikleri Tablo 1'de belirtilmiş ve cihazın genel test prosedürüyle çalışma şekli Bayrakçeken vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada ayrıntılı olarak açıklanmıştır. FSTC cihazında sürücü ve operatör olmak üzere en az 2 kişi ile deneyler gerçekleştirilmekte, deney grafikleri oluşturulabilmekte, motor ve balata sıcaklıkları, pedal basıncı gibi parametreler eş zamanlı olarak kaydedilmektedir. Deney verileri; fren sistemi basınç değerleri, fren kuvveti değerleri, tekerlek tambur devri eş zamanlı olarak cihaz tarafından 0.1 saniye aralıklarla kaydedilmektedir.

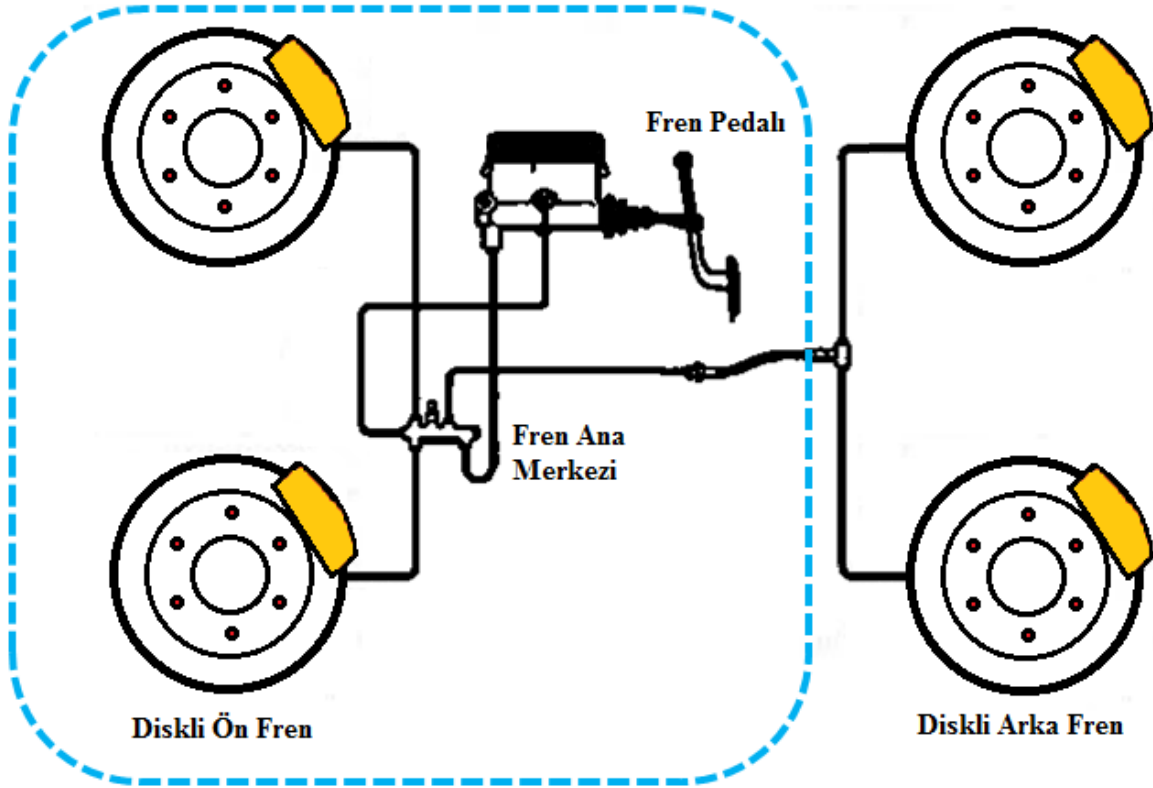
**Çizelge 1.** Fren Süspansiyon Test Cihazının Özellikleri.

Test Cihazının Özellikleri	
İçten Yanmalı Motor	4 Silindirli, Benzinli Motor
Motor Hacmi	1.4 L
Motorun Maksimum Gücü	57 kW
Motorun Maksimum Torku	115 Nm
Lastik Bilgileri	175/70R14
Tambur Yarı Çapı	0.15 m

Fren pedalına bağlı bulunan yük hücresi sayesinde fren pedalına basma kuvveti ve fren ana merkezi çıkışına bağlı bulunan manometre yardımıyla fren hattı basıncı frenleme esnasında ölçülmektedir [8]. Şekil 2'de FSTC'de kullanılan fren sistemi kesik (mavi) çizgiler içerisinde olacak şekilde şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1. Fren süspansiyon test cihazı



Şekil 2. FSTC'deki fren sisteminin şematik görünümü

FSTC'nin sabit ataleti toplam 160 kg kütlesindeki tamburlar ve tekerlekler ile sağlanmaktadır. Burada FTSC'nin kütleli ataleti değerlendirilirken krank mili, volan, şanzıman mili, diferansiyel ve aksların kütle etkisi ihmal edilmiştir. Dolayısıyla, FSTC ile yapılan çalışmalar fren mesafesi ve frenleme ivmesi açısından "Gerçek Taşıtlar" için doğrudan eşdeğer sonuçlar sağlamamaktadır. Ancak FSTC'den elde edilen veriler ile yol testlerinden elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak verilerde bir korelasyon yapılması mümkündür. FSTC'den elde edilen veriler doğrudan Ar-Ge çalışmalarına önemli bir bakış açısı sağlamaktadır. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde taşıtlarda gerçek frenlemenin reaksiyon süresi, tahrik yükselme süresi, cevap süresi, sistem yükselme süresi ve tam frenleme süresi olarak çeşitli aşamaları bulunmaktadır. Gerçek taşıtlarda frenleme esnasında maksimum yavaşlama ivmesine sistem yükselme süresinin sonunda ulaşılmaktadır (Göktan vd., 1995). Bu nedenle, gerçek taşıtlar ile FSTC arasında sağlıklı bir korelasyon kurulabilmesi için maksimum yavaşlama ivmesinin sağlandığı tam frenleme süresi dikkate alınarak tam frenleme mesafesi hesaplanmıştır. Dolayısıyla reaksiyon süresi, tahrik yükselme süresi, cevap süresi ve sistem yükselme süresi hesaplamaya katılmadan yalnızca tam frenleme süresi dikkate alınmıştır. Frenleme ivmesi ile atalet momenti arasındaki ilişkiyi ortaya koymak için denklem 1'de verilen açısal ivme yalnız bırakılıp denklem 2'de yerine yazılarak denklem 3 elde edilmiştir. Burada;  $F_{fr}$  tekerlek ile zemin arasındaki sürtünme kuvvetini,  $R$  tekerlek yarıçapını,  $I$  kütleli atalet momentini,  $\alpha$  açısal ivmeyi,  $a$  çizgisel ivmeyi ifade etmektedir.

$$F_{fr} * R = I * \alpha \quad (1)$$

$$a = R * \alpha \quad (2)$$

FSTC sonuçlarının karşılaştırılabilmesi için Bayrakçeken ve Düzgün (2005) tarafından yapılan çalışmadaki gerçek taşıt verileri bu çalışmada referans olarak kullanılmıştır. Referans çalışmada gerçek bir taşıt için durma mesafesi; reaksiyon mesafesi ve tam duruma mesafesi ayrı ayrı olacak

şekilde hesaplanmıştır. Bu nedenle referans çalışmadaki gerçek taşıtın 60 km/s hız için tam durma mesafesi ile reaksiyon mesafesinin farkı alınarak ortalama tam frenleme mesafesi hesaplanmıştır. Referans çalışmadaki veriler 1200 kg kütlesindeki bir araç için geçerlidir. Dolayısıyla denklem 3 ve 4 kullanılarak 1200 kg kütleli bir araç ile FSTC'nin ivmesi arasındaki benzerlik oranı " $\theta$ " hesaplanmıştır. Denklem 3'ten görüldüğü gibi tam frenleme süresindeki yavaşlama ivmesi ile atalet momenti arasında ters orantı mevcuttur. Burada " $\theta$ " ifadesi diğer bir deyişle "FSTC yavaşlama ivmesi ve gerçek taşıt yavaşlama ivmesi arasındaki düzeltme faktörünü" ifade etmektedir. Denklem 3 ve 4 sadeleştirildiğinde ise düzeltme faktörü gerçek taşıtın atalet momentinin FSTC'nin atalet momentine oranı olarak elde edilebilir. Dolayısıyla 1200 kg kütleli taşıt için FSTC tam yavaşlama ivmesi düzeltme faktörü " $\theta=3.75$ " olarak elde edilmektedir.

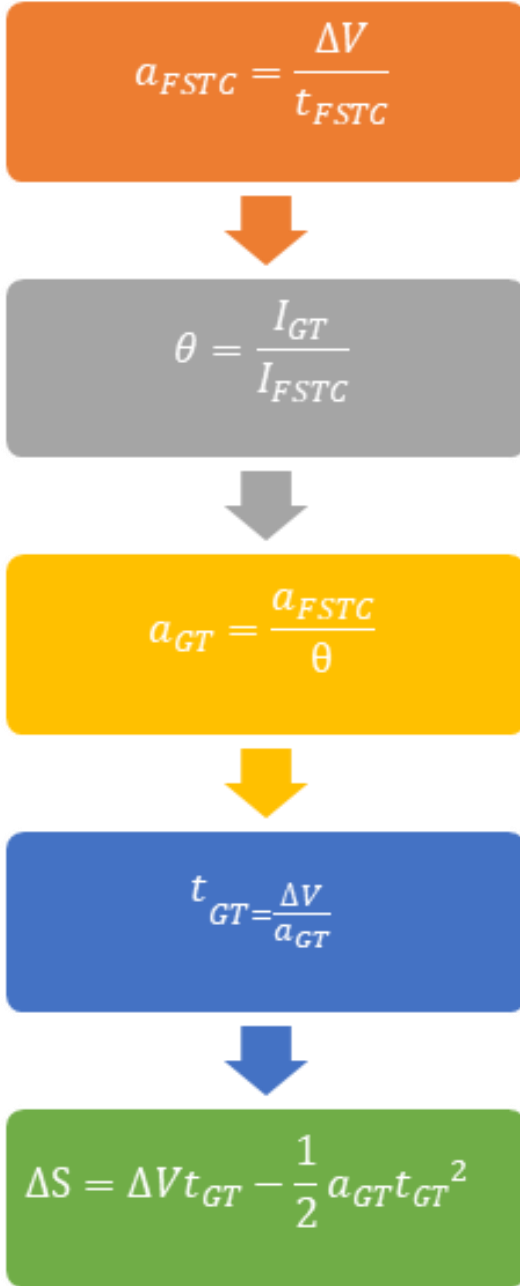
$$a = \frac{F_{fr} * R^2}{I} \quad (3)$$

$$I = \frac{1}{2} m R^2 \quad (4)$$

FSTC'nin tam frenleme mesafesi hesaplanırken bilgisayar ortamına eş zamanlı kaydedilen veriler kullanılmıştır. Fren pedalına basıldıktan sonra fren iç hat basıncında ilk basınç artışının meydana geldiği an taşıtın yavaşlamaya başladığı referans zamanı kabul edilmiştir. Bu esnadaki tamburların sahip olduğu açısal hız ile bu aşamadan sonra tamburlar tamamen durana kadar geçen süre tam frenleme süresi olarak değerlendirilmiştir.

Şekil 3'te FSTC ile elde edilen yavaşlama ivmesi verileri ve düzeltme faktörü " $\theta$ " kullanılarak gerçekleştirilen "düzeltilmiş tam frenleme mesafesi hesap algoritması" verilmiştir. Şekil 3'te verilen algoritmanın ilk adımında görüldüğü gibi FSTC'nin hız değişimi ve tam frenleme süresi arasındaki bağıntı kullanılarak FSTC'nin tam frenleme ivmesi hesaplanmaktadır. Sonrasında FSTC ile gerçek taşıt arasındaki atalet momentleri oranı kullanılarak

düzeltilme faktörü hesaplanmaktadır. Algoritmanın üçüncü adımında gerçek taşıt tam frenleme ivmesini hesaplamak için FSTC'nin tam frenleme ivmesi düzeltilme faktörüne bölünmektedir. Sonraki adımda gerçek taşıt tam frenleme ivmesi kullanılarak Newton'un fizik yasaları uyarınca gerçek taşıt için olması gereken tam frenleme süresi elde edilmektedir. Şekil 3'teki algoritma da görüldüğü gibi gerçek taşıt tam frenleme mesafesi elde edilen düzeltilmiş veriler kullanılarak hesaplanmaktadır.



**Şekil 3.** FSTC – Gerçek Taşıt Tam Fren Mesafesi Düzeltme Algoritması

Deneylerde FTSC tam frenleme mesafesinin sadece fren pedalına uygulanacak kuvvete bağlı olması

amacıyla balatalar her deneyden sonra oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Balata sıcaklığı stabil hale geldikten sonra diğer teste başlanmıştır. Böylece balata sıcaklığının frenlemeye termomekanik etkisi her deneyde sabit kalmıştır.

Yapılan çalışmada, farklı yaş grupları ve cinsiyetlerden oluşan yirmi farklı sürücünün panik frenleme davranışlarından ortak bir frenleme profili elde edilerek tam frenleme mesafeleri, fren pedal kuvveti ve fren iç hat basıncı arasındaki ilişki incelenmiştir. On kadın ve on erkek sürücü ile aynı şartlarda ve ayrı ayrı yapılan deneylerde iki farklı durum göz önüne alınmıştır.

FSTC simülatörü 4. vites 3000 d/d devirde 60 km/s hızda el gazı ile sabitlenmiş ve 40 saniyelik sürüş sonrasında sürücülerden yalnızca fren pedalına basarak panik frenleme yapmaları istenmiştir. Sonrasında ise sürücülerden aynı test prosedürünü tekrar gerçekleştirmeleri ancak bu deneyde fren pedalına debriyaj ile aynı anda basmaları istenmiştir. Kadın sürücülerin yaşları ve fiziksel özellikleri Çizelge 2'de, erkek sürücülerinki ise Çizelge 3'te verilmiştir. Kadın sürücüler K harfleri ile erkek sürücüler E harfleri ile kodlanmıştır.

**Çizelge 2.** Kadın Sürücülerin Özellikleri

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
Yaş	21	20	20	29	20	33	20	29	20	21
Kilo (kg)	45	57	48	57	62	63	62	57	75	54
Boy (cm)	164	163	162	164	168	160	170	160	167	160

**Çizelge 3.** Erkek Sürücülerin Özellikleri

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10
Yaş	21	28	23	21	36	21	24	39	28	45
Kilo (kg)	76	80	62	89	75	106	73	108	121	115
Boy (cm)	178	175	167	172	174	190	178	178	186	181

### 3. Bulgular

On kadın ve on erkek sürücü ile yapılan deney sonuçları Çizelge 5 ve Çizelge 6'da gösterilmiştir. Çizelgede fren pedalı üzerine uygulanan kuvvet  $F_{pedal}$ , fren iç hat basıncı  $F_{ib}$ , FSTC'den elde edilen tam frenleme süresi  $t_{FSTC}$ , FSTC'nin yavaşlama ivmesi  $a_{FSTC}$ , FTCS'nin tam fren mesafesi  $S_{FSTC}$  ile gösterilmiştir. FSTC ile 1200 kg'lık bir taşıtın atalet momentleri oranından hesaplanan gerçek taşıt düzeltilmiş yavaşlama ivmesi  $a_{GT}$ , gerçek taşıt düzeltilmiş tam frenleme süresi  $t_{GT}$ , gerçek taşıt düzeltilmiş tam fren mesafesi  $S_{GT}$  ile ifade edilmiştir.

**Çizelge 4.** Bayrakçeken ve Düzgün (2005) 60 km/s Hız için Durma Mesafesi- İvme

Frenleme öncesi taşıt hızı (km/h)	
60 km/h	
İvme (m/s)	1 s reaksiyon süresinde alınan yol (m)
Toplam durma mesafesi (m)	
4.4	48
5	44
5.8	40
7	36
8	34
9	32

Bayrakçeken ve Düzgün (2005) tarafından yapılan çalışmada 60 km/s taşıt hızı için sunulan frenleme mesafeleri ve ivmeleri Çizelge 3'te verilmiştir. Bu referans çalışmada yavaşlama ivmesinin ara değerleri bulunmamaktadır. Dolayısıyla düzeltme

algoritması ile hesaplanan  $a_{GT}$  değerlerinin tam karşılığı referans çalışmada yoktur. Referans çalışmadaki yavaşlama ivmesi ve mesafesi arasında interpolasyon yapılarak gerekli ara değerler bulunmuştur. Referans çalışmanın verileri arasında yapılan interpolasyon sonucunda elde edilen tam durma mesafeleri Çizelge 5 ve 6'da  $S_{GT-BVD}$  ile gösterilmiştir.

Çizelge 5 ve 6'ya göre fren iç hat basıncındaki ilk artışın meydana geldiği andan itibaren debriyajsız testlerde ortalama 0.78 saniye, debriyajlı testlerde ortalama 0.69 saniye içerisinde tekerlekler durdurulmuştur. Fren pedal kuvvetinin maksimum değerleri bu süreler içinde görülmüştür (Göktaş vd., 1995). Kadın sürücülerin genel tam frenleme süresi ortalaması 0.77 s, erkeklerin 0.705 s'dir. Kadın sürücülerin tam frenleme süresinin daha fazla olduğu görülmüştür (Pawar vd. 2020). Debriyajsız durumda fren mesafesi ortalama 13.55 metre olarak, debriyajlı durumda ise ortalama 11.97 metre olarak hesaplanmıştır. Kadın ve erkeklerin debriyajsız testlerde fren pedalına uyguladıkları kuvvet ortalama 279 N iken debriyajlı testlerde %16'lık bir azalık göstererek 234 N'a düşmüştür. Fren pedalına uygulanan kuvvetteki düşüşe rağmen debriyaj pedalına basılması ile motordan gelen atalet kesilmiş ve tam frenleme mesafesinde ortalama %12'lik bir düşüş sağlanmıştır. Fren pedalına uygulanan kuvvet arttıkça fren iç hattı basıncının arttığı görülmüştür.

**Çizelge 5.** Erkek Sürücülerin Panik Fren Verileri

<b>Debriyajsız</b>	<b>E1</b>	<b>E2</b>	<b>E3</b>	<b>E4</b>	<b>E5</b>	<b>E6</b>	<b>E7</b>	<b>E8</b>	<b>E9</b>	<b>E10</b>
F <sub>Pedal</sub> (N)	211.36	255.91	269.89	283.59	295.34	305.21	326.25	352.73	371.03	382.98
F <sub>ib</sub> Fren İç Hat Basıncı (bar)	31.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	33.00	33.00	33.00	33.00
t <sub>FSTC</sub> (s)	0.88	0.77	0.76	0.76	0.75	0.75	0.74	0.73	0.72	0.72
a <sub>FSTC</sub> (m/s <sup>2</sup> )	18.97	21.78	21.88	22.06	22.09	22.20	22.65	22.98	23.12	23.25
S <sub>FSTC</sub> (m)	7.33	6.38	6.35	6.30	6.29	6.26	6.13	6.05	6.01	5.97
a <sub>GT</sub> (m/s <sup>2</sup> )	5.06	5.81	5.83	5.88	5.89	5.92	6.04	6.13	6.17	6.20
t <sub>GT</sub> (s)	3.30	2.87	2.86	2.83	2.83	2.82	2.76	2.72	2.70	2.69
S <sub>GT</sub> (m)	27.47	23.93	23.82	23.62	23.58	23.47	23.00	22.68	22.53	22.41
S <sub>GT-BVD</sub> (m)	26.71	22.98	22.89	22.72	22.69	22.60	22.20	21.91	21.78	21.66
Yüzde Bağlı Hata	2.77	3.97	3.90	3.79	3.77	3.71	3.49	3.38	3.35	3.32
<b>Debriyajlı</b>	<b>E1</b>	<b>E2</b>	<b>E3</b>	<b>E4</b>	<b>E5</b>	<b>E6</b>	<b>E7</b>	<b>E8</b>	<b>E9</b>	<b>E10</b>
F <sub>Pedal</sub> (N)	178.51	205.88	245.71	261.26	239.94	267.09	279.30	305.42	328.64	340.36
F <sub>ib</sub> Fren İç Hat Basıncı (bar)	31.00	31.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	33.00	33.00
t <sub>FSTC</sub> (s)	0.77	0.71	0.66	0.64	0.67	0.63	0.62	0.61	0.60	0.60
a <sub>FSTC</sub> (m/s <sup>2</sup> )	21.61	23.42	25.33	26.05	24.87	26.29	26.91	27.28	27.57	27.57
S <sub>FSTC</sub> (m)	6.43	5.93	5.49	5.33	5.59	5.28	5.16	5.09	5.04	5.04
a <sub>GT</sub> (m/s <sup>2</sup> )	5.76	6.25	6.75	6.95	6.63	7.01	7.17	7.27	7.35	7.35
t <sub>GT</sub> (s)	2.89	2.67	2.47	2.40	2.51	2.38	2.32	2.29	2.27	2.27
S <sub>GT</sub> (m)	24.11	22.24	20.57	20.00	20.95	19.82	19.37	19.10	18.90	18.90
S <sub>GT-BVD</sub> (m)	23.19	21.51	19.82	19.18	20.23	18.98	18.65	18.45	18.30	18.30
Yüzde Bağlı Hata	3.83	3.29	3.66	4.12	3.46	4.24	3.69	3.40	3.19	3.19
Tam Fren Mesafesindeki Değişim (%)	12.24	7.03	13.63	15.31	11.16	15.58	15.81	15.77	16.12	15.64

Çizelge 5 ve 6'dan a<sub>FSTC</sub> değerleri incelendiğinde gerçek bir taşıtın yavaşlama ivmesine göre oldukça yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. FSTC'nin frenleme sürecinde atalet etkisi olarak 160 kg'lık kütleli etkili olması yavaşlama ivmesinin gerçek taşıt değerlerinden yüksek olması ile sonuçlanmasına neden olmuştur. Korelasyon sonucu elde edilen düzeltilmiş a<sub>GT</sub> değerleri gerçek taşıt için makul sınırlar içerisindedir (Bayrakçeken ve Düzgün 2005). 60 km/s hıza sahip gerçek taşıt için hesaplanan a<sub>GT</sub> ile düzeltilmiş tam frenleme

mesafesi hesaplanarak, S<sub>GT</sub>, referans çalışma ile sonuçlar arasındaki bağlı hata yüzdeleri Çizelge 5 ve 6'da verilmiştir. Erkek sürücüler için debriyajsız test durumdaki ortalama bağlı hata %3.55, debriyajlı durumdaki test için %3.61; kadın sürücüler için ise bu değerler sırasıyla % 3.09 ve % 3.60 olarak hesaplanmıştır. Bütün test sonuçları beraber değerlendirildiğinde ise 60 km/s taşıt hızı için FSTC'ye uygulanan düzeltme algoritmasının bağlı hatasının % 3.46 olduğu görülmüştür.



**Çizelge 6.** Kadın Sürücülerin Panik Fren Verileri

<b>Debriyajsız</b>	<b>K1</b>	<b>K2</b>	<b>K3</b>	<b>K4</b>	<b>K5</b>	<b>K6</b>	<b>K7</b>	<b>K8</b>	<b>K9</b>	<b>K10</b>
$F_{Pedal}$ (N)	212.81	218.93	222.39	223.42	232.13	234.50	242.29	296.65	319.37	323.88
$F_{ib}$ Fren İç Hat Basıncı (bar)	31	31	31	31	31	31	32	32	32	32
$t_{FSTC}$ (s)	0.87	0.86	0.85	0.85	0.84	0.83	0.78	0.75	0.75	0.74
$a_{FSTC}$ (m/s <sup>2</sup> )	19.08	19.47	19.66	19.71	19.78	19.98	21.37	22.09	22.30	22.38
$S_{FSTC}$ (m)	7.28	7.14	7.07	7.05	7.02	6.95	6.50	6.29	6.23	6.21
$a_{GT}$ (m/s <sup>2</sup> )	19.08	19.47	19.66	19.71	19.78	19.98	21.37	22.09	22.30	22.38
$t_{GT}$ (s)	3.28	3.21	3.18	3.17	3.16	3.13	2.93	2.83	2.80	2.79
$S_{GT}$ (m)	27.31	26.76	26.50	26.44	26.34	26.08	24.38	23.59	23.37	23.28
$S_{GT-BVD}$ (m)	26.57	26.04	25.78	25.73	25.63	25.36	23.51	22.70	22.51	22.44
Yüzde Bağlı Hata	2.74	2.70	2.70	2.71	2.71	2.75	3.59	3.77	3.66	3.62
<b>Debriyajlı</b>	<b>K1</b>	<b>K2</b>	<b>K3</b>	<b>K4</b>	<b>K5</b>	<b>K6</b>	<b>K7</b>	<b>K8</b>	<b>K9</b>	<b>K10</b>
$F_{Pedal}$ (N)	155.13	166.15	185.28	170.11	187.48	195.21	189.07	253.37	262.36	261.62
$F_{ib}$ Fren İç Hat Basıncı (bar)	30.00	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	31.00	32.00	32.00	32.00
$t_{FSTC}$ (s)	0.82	0.80	0.76	0.79	0.75	0.73	0.74	0.65	0.64	0.64
$a_{FSTC}$ (m/s <sup>2</sup> )	20.22	20.74	22.01	21.01	22.13	22.69	22.39	25.72	26.05	26.05
$S_{FSTC}$ (m)	6.87	6.70	6.31	6.61	6.28	6.12	6.21	5.40	5.33	5.33
$a_{GT}$ (m/s <sup>2</sup> )	5.39	5.53	5.87	5.60	5.90	6.05	5.97	6.86	6.95	6.95
$t_{GT}$ (s)	3.09	3.01	2.84	2.97	2.82	2.76	2.79	2.43	2.40	2.40
$S_{GT}$ (m)	25.76	25.12	23.67	24.80	23.55	22.97	23.27	20.26	20.00	20.00
$S_{GT-BVD}$ (m)	25.03	24.34	22.77	23.98	22.66	22.17	22.43	19.47	19.18	19.18
Yüzde Bağlı Hata	2.83	3.09	3.82	3.28	3.75	3.48	3.61	3.89	4.12	4.12
Tam Fren Mesafesindeki Değişim (%)	5.68	14.09	6.13	10.66	6.23	10.62	11.94	4.55	14.13	14.40

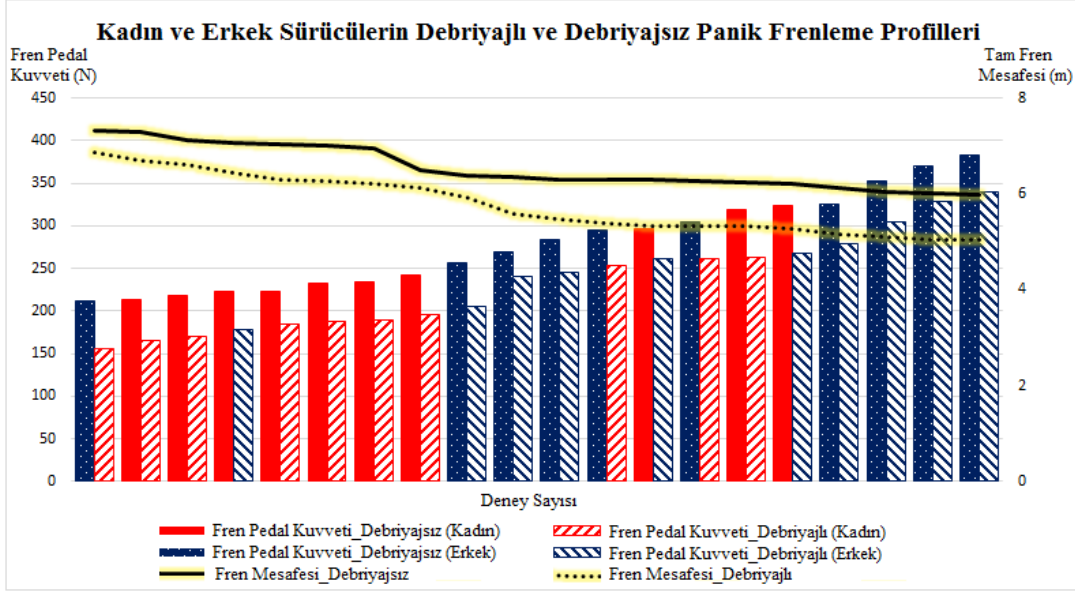
Yapılan deney sonuçları Şekil 4'te verilmiştir. Debriyajsız fren pedalına uygulanan kuvvetler küçükten büyüğe göre sıralanacak şekilde x ekseninde sütun ile gösterilmiştir. Kesik sütun ile gösterilen veriler debriyajlı test durumundaki fren pedal kuvvetleridir. Kadın sürücüler kırmızı, erkek sürücüler mavi renklerle vurgulanmıştır ve değerler sağ y ekseninden okunacak şekilde verilmiştir. İlgili fren pedal kuvvetinin uygulandığı durumdaki tam frenleme mesafesi değerleri ise sol y ekseninden okunacak şekilde çizgisel olarak ifade edilmiştir.

Sadece fren pedalına basılarak yapılan test sonuçları düz renklerle gösterilirken debriyajlı panik fren sonuçları kesikli çizgilerle vurgulanmıştır. Her iki deney sonucunda da fren pedalına uygulanan kuvvet arttıkça fren mesafesinde azalma görülmüştür (Surblyt ve Sokolockij, 2015).

Sürücülerin fren ve debriyaj pedallarına aynı anda bastığı ikinci deney durumunda fren pedalı üzerine uygulanan kuvvette düşüş görülmüştür. Buna ek olarak debriyaj ve fren pedalına basılarak yapılan

panik fren durumunda motordan gelen güç aktarımının kesilmesi sayesinde ilk duruma göre tam frenleme mesafesinde belirgin bir azalış olduğu Şekil 4'de görülmektedir.

Kadın sürücülerin genel olarak grafiğin fren mesafesinin yüksek olduğu yerde toplandığı görülmüştür. Bu durum fren pedalına erkeklere oranla daha az kuvvet uygulamalarıyla ilişkilendirilmiştir.



Şekil 4. Fren pedal kuvvetinin panik fren esnasında tam frenleme mesafesine etkisi

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Yapılan çalışmada fren pedal kuvvetinin frenleme mesafesine etkisi incelenmiş, eşit sayıdaki kadın ve erkek sürücü tarafından deneyler gerçekleştirilerek iki cinsiyet arasındaki frenleme profilinde fark olup olmadığı araştırılmıştır. Erkek ve kadın sürücülerin pedala uyguladıkları tüm kuvvetlerin ortalaması alındığında, erkek sürücülerin ortalama pedal kuvvetinin kadın sürücülerin ortalamasına göre %25 daha fazla olduğunu göstermiştir. Bu durum erkek ile kadın arasındaki fiziksel farkla ilişkilendirilmiştir. Bu kuvvet farkının tam frenleme mesafesi üzerinde etkisi olduğu deney sonuçlarında görülmüştür. İlave sistemlerle (Panik fren destek sistemi vb) taşıtlardaki frenleme daha efektif hale getirilse de sürücü faktörü hala frenleme performansında oldukça önemli olduğu gözlenmiştir.

- Yapılan testlerde debriyaj pedalı ile motordan gelen ataletin kesilmesi sayesinde debriyajlı frenleme durumunda fren mesafesinde genel olarak debriyajsız duruma göre ortalama %12 oranında bir düşüş elde edilmiştir.

- Aynı sürücü ile yapılan testlerin debriyajsız olanında fren pedalına uygulanan kuvvetin debriyajlı olana göre daha yüksek olduğu tüm test durumlarında görülmüştür.
- Fren pedalına uygulanan kuvvet arttığında fren iç hat basıncının da arttığı görülmüştür. Buna bağlı olarak kaliperin balatalara uyguladığı kuvvet artmış ve tam frenleme mesafesi azalmıştır.
- Kadın sürücülerin erkek sürücülere kıyasla fren pedalına uyguladıkları kuvvetlerin daha az olduğu gözlemlenmiştir.
- Sürücülerin yaş, boy ve kiloları ile fren pedalına uyguladıkları kuvvet arasında belirgin bir ilişki görülmemiştir.
- Debriyajsız deneylerde maksimum-minimum fren mesafesine sahip sürücüler arasında 2.80 metre fark görülmüştür.
- Debriyajlı deneylerde maksimum-minimum fren mesafesine sahip sürücüler arasında 3.79 metre fark görülmüştür.
- FSTC'nin sabit ataletinin toplam 160 kg kütledeki tambur ve tekerlekler

vasıtasıyla sağlanmasından dolayı deney sonuçlarında elde edilen tam frenleme süreleri gerçek bir taşıta göre oldukça düşüktür. Yaklaşık 1000-1200 kg kütlede olan gerçek bir taşıtın ataletinin FSTC'nin ataletinden oldukça fazla olduğu açıktır. Buradan yola çıkarak FSTC'den elde edilen fren mesafesi verilerinin bir korelasyon ile gerçek taşıta benzetilmesi gerektiği görülmüştür. Dolayısıyla bir düzeltme algoritması uygulanarak FSTC'nin yavaşlama ivmesi gerçek taşıt yavaşlama ivmesine benzetilmiştir. Düzeltilmiş yavaşlama ivmesi ve düzeltilmiş frenleme süresi kullanılarak düzeltilmiş tam frenleme mesafesi elde edilmiştir.

- Bütün test sonuçları beraber değerlendirildiğinde 60 km/s taşıt hızı için FSTC'ye uygulanan düzeltme algoritmasının bağlı hatasının %3.46 olduğu görülmüştür. FSTC'den elde edilen verilerin korelasyonu sağlandıktan sonra elde edilen düzeltilmiş verilerin literatürle benzerlik gösterdiği görülmüştür. Dolayısıyla uygulanan düzeltme algoritmasının FSTC ile yapılan çalışmalardaki durma mesafesi verilerinin gerçek taşıtlara benzetiminde kullanılabileceği ortaya konulmuştur.

## Teşekkür

Bu çalışma Afyon Kocatepe Üniversitesi 18.KARIYER.58 numaralı BAP projesi tarafından desteklenmiştir.

## 5. Kaynaklar

- Albatlan S. A., 2012. Automotive brake pipes characteristics and their effects on brake performance. *Ain Shams Engineering Journal*, **3**, 279-287.
- Bayrakçeken H., Aysal F. E., Mutlu İ., 2016. Fren Süspansiyon Test Cihazı Tasarımı ve İmalatı. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **16**, 454-460.
- Bayrakçeken H., Düzgün M., 2005. Taşıtlarda Fren Verimi ve Frenleme Mesafesi Analizi. *Politeknik Dergisi*, **8 (2)**, 153-160

- Çavdar A., Bayrakçeken H., 2006. Otomobillerde Kullanılan Frenleme Yardımcı Sistemlerinin İncelenmesi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 50-59.
- Deepa A. , Yashwant D. S., Mukesh V., Pranshu K., 2018. Analysis on Multi Linkage Brake System with Variable Pedal Ratio. *Materials Today: Proceedings*, **1**, 13606-13611.
- Düzgün M., Altıparmak D., Bayrakçeken H., 2005. Otomobillerde Fren (Durma) Mesafesinin Deneysel Olarak Belirlenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, **18**, 153-165.
- Fambro D. B., Rodger K., Dale P., Fitzpatrick K., 2000. Driver Braking Performance in Stopping Sight Distance Situations. *Transportation Research Record*, **1701**, 9-16.
- Göktan A. G., Güney A., Ereke M., 1995. Taşıt Frenleri, İstanbul: İTÜ Makina Fakültesi, Otomotiv Anabilim Dalı.
- Pawar N. M., Khanuja R. K., Choudhary P., Velaga N. R., 2020. Modelling braking behavior and accident probability of drivers under increasing time pressure conditions. *Accident Analysis & Prevention*, **136**, 105401.
- Ryzhikov V. A., Batyshchev D. Y., 2017. Differential Braking Device. *Procedia Engineering*, **206**, 1570-1576.
- Sun R., Zhuang X., Wu C., Zhao G., Zhang K., 2015. The estimation of vehicle speed and stopping distance by pedestrians crossing streets in a naturalistic traffic environment. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, **30**, 97-106.
- Surblys V., Sokolockij E., 2015. Research of the Vehicle Brake Testing Efficiency. *9th International Scientific Conference Transbaltica*, Lithuania.
- Yadav A. K., Velaga N. R., 2019. Effect of alcohol use on accelerating and braking behaviors of drivers. *Traffic Injury Prevention*, **20**, 353-358.