



**FARKLI YOL ŞARTLARI ALTINDA TAŞITIN
DURMA MESAFESİNİN
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhammet ÖZBEY

Danışman

Prof. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Mart 2022

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**FARKLI YOL ŞARTLARI ALTINDA TAŞITIN DURMA
MESAFESİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

Muhammet ÖZBEY

Danışman

Prof. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Mart 2022

TEZ ONAY SAYFASI

Muhammet ÖZBEY tarafından hazırlanan “Farklı Şartlar Altında Taşıtın Durma Mesafesinin Deneysel Olarak İncelenmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 23/05/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği / oy çokluğu** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Anabilim Dalı Adı Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN

Başkan :Dr. Öğr. Üyesi Bülent DEMİR
Haliç Üniversitesi, Meslek Yüksek Okulu

Üye : Prof. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Faruk Emre AYSAL
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
..... /..... /..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. İbrahim EROL
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

25/03/2022

Muhammet ÖZBEY

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FARKLI YOL ŞARTLARI ALTINDA TAŞITIN DURMA MESAFESİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Muhammet ÖZBEY

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN

Araçların durma mesafesi trafikte can, mal kayıplarına ve trafik güvenliğine etki eden başlıca parametrelerden biridir. Durma mesafesi; fren sistemi, yol şartları, reaksiyon süresi gibi değişkenler başta olmak üzere birçok farklı parametreden oluşmaktadır ve farklı değerler alabilmektedir. Fren sistemi, araçların güvenlik sistemleri içerisinde hayati bir öneme sahiptir. Fren sisteminin üç temel işlevinden bir tanesi olan aracı durdurma birçok değişkenden etkilenmektedir. Yoldaki engebeler ve çukurlar, aracın lastik basıncı vb. parametreler aracın durma mesafesi üzerinde büyük bir etkiye sahiptir.

Yapılan bu çalışmada farklı şartlar altındaki çukur, tümsek ve engebeli yolları simüle ederek taşıtın durma mesafesindeki farklılıklar deneysel olarak ortaya konulmaya çalışılmıştır. Araştırma, taşıt güvenliğindeki mevcut durumları belirlemek, taşıtlarda sürüş kolaylığı, durma mesafelerinin iyileştirilmesi, can ve mal güvenliği gibi önemli birçok konudaki gelişmelere katkı sağlanması açısından önem taşımaktadır. Araştırma deneysel bir çalışmadır. Deneysel çalışmaların verileri yarım taşıt test cihazı ile belirlenmiştir. Bu verilerden yola çıkarak aracın durma mesafesinin farklı şartlara göre nasıl değiştiği incelenmiştir. Araştırma sonucunda düşük hızda yüksek engebenin fren mesafesini azalttığı görülmüştür.

2022, ix + 78 sayfa

Anahtar Kelimeler: Fren Test Cihazı, Frenleme, Taşıt Durma Mesafesi

ABSTRACT
M.Sc. Thesis

**EXPERIMENTAL EXAMINATION OF VEHICLE STOP DISTANCE UNDER
DIFFERENT ROAD CONDITIONS**

Muhammet ÖZBEY

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Automotive Engineering

Supervisor: Prof. Hüseyin BAYRAKÇEKEN

The stopping distance of the vehicles in traffic; It is one of the main parameters affecting the loss of life and property and traffic safety. Stopping distance; It consists of many different parameters, especially variables such as braking system, road conditions, reaction time, and can take different values. The brake system has a vital importance in the safety systems of vehicles. Stopping the vehicle, which is one of the three basic functions of the braking system, is affected by many variables. Unevenness and potholes on the road, tire pressure of the vehicle, etc. parameters have a great influence on the stopping distance of the vehicle.

In this research, it was tried to experimentally reveal the differences in the stopping distance of the vehicle by simulating potholes, bumps and rough roads under different conditions. The research is important in terms of determining the current situations in vehicle safety, contributing to developments in many important issues such as ease of driving in vehicles, improvement of stopping distances, life and property safety. The research is an experimental study. The data of the experimental studies were determined by the half vehicle model. Based on these data, it was examined how the stopping distance of the vehicle changes according to different conditions. As a result of the research, it was seen that high unevenness at low speed reduces the braking distance.

2022, ix + 78 pages

Keywords: Brake Test Device, Braking, Vehicle Stop Distance

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarında dolayı tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN'e, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen Sayın Dr. Öğr. Üyesi Faruk Emre AYSAL'a her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Muhammet ÖZBEY
Afyonkarahisar 2022

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
RESİMLER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Taşıtlarda Fren Sistemi	3
1.2 Hidrolik Fren Sistemi	4
1.2.1. Fren Pedalı.....	7
1.2.2 Fren Kuvvetlendirici.....	8
1.2.3 Fren Merkez Silindiri.....	10
1.2.4 Hidrolik Basınç İletimini Sağlayan Borular	11
1.2.5 Fren Tekerlek Silindirleri	12
1.2.6 Fren Tekerlek Mekanizması	12
1.2.7 Fren Kaliperi.....	12
1.3 ABS Fren Sistemi	15
1.4 Havalı Fren Sistemi	17
1.5 Durma Mesafesi.....	18
1.6 Yuvarlanma Direnci	19
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	20
2.1.Fren Süspansiyon Test Cihazı ile İlgili Yapılan Çalışmalar.....	20
2.2 Frenleme ile İlgili Yapılan Çalışmalar	21
2.3. Fren Sistemi ile İlgili Yapılan Çalışmalar	25
2.4. Yol Şartları ile İlgili Yapılan Çalışmalar	28
3. MATERYAL ve METOT	31
3.1 Engebesiz-Frensiz Deney	39
3.2 Engebesiz-Frenli Deney	41
3.3 Yüksek Engebeli-Frensiz Deney	43

3.4 Yüksek Engelibeli Frenli Deney	45
3.5 Orta Engelibeli-Frensiz Deney	47
3.6 Orta Engelibeli-Frenli Deney	49
3.7 Az Engelibeli-Frensiz Deney	51
3.8 Az Engelibeli-Frenli Deney	53
4. BULGULAR	57
4.1 Durma Mesafesi Verileri	58
4.2 Fren Hat Basıncı Verileri.....	63
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	71
6. KAYNAKLAR.....	73
ÖZGEÇMİŞ.....	78

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

a_{FSTC}	Fren süspansiyon test cihazı yavaşlama ivmesi (m/s^2)
a_{GT}	Gerçek taşıtın yavaşlama ivmesi (m/s^2)
F_f	Frenleme kuvveti (N)
F_p	Pedal kuvveti (N)
I_{FSTC}	Fren süspansiyon test cihazı ataleti ($kg \cdot m^2$)
I_{GT}	Gerçek taşıt ataleti ($kg \cdot m^2$)
t_{FSTC}	Fren süspansiyon test cihazında hesaplanan durma süresi (s)
t_{GT}	Gerçek taşıtın durması için geçen süre (s)
Δs	Zaman değişimi (s)
ΔV	Hız değişimi (m/s)
θ	Düzeltilme faktörü
μ	Sürtünme katsayısı

Kısaltmalar

$^{\circ}C$	Celcius
A	Amper
ABS	Anti-lock Brake System
DT	Diferansiyel termal analiz
ECU	Elektronik control unit
EDS	Enerji dağılımlı x-ışını analizi
FSTC	Fren süspansiyon test cihazı
GT	Gerçek taşıt
Km/h	Kilometre/saat
kW	Kilowatt
L	Litre
m	Metre
Mm	Milimetre
N	Newton
Nm	Newtonmetre
R	Radial
Rpm	Revolutions per minute
Sn	Saniye
Vb.	Ve benzeri
Vd.	Ve diğerleri
TG	Termo gravimetrik
XRF	X-ışını floresans spektrometresi

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1 Fstc'deki fren sisteminin şematik görünümü.....	31
Şekil 3.2 Yarım Taşıt Tipi FSTC-Tam Fren Mesafesi Düzeltme Algoritması.....	33
Şekil 3.3 Fstc cihazı arayüzü.....	35
Şekil 3.4 Eğri ve datalar arayüzü.....	36
Şekil 3.5 Yol engebe temsili gösterimi.....	37
Şekil 3.6 Engebesiz frensiz deney Fstc değerleri.....	39
Şekil 3.7 Engebesiz-frensiz deney çizelgesel değerler.....	40
Şekil 3.8 Engebesiz-frenli deney Fstc değerleri.....	41
Şekil 3.9 Engebesiz-frenli deney çizelgesel değerler.....	42
Şekil 3.10 Yüksek engebeli-frensiz deney Fstc değerleri.....	43
Şekil 3.11 Yüksek engebeli-frensiz deney çizelgesel değerler.....	44
Şekil 3.12 Yüksek engebeli-frenli deney Fstc değerleri.....	45
Şekil 3.13 Yüksek engebeli-frenli deney çizelgesel değerler.....	46
Şekil 3.14 Orta engebeli-frensiz deney Fstc değerleri.....	47
Şekil 3.15 Orta engebeli-frensiz deney çizelgesel değerler.....	48
Şekil 3.16 Orta engebeli-frenli deney Fstc değerleri.....	49
Şekil 3.17 Orta engebeli-frenli deney çizelgesel değerler.....	50
Şekil 3.18 Az engebeli-frensiz deney Fstc değerleri.....	51
Şekil 3.19 Az engebeli-frensiz deney çizelgesel değerler.....	52
Şekil 3.20 Az engebeli-frenli deney Fstc değerleri.....	53
Şekil 3.21 Az engebeli-frenli çizelgesel değerler.....	54

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1 Hidrolik fren sistemi elemanlar.....	6
Çizelge 3.1 Fren süspansiyon test genel cihazının özellikleri.....	32
Çizelge 3.2 Deneylerde disk sıcaklığı.....	55
Çizelge 3.3 Deney değişkenleri.....	56
Çizelge 4.1 Engebessiz-frenli deney durma mesafeleri.....	58
Çizelge 4.2 Yüksek engebeli-frenli deney durma mesafeleri.....	59
Çizelge 4.3 Orta engebeli-frenli deney durma mesafeleri.....	60
Çizelge 4.4 Az engebeli-frenli deney durma mesafeleri.....	61
Çizelge 4.5 Ortalama durma mesafeleri karşılaştırılması.....	62
Çizelge 4.6 Engebessiz-frenli deney hat basınçları.....	64
Çizelge 4.7 Yüksek engebeli-frenli deney hat basınçları.....	65
Çizelge 4.8 Orta engebeli-frenli deney hat basınçları.....	66
Çizelge 4.9 Az engebeli-frenli deney hat basınçları.....	67
Çizelge 4.10 Ortalama hat basıncı karşılaştırılması.....	68

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 1.1 Hidrolik fren sistemi şematik gösterimi.....	4
Resim 1.2 Pascal prensibi genel görünüm.....	5
Resim 1.3 Disk ve kampana fren.....	6
Resim 1.4 Kaldıraç prensibi genel görünüm.....	7
Resim 1.5 Fren kuvvetlendirici.....	8
Resim 1.6 Fren merkez silindiri.....	10
Resim 1.7 Çelik borular.....	11
Resim 1.8 Fren tekerlek silindiri.....	12
Resim 1.9 Fren kaliperi.....	13
Resim 1.10 ABS fren sistemi.....	16
Resim 1.11 Havalı fren sistemi.....	17
Resim 1.12 Yuvarlanma direnci.....	19
Resim 3.1 Fren süspansiyon test cihazı genel görünüm.....	34

1. GİRİŞ

Dünyada hızla gelişen otomotiv endüstrisi taşıtların kullanımını hızlı bir şekilde arttırmıştır. Taşıtlardaki en temel güvenlik unsuru fren sistemidir.

Hareket halindeki bir taşıtın hızını kesmek veya durdurmak için kullanılan düzeneğe fren sistemi denir. Taşıtın mevcut kinetik enerjisini sürtünme yolu ile ısı enerjisine dönüştürmektedir. Oluşan ısı enerjisi taşıtın fren disklerine yapılan baskı ile meydana gelmektedir. Bu baskı taşıtın durmasını veya yavaşlamasını sağlar.

Fren sistemi, insanların can ve mal güvenliğini muhafaza eden sistemlerin başında gelmektedir. Günümüzde kullanılan taşıtlarda birden fazla fren sistemi mevcuttur. Her fren sisteminin kendine ait bir kullanımı olsa da aynı amaca hizmet etmektedirler. Bu amaç taşıtı yavaşlatmak, durdurmak veya olduğu yerde sabitlemektir. Günümüz taşıtlarında verim ve kullanım kolaylığı bakımından genel olarak hidrolik fren sistemlerinin kullanıldığı görülmektedir. Fren sistemlerinde aracı yavaşlatmak veya durdurmak gerektiğinde fren etkinliği önemli bir rol almaktadır. Ani ve panik frenlerde durma mesafesinin uzunluğu, frenlemenin ne kadar sürdüğü vb. değişkenler fren sistemi etkinliğine bağlıdır. Bu değişkenlerin en optimal aralıklarda olması trafik güvenliği açısından önemli bir durumdur. Yol şartlarının durma mesafesi üzerinde etkin bir rolü olduğu bilinmektedir.

Yapılan çalışmada durma mesafesinin yol şartlarına göre değişimi incelenmiştir. Trafikte gerçekleşen kazaların sebeplerinden bir tanesi de takip mesafesini koruyamamaktır. Takip mesafesinin korunmadığı durumlarda, ani bir fren yapmak trafikte olumsuzluklara yol açabilir. Uygun takip mesafesinin korunmaması, frenleme mesafesinin takip mesafesini aşmasına sebep olabilir. Frenleme mesafesinin takip mesafesini aşması ise kazaya sebebiyet verebilir.

Bayrakçeken ve Düzgün (2005) Durma mesafesi frenleme sürecinin başlamasından itibaren taşıtın durmasına kadar alınan toplam yoldur şeklinde ifade etmişlerdir.

Durma eyleminin gerçeklemesine kadar geçen sürede etkin olan birtakım faktörler bulunmaktadır.

Frenleme yapıldığında aracın durması ve yavaşlaması sürecinde toplam frenleme süresi etkili bir faktördür. Toplam frenleme süresi; reaksiyon zamanı, aktif frenleme zamanı ve serbest bırakma zamanı olarak üç farklı basmaktan meydana gelmektedir (Altıparmak ve Koca 2001).

Durma mesafesi ve fren sistemi arasındaki ilişki Düzgün vd.ne göre (2005) bir fren sisteminin performansını belirleyen ana faktör, frenleme başlangıcındaki taşıt hızı ve taşıtın yavaşlama ivmesine bağlı olarak değişen durma mesafesidir.

Seyir halindeki bir aracın durduğu ana kadar geçen sürede araca birden fazla faktör etki etmektedir. Yol şartları da durma mesafesindeki değişkenlerden biridir. Karayolları genelinde tek tip bir yoldan bahsetmek mümkün değildir. Engebeli, ukurlu, asfalt türlerine göre vb. yönden karayolları farklılık göstermektedir. Durma anına kadar araca etki eden birden fazla i ve dış faktör bulunmaktadır. Aracın donanımı, yol şartları, hava şartları vb. faktörler durma mesafesi üzerinde etkili olup bu durumu komplike bir hale getirebilmektedir.

Günümüz teknolojisinde FSTC (Fren Süspansiyon Test Cihazı) taşıt-fren analizine yönelik çalışmalara ve deneysel çalışmalara da katkı sağlamaktadır.

Bayrakçeken vd.ne göre (2016) taşıtların farklı yol şartlarındaki fren-süspansiyon testlerinin laboratuvar ortamında yapılmasını sağlayacak bir taşıt test cihazı tasarlanıp imal edilmiştir. Fren süspansiyon test cihazı ile özellikle fren performansı testlerinin laboratuvar ortamında farklı yol şartlarını simüle ederek gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Fren süspansiyon test cihazı araştırmacıların üzerinde çalıştığı problemlere çözümler bulma konusunda yardımcı olmak üzere geliştirilmiştir. Yol testlerinde maliyet oldukça yüksek olabilmekte ve hava şartları vb. faktörler nedeniyle doğruluk değerleri düşük olabilmektedir.

1.1 Taşıtlarda Fren Sistemi

Gerek sürücü gerek trafikteki diğer sürücüler için önemli bir rol taşıyan fren sistemi, taşıtların güvenlik sisteminin temelini oluşturmaktadır.

Fren sistemi, hareket halindeki araçların kinetik enerjisini sönmülemeye ve duran araçlardaki hız fonksiyonunu stabilize etmeye yardımcı olan güvenlik sistemidir. Gerek can güvenliği gerekse mal güvenliği açısından bu sistemler önemli bir yer tutmaktadır.

Seyir halindeki kara taşıtları eğer durdurulamaz ise can ve mal kayıplı kazalar ortaya çıkabilir. Bu durum göz önüne alındığında taşıtlardaki can ve mal güvenliğini korumak için en önemli sistemin fren sistemi olduğu görülmektedir (Topuz ve Topuz 2018).

Günümüzde fren sistemleri yapısal özelliklerine göre farklı şekillerde sınıflandırılabilir. Temel olarak fren sistemleri şu şekilde sınıflandırılabilir;

Yardımcı fren sistemlerine göre

- Motor freni
- Egzoz freni
- Retarder (Yavaşlatıcı)

Tekerlek Ünitelerine Göre Fren Çeşitleri;

- Kampana ve disk frenler,

Fren sistemi etkinliğine göre

- Ön-Arka ayrı
- Ön-Arka çapraz
- Ön-Arka çoklu

Fren Kuvveti İletim Sistemlerine Göre Fren Çeşitleri;

- Hidrolik frenler
- Mekanik frenler
- Havalı frenler
- Elektrikli frenler

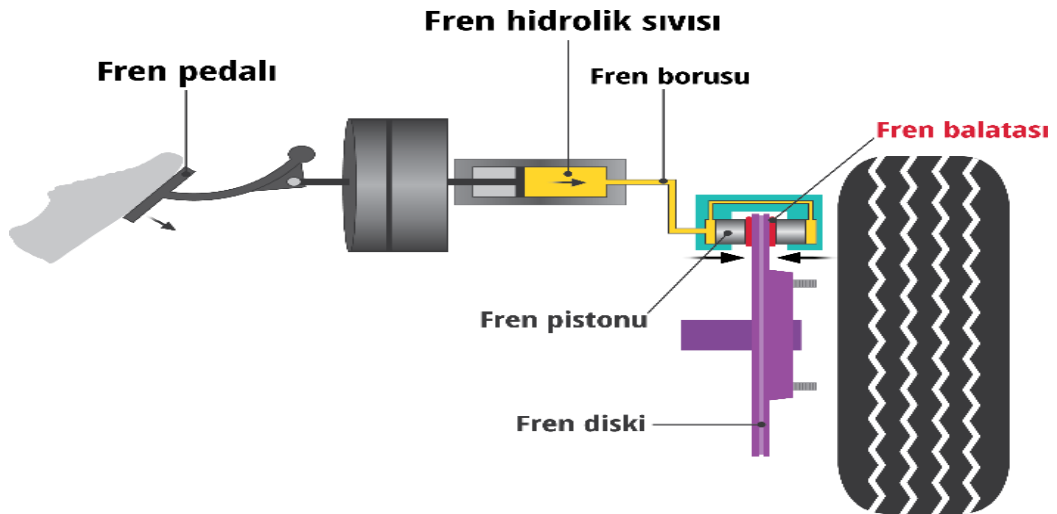
İşlevlerine Göre Fren Çeşitleri;

- Ayak freni
- El freni

1.2 Hidrolik Fren Sistemi

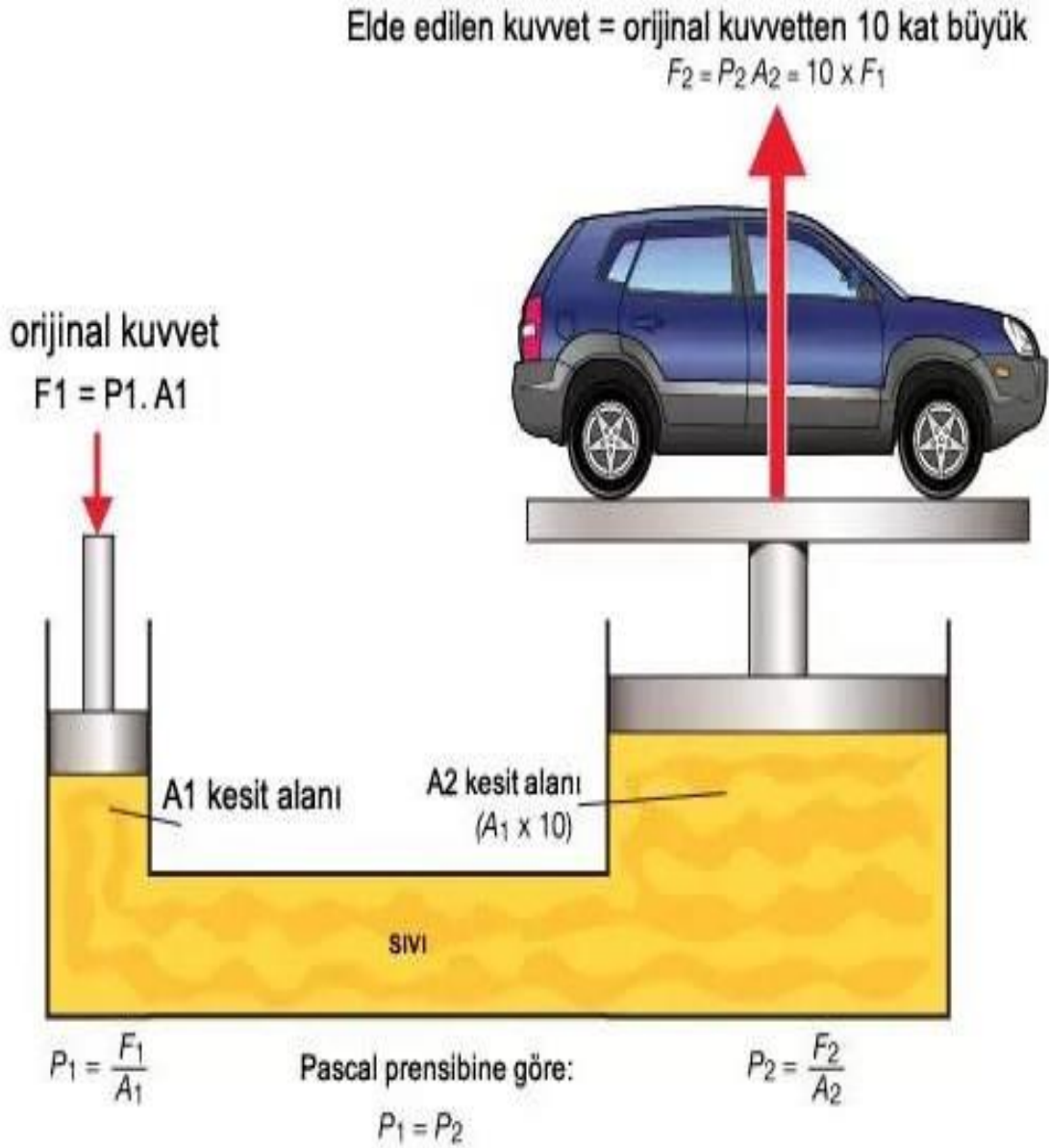
Genel olarak otomobillerde kullanılan sistem hidrolik fren sistemidir. Resim 1.1’de bir hidrolik fren sistemi gösterilmiştir. Diskli bir sistemin çalışma prensibi şu şekilde özetlenebilir;

Fren pedalına kuvvet uygulandığında sistemdeki hidrolik üzerindeki basınç artmaya başlar ve bu basınç bir pistonun aracılığıyla fren diskine ulaşır. Diske ulaşan kuvvet sürtünmenin etkisiyle aracın yavaşlamasına durmasına yol açar.



Resim 1.1 Hidrolik fren sistemi şematik gösterimi (İnt. Kyn. 1).

Hidrolik fren sistemi, sıvıların basıncı iletmesi prensibine (Pascal Prensibi) dayanmaktadır. Resim 1.2’de bir Pascal prensibinin bir kullanım alanı gösterilmektedir. Hidrolik fren sisteminde hidrolik yağların basıncından faydalanılır. Sistemin devreye girmesi için fiziki olarak fren pedalına kuvvet uygulanması gerekir. Pedala uygulanan bu kuvvet merkez silindir pistonu üzerinde basınç oluşturmaktadır. Meydana gelen basınç, borular aracılığı ile tekerlek silindirine iletilmektedir. Tekerlek silindirine iletilen bu basınç tekerlek silindir pistonlarını devreye alarak frenlemeyi gerçekleştirmektedir.

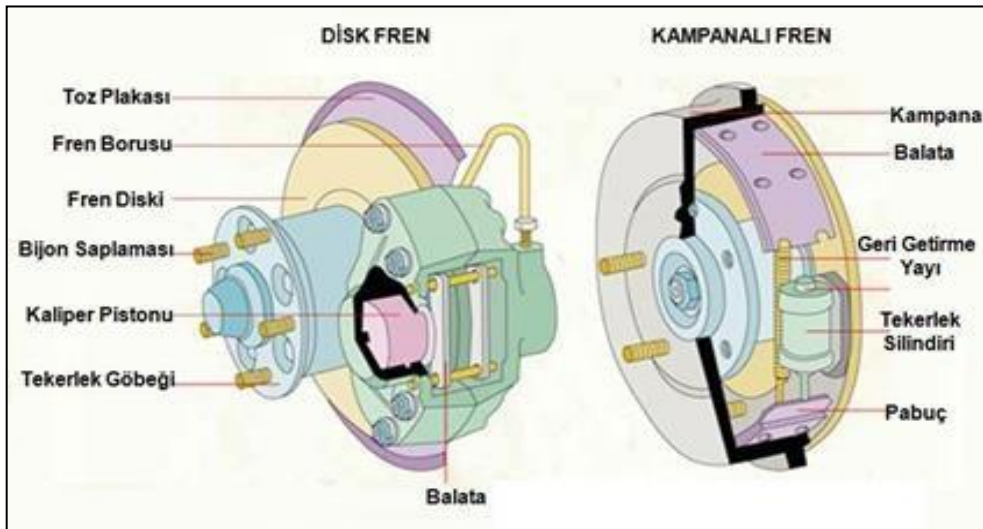


Resim 1.2 Pascal prensibi genel görünüm (İnt. Kyn. 2).

Hidrolik fren sistemi parçaları; Çizelge 1.1 ve Resim 1.3'te parçalar gösterilmiştir.

Çizelge 1.1 Hidrolik fren sistemi elemanlar.

Hidrolik Fren Sisteminde Bulunan Elemanlar	
Diskli Fren Sistemi	Kampanalı Fren Sistemi
Fren Pedalı	
Fren Kuvvetlendirici	
Fren Merkez Silindiri	
Hidrolik Basınç İletimini Sağlayan Borular	
Fren tekerlek silindirler	
Fren tekerlek mekanizması	
Fren Kaliperi	
Toz plakası	Geri getirme yayı
Fren disk	Tekerlek silindiri
Kaliper pistonu	Pabuç
Disk balatası	Kampana balatası



Resim 1.3 Disk ve kampana fren (İnt. Kyn. 3).

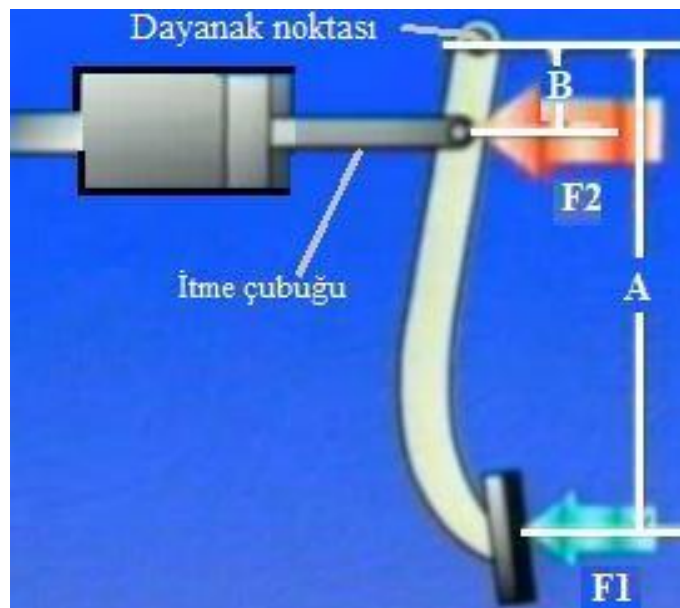
1.2.1. Fren Pedalı

Otomobillerde sürücü fren yapmaya karar verdikten sonra frenleme eylemini başlatan parça, fren pedalıdır. Fren sistemindeki önemli parçalardan biri olup taşıtı durdurmak veya yavaşlatmak için kullanılır. Pedala uygulanan kuvvet sonrasında fren sistemi aktifleşerek aracın mevcut kinetik enerjisini sönmüleyerek taşıtın yavaşlamasını ya da durmasını sağlamaktadır.

Fren pedalının çalışması Pascal'ın kaldırma prensibine dayanır. Uygulanan küçük bir kuvvet büyük bir kuvvet olarak fren merkezine iletilir. İletilen kuvvet, uygulanan kuvvetin 4 ile 5 katı olarak değişmektedir. Buradaki fren pedalı tek taraflı bir kaldırma sisteminden ibarettir (Anonim, 2020).

Günümüz otomobillerinin birçoğunda hidrolik fren sistemleri kullanılmaktadır. Pascal kanununu gereği fren merkezi içinde meydana gelen basınç fren hattından tekerlek silindirlerine ulaşır. İletilen bu basınç fren balataları ve diskleri üzerinde kuvvet oluşturmaktadır.

Kaldırma prensibi;



Resim 1.4 Kaldırma prensibi genel görünüm (İnt. Kyn. 4).

Kaldıraç prensibi Resim 1.4’de görüldüğü gibi fren pedalıyla uygulanır. Formülü:

$$F1 \cdot A = F2 \cdot B \quad (1.1)$$

olarak sunulmuştur.

F1: Pedal kuvveti

F2: İtici çubuk kuvveti

A: Fren pedalının merkezinden destek noktasına olan mesafe

B: İtme çubuğundan destek noktasına olan mesafe

Resim 1.4’de *A* mesafesinin, *B* mesafesine göre beş kat fazla olduğu düşünülürse pedala uygulanan *F1* kuvveti, *F2* kuvvetine göre beş kat artacaktır. Fren servosuyla atmosfer basıncını kullanarak bu kuvveti daha da arttıracaktır (Anonim, 2013).

1.2.2 Fren Kuvvetlendirici

Westinghouse fren sistemi, hidrovak ve fren servosu isimleri ile bilinen fren kuvvetlendiricisi Resim 1.5’te gösterilmektedir. Fren kuvvetini yaklaşık olarak 5 katına çıkarıp fren pedalı kullanımını kolaylaştırmaktadır (İnt. Kyn. 5).

Panik ve ani frenleme anlarında pedala çok fazla kuvvet uygulamaya gerek kalmaz ve sürücü için frenleme eylemini kolaylaştırır. Hidrovak sayesinde sürücü ekstra bir güç harcamadan pedala basmasıyla frenleme eylemini gerçekleştirmeye başlar (İnt. Kyn. 5).



Resim 1.5 Fren Kuvvetlendirici (İnt. Kyn. 5).

Fren pedalının üzerinde yapılan itme hareketi ise itme çubuğu olan valf kontrol çubuğu ile birlikte fren servosunun tam orta noktası üzerinden iç bölümüne doğru girer ve içeri de yer alan diyafram yapısına bağlanmış olan diğer itme çubuğunu iter. Diyaframda yer alan bu itme çubuğunun çıkış ucu, westinghouse fren merkezi silindirindeki pistonu hareket ettirir. Westinghouse yapısında yer alan diyafram plaka, kauçuk ve hava geçirmez bir malzemeden yapılmıştır. Bu diyafram westinghouse fren sistemini ikiye bölmektedir. Bazı araçlarda westinghouse fren gücünü daha da artırmak için çift diyafram yapısında yer almaktadır. Pedal tarafında yer alan oda basınç odası olarak, fren pedalına basılması halinde giriş çubuğunun, bir valf açmasıyla atmosfer basıncını bu oda içerisine alır. Alınan bu hava westinghouse fren merkezine iletilir (İnt. Kyn. 5).

Motor çalışması ile birlikte vakum sistemi de oluşur. Bu sayede vakum pedalı da yumuşamaya başlar. Vakum pompası motordan dairesel bir hareket alarak içerideki havayı vakumlamaktadır. Benzinli araçlarda westinghouse fren sistemi bu şekilde görev yapmaktadır. Dizel araçlar da fren sistemi aşırı hava beslemesi ile birlikte çalışmaktadır. Emme manifoldlarında herhangi bir vakum sistemi bulunmaz. Dizel araçlarda westinghouse fren sistemi ise vakum sistemini farklı şekillerde sağlanması gerekmektedir. Dizel araçlarda gerekli olan vakum sistemi, mekanik ya da elektrikli vakum pompası sayesinde elde edilerek, westinghouse fren sistemine iletilir. Dizel araç içerisinde yer alan mekanik vakum pompası silindir kapağı, hareket işlemini eksantrik milinden alan bir tipte olabileceği gibi alternatörün arkasına yerleştirilmiş olan bir vakum pompası tipi de olabilmektedir. Buradaki vakum hattı bir çek ile valf fren servosuna bağlanmaktadır (İnt. Kyn. 5).

Westinghouse fren sistemi piston üzerinden çalışmaktadır. İki piston yer alan bu sistemde ilk olarak ön ardından arka tarafa işlem uygulanmaktadır. Fren pedalına basıldığında piston kapanarak ön frenlere hidrolik basılması ile birlikte ikinci piston kapanır ve arka frenlere hidrolik basılır. Westinghouse fren merkezi üzerinde bir boruda kaçak olması halinde pistonlar oldukça yumuşak bir şekilde basacaktır. Bunun nedeni kaçak oluşması nedeniyle piston içerisine hidrolik basılmaz ve bu da daha sert bir basım yerine oldukça yumuşak bir basıma neden olacaktır (İnt. Kyn. 5).

1.2.3 Fren Merkez Silindiri

Fren merkez silindiri (fren merkez pompası), sürücünün fren pedalına uyguladığı kuvveti, hidrolik sistemde basınca dönüştürerek fren mekanizmasına gönderen parçadır. Resim 1.6'da fren merkez silindiri gösterilmektedir.



Resim 1.6 Fren merkez silindiri (İnt. Kyn. 6).

Fren merkez silindirinin görevleri;

- Hızlı bir şekilde fren hattında hidrolik basıncı oluşturmak,
- Fren pedalına kuvvet uygulanması son bulduğunda hidrolik basıncı hızla düşürmek,
- Fren hidrolik sıvısındaki sıcaklık farkından dolayı ortaya çıkan hacimsel değişikliği dengelemek,
- Balata aşınmasından dolayı frenlerde ortaya çıkan boşluğun olmaması için fren hattındaki hidroliği tamamlamak (fren hidroliği deposu aracılığıyla).

olarak sıralanabilir.

1.2.4 Hidrolik Basınç İletimini Sağlayan Borular

Çelik borular, tekerlek silindirleri ile fren merkez silindiri arasındaki hidrolik basıncın transferini sağlar. Bu borular fren sistemine rekorlar aracılığı ile bağlanır. Fren boruları, korozyon ve pаса dayanıklı olması için bakır ile kaplanıp kurşun ile sıvanmaktadır. Resim 1.7’de çelik borular gösterilmektedir.

Fren hidrolik boruları korozyona ve pаса karşı dayanıklı çatlaksız çelik malzemeden üretilirler. Borular yüksek hidrolik basınçlarının iletilmesine dayanıklıdır ve titreşimlerden etkilenmezler (Anonim, 2020).



Resim 1.7 Çelik borular.

1.2.5 Fren Tekerlek Silindirleri

Tekerlek silindirleri, içindeki pistonların hareketiyle hidrolik basıncı mekanik kuvvete dönüştürürler. Ortaya çıkan hidrolik basınç balataların diske sürtünmesini sağlar. Resim 1.8’de fren tekerlek silindiri gösterilmektedir.



Resim 1.8 Fren tekerlek silindiri (İnt. Kyn. 7).

1.2.6 Fren Tekerlek Mekanizması

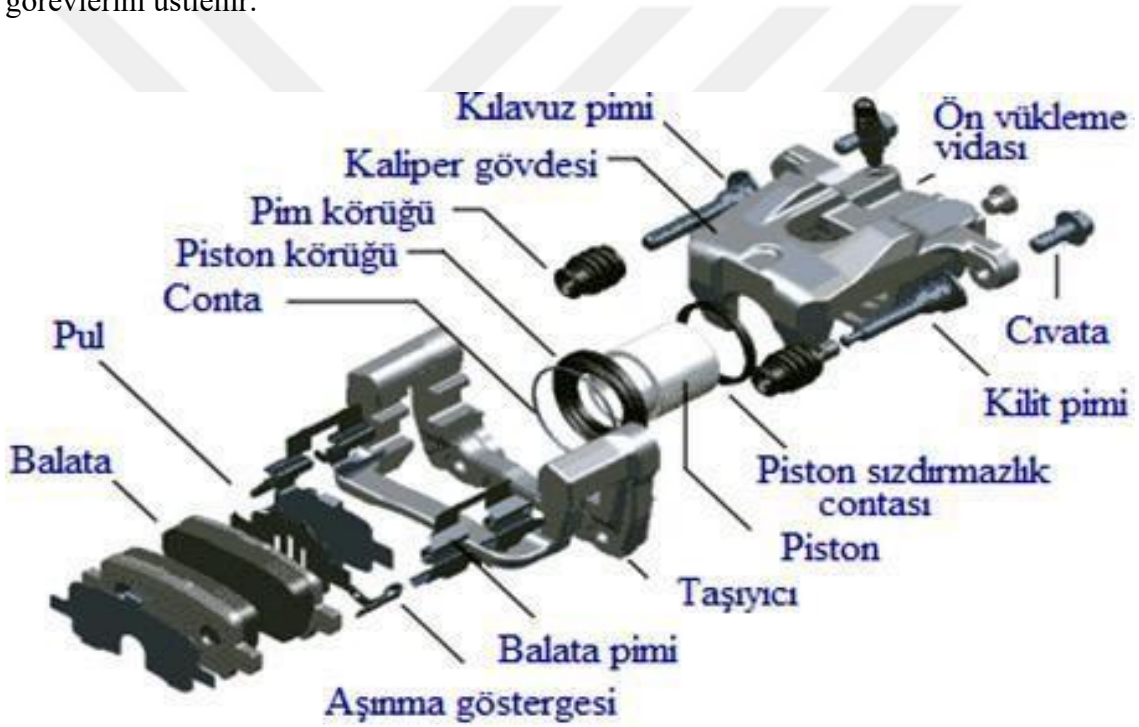
Bu mekanizma, hidrolik basınçtan mekanik kuvvet elde ederek frenlemenin oluşmasını sağlar. Fren pedalına ayakla uygulanan kuvvet, pedalda itme kuvveti oluşturur. Bu hareket aracılığı ile merkez silindirinin pistonu itilir. Pistondaki bu kuvvet sistem içerisindeki sıvı sayesinde fren tekerlek silindirine ulaşır. Fren tekerlek silindirleri hidrolik basıncı fren pabucuna ulaştırır. Bu mekanizmada oluşan sürtünme kuvveti otomobilin enerjisini sönmölemek üzere kullanılır.

1.2.7 Fren Kaliperi

Araç endüstrisinde, tasarım, sistem ve donanımsal bazda birbirinden farklı parçalar bulunmaktadır. Fren sisteminin ana parçalarından birisi fren kaliperidir. Taşıtın durdurma kuvvetini sağlayan, bunu üretebilmek için fren diskine kuvvet uygulamaya başlayacak şekilde üretilen fren balatasını içinde bulunduran, balatayı üzerinde taşıyan

ve fren diskine doğru ileri geri hareket etmesini sağlayan hidrolik kuvvetle çalışan fren sistemi elemanıdır. Taşıtı yavaşlatmak veya durdurmak için öncelikli olarak kaliperin aktifleşmesi gerekir. Fren kaliperi Resim 1.9’da gösterilmektedir.

Fren pedalına kuvvet uygulandıktan sonra fren hidroliği üzerinde basınç oluşmaktadır. Meydana gelen basınç, frene uygulanan kuvvet sonrasında ana silindir içerisinden kalipere iletilmektedir. Kaliper basıncı uygulanması ile beraber pistonu da bir basınç iletir ve bu basınç sonrasında fren balatalarını diske doğru hareket ettirir. Karmaşıklığından uzak bir sistem olarak görünse de kaliperler, komplike bir yapıya sahiptirler. Oluşturduğu kuvvet ile beraber taşıtı yavaşlatmak veya durdurmak görevlerini üstlenir.



Resim 1.9 Fren kaliperi (İnt. Kyn. 4).

- *Toz plakası*: Fren balatasının fren kaliperi üzerinde tutunmasını ve sıcaklığını fren sistemindeki diğer elemanlara iletmesi ile görevlidir. Birçok fren balatası, frenleme sırasında da oluşan rahatsız edici gürültüyü en düşük seviyeye getirmek için özel olarak üretilmiş yaylar, folyolar, çelik sac ve boya şeklinde ters tarafta sönümleme özelliğine sahiptirler. Aracın fren sistemi devreye girdiği anda, fren balatası ile fren diski arasındaki bulunan toz plakasına bastırılır. Toz plakası ve alt tabaka arasında bulunan çok ince sadece birkaç mikrometre kalınlığına sahip yapışkan bir tabaka bulunmaktadır.

Toz plakası ve ara tabaka aracılığıyla sürtünme malzemeleri arasında güvenlik sınırı oluşmaktadır.

- *Fren diski:* Aracın fren sistemine dâhil olan ve aracın düzgün bir şekilde yavaşlamasını sağlayabilmesi için, fren balatasının sürtündüğü parçadır. Fren diski araçta sürekli sürtünmeye maruz kaldığı için en çok yıpranan parçaların başında gelmektedir ve bu parçaların belli zaman aralıklarında mutlaka kontrol edilmesi sürüş güvenliği açısından şarttır. Fren diski; fren pedalına basıldıktan sonra, fren merkezinden giden basınçlı hidroliğin, fren balatalarını iterek, disklere baskı yapmasıyla görevini yerine getirmektedir.
- *Kaliper pistonu:* Otomobil durdurulmak ya da yavaşlatılmak istendiği zaman fren pedalına basılmaktadır. Bu eylem hidrolik sıvının pompalanmasına yol açar. Hidrolik sıvı üzerinde oluşan basınç fren pistonlarını harekete geçirir. Pistonlar balataları iterek fren diskinin sıkışmasını sağlarlar. Fren diskinin sıkışması aracın yavaşlama ya da durma işlevini gerçekleştirir. Kısaca fren pistonunun işlevi hidrolikten gelen basınçla balataları iterek sıkıştırmaktır.
- *Disk balatası:* Araçların fren sisteminin elemanlarından birisi olan fren balatası yavaşlama ve durma işlevlerini gerçekleştiren, sürtünmeyi başlatan elemandır. Fren balataları fren sisteminde çok önemli bir role sahiptir. Fren balataları fren diskine sürtünme ile otomobilin kinetik enerjisini termal enerjiye dönüştürür. Fren balatası, fren kaliperi ile disk arasında bulunur. Fren balatalarının değişken çalışma koşullarında en iyi frenleme sonuçlarını elde etmeleri için, farklı bileşenlerden oluşan karmaşık malzeme yapıları vardır. Fren balatası her koşula uygun olmalı ve etkinliğini sürdürebilmelidir.
- *Geri getirme yayı:* Fren pedalına kuvvet uygulandığında dışa doğru hareket eden ve kampanaya temas eden fren pabuçlarını, fren pedalı üzerinden kuvvet kaldırıldığında geri çekerek normal pozisyonuna getiren yaylardır.

- *Tekerlek silindiri*: Fren hortumu ile fren silindiri birbirine bir rekor ile bağlanmıştır. Tekerlek silindiri hidrolik basınçtan faydalanarak içindeki pistonlar ile basıncı itme kuvvetine dönüştürerek, balataları kampanaya doğru iter.
- *Pabuç*: Yarım ay şeklinde, üzerinde balataların bulunduğu metal parçadır. Piston, pabuçlara kuvvet uygulayarak frenleme yaptırır ve geri getirme yayı pabuçları geri çeker.
- *Kampana balatası*: Pabuçların üzerinde yer alan ve frene kuvvet uygulandığında pabuçla birlikte dışa doğru açılarak kampanaya sürten, sürtünme katsayısı yüksek, frenleme etkisini oluşturan parçadır.

1.3 ABS Fren Sistemi

ABS fren sisteminin geçmişi 1920'lere kadar varmaktadır. Almanya'da Voisin firması "Frenlemenin tekerlekleri kilitlemesini önleyici donanım" tanımıyla hidrolik sistemle çalışan ilk prototipi geliştirmişler ve 671925 Almanya numarası ile ilk patentini de almışlardır. 1950'li yıllarda bazı sivil uçaklar mekanik veya pnömatik ABS sistemlerini kullanmışlardır. (İnt. Kyn. 8).

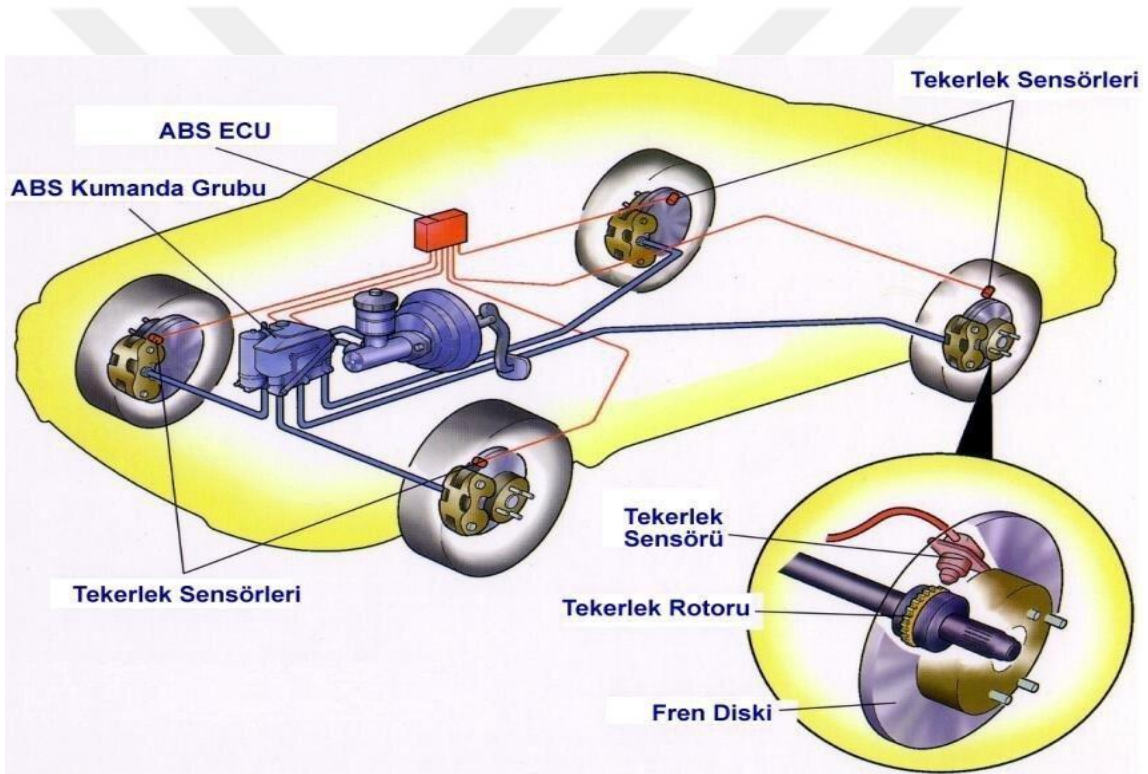
1960'larda Alman ordusu ilk defa transistörlü ABS'yi kullanmaya başlamıştır. Bu sistem bir otomobilde ilk kez 1967 yılında İngiliz otomobil üreticisi Jensen tarafından kullanılmıştır (İnt. Kyn. 8).

Tümleşik devre sistemlerinin seri üretilebilmesi 70'li yıllarda gerçekleşmeye başlayınca ve araçların tekerleklerine yerleştirilen devir sayaç sensörleride geliştirilip hatasız çalışmaları sağlanınca büyük gelişmeler başlamıştır. 1978 yılında Mercedes S serisi araçlarda daha sonra da BMW 7 serisinde ABS sistemini kullanımı başlamıştır (İnt. Kyn. 8).

Elektronik endüstrisindeki ilerlemelerle birlikte ABS fren sistemi daha minimal, daha ucuz ve daha kolay doğru gelişmiştir. Örneğin Bosch firmasının ürettiği ABS 5,3

kodlu 5. kuşak fren sisteminin ağırlığı yalnızca 2,6 kilogramdı, bir önceki nesilden yarı yarıya daha az yer kaplamaktaydı aynı zamanda 1989 yılındaki sistemlerden 5 kat daha küçüktür. Ulaşılan son teknoloji ABS sistemini Smart gibi küçük otomobillerde bile kullanılabilirliği mümkün kılmıştır (İnt. Kyn. 8).

ABS sistemi günümüzde en yaygın olan fren sistemidir. Diğer adıyla kilitleme karşıtı fren sistemi olarak da bilinmektedir. Frenleme sırasında tekerleğin kitlenerek kayma yapmamasını sağlayan bir güvenlik sistemidir. Ani frenleme anlarında araç üzerindeki kontrolün daha fazla olmasını sağlamaktadır. Resim 1.10'da ABS fren sistemi gösterilmektedir.



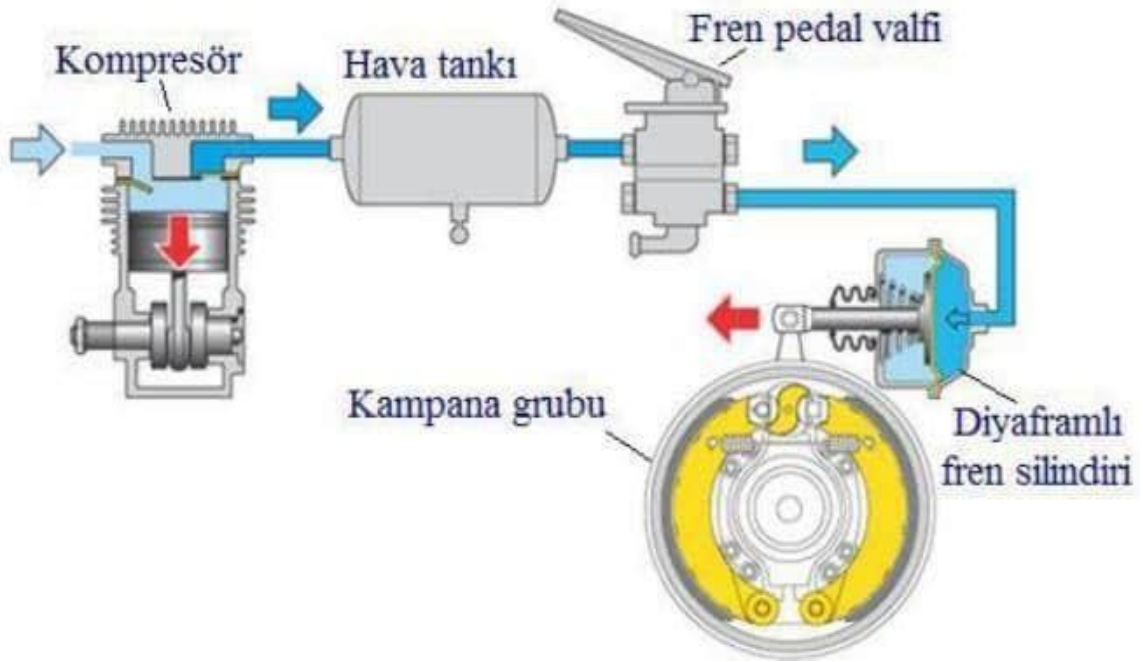
Resim 1.10 ABS Fren Sistemi (İnt. Kyn. 9).

Kuru ve kaygan yüzeylerde durma mesafesini azaltır. ABS, tekerlek hız sensörleri, valf, hidrolik pompa ve ECU bileşenlerinden oluşmaktadır. Tekerlek hız sensörleri araçta bulunan tekerleklerin yavaşlamasını veya durmasını algılamak için tekerleğin hızını ölçerler. Fren pedalına basıldığından kaliperler diski kilitleyerek tekerleğin dönüşüne izin vermeyecektir. Bu durumda ivmelenmeye hızlıca karşı koyan tekerleklerin kaymaya başlaması beklenir. Sensörler bu kaymanın gerçekleşmemesi için valflere kısa

süreliliğine frenleme yapmaması mesajını ileterek kaymayı engeller. Frenlere iletilmiş olan hidrolik yağ basıncı serbest bırakıldığında, bir pompa hızlı bir şekilde basıncı tekrar uygular ve frenleri yeniden etkinleştirir. Tekerlekler kaymadan hemen önce lastikler ile zemin arasında sürtünme korunur. Otomobili en kısa sürede durdurmak veya yavaşlatmak için en uygun sürtünme miktarı sağlanır. Tekerlekler dönmeyi bırakmadığından, frenleme süresince direksiyon hâkimiyeti korunmuş olur.

1.4 Havalı Fren Sistemi

Kendi bünyesinde hava üreten araçların fren pedalı güç uygulandıktan sonra uygulanan kuvveti mekanik güce dönüştürerek durmayı veya yavaşlamayı sağladığı fren sistemi türüdür. Genellikle ağır vasıta (Kamyon, tır vb.) sınıfında görülmektedir. Taşıtın tekerleklerine kadar giden hava, kampana veya fren diski ile etkileşim sağlamasının öncesinde pnömatik güçle mekanik hareket oluşturmaktadır.



Resim 1.11 Havalı Fren Sistemi (İnt. Kyn. 10).

Kompresör, hava tankı, fren pedal valfi, kampana grubu ve diyaframlı fren silindiri havalı fren sisteminin elemanları arasında yer almaktadır.

1.5 Durma Mesafesi

Belli bir hızı bulunan seyir halindeki bir araç durdurulmak istendiğinde bu eyleme etki eden birden fazla değişken bulunmaktadır. Öncelikli olarak durma eylemine karar verme reaksiyon süresi, frenleme süresi, durma eyleminin gerçekleştirildiği yol şartları vb. çeşitli etkenler söz konusudur. Durma mesafesi, belirli hızdaki aracın durma anına kadar olan aldığı yoldur. Bu eylem frenleme ile başlar. Dolayısıyla fren performansının etkilendiği unsurları bilmenin önemi oldukça açıktır.

“Frenleme performansına etki eden başlıca faktörler ise; taşıt ağırlığı, ön-arka tekerleklerin frenleme etkinliği, fren sisteminin dizaynı, fren hidrolik ve mekanik aksamının durumu, fren sistemine etki edebilecek çevre şartları, lastik durumları, araç üzerindeki yük, yol şartları, fren ayarları, tekerlek – yol arasındaki sürtünme ve tutunma katsayısıdır” (Carley, 2000; Bayrakçeken ve Düzgün, 2005).

Durma mesafesine kadar olan sürecinin karmaşık bir yapı olduğu görülmektedir. Birden fazla bileşen ile gerçekleşen bu eylemde bileşenlerinde kendi arasındaki kombinasyonlar birden fazladır.

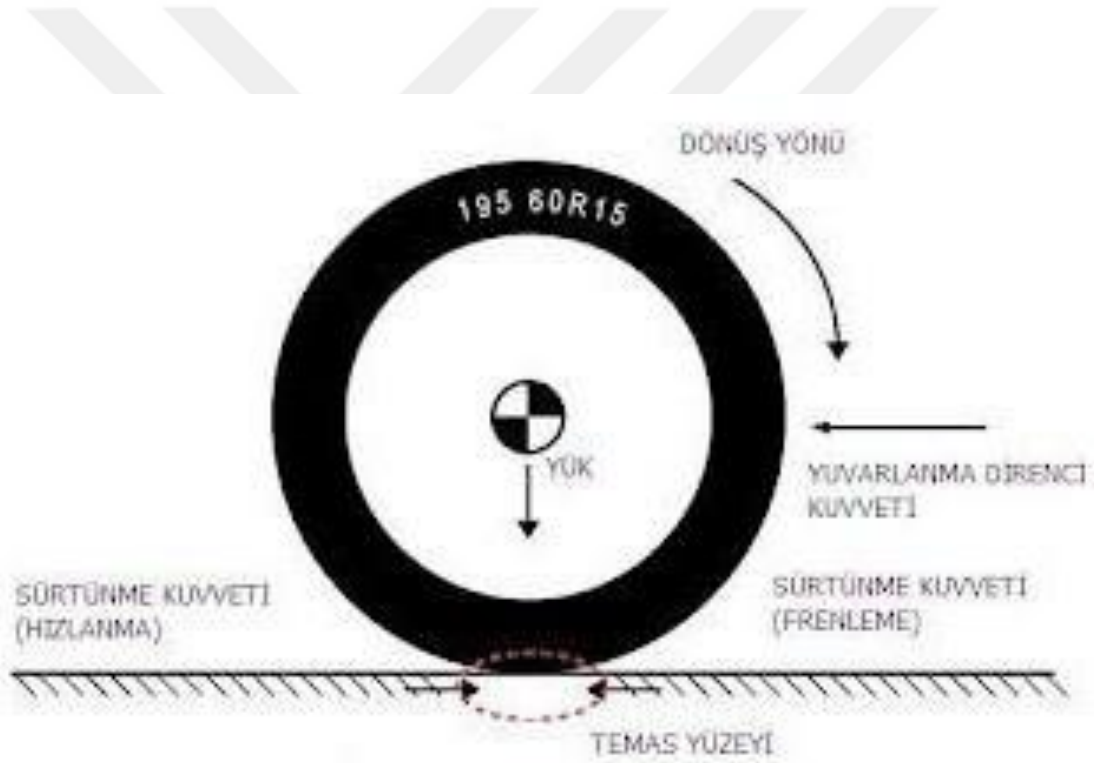
Ani frenleme esnasında, aracın tamamen durması zaman dilimlerinden oluşmaktadır:

- Tehlikenin farkına varıldığı an
- Sürücünün karar alma süresi
- Sürücünün harekete geçme süresi
- Sürücünün ayağını fren pedalına götürme süresi
- Fren mekanizmasının aktifleşme süresi
- Fren kuvvetinin etki etme süresi
- Fren kuvvetinin işleme süresi
- Fren kuvvetinin en yüksek safhaya ulaşma süresi

Bütün bu zaman dilimlerinde kullanılan araca ve fren kuvvetine göre araç, bir miktar yol alacaktır (Anonim, 2013).

1.6 Yuvarlanma Direnci

Aracın hareketine ters yönde etki eden bir kuvvettir. Aracın hareket etmesini zorlaştırır. Tekerleğin yuvarlanması sonucu lastik ile yol arasında temas eden kısım yükten dolayı şekil değişimine uğrar. Şekil değişimine uğrayan kısım tekerlek hareket ettirmeye başladığı anda harekete engel olan bir kuvvet açığa çıkarır. Buna yuvarlanma direnci denir. Bu direnç lastiğin malzemesi, üzerinde taşıdığı yük, yol şartları gibi birçok farklı faktörde bağlı olarak değişir. Bu direncin açığa çıkması hareket için ekstra bir güce gerek duyulmasını sağlar. Bu kuvvet bozuk yollarda lastikteki şekil değişiminin daha fazla olmasından dolayı düz yola oranla daha yüksek olmaktadır. Resim 1.12’de yuvarlanma direnci ne şekilde etki ettiği gösterilmiştir.



Resim 1.12 Yuvarlanma Direnci (İnt. Kyn. 11).

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Taşıtlarda frenlemede sürücü, fren sistemi ve elemanları, malzemesi, testleri vb. kapsayan çok sayıda araştırmalar bulunmaktadır. Araç sürüşüne etki eden yoldaki değişimler de ele alınan konular arasındadır.

2.1.Fren Süspansiyon Test Cihazı ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Bayrakçeken vd.nin (2016) yapmış oldukları çalışmada, farklı yol şartlarındaki fren-süspansiyon testlerini laboratuvar ortamında yapılmasını sağlayan taşıt fren test cihazı tasarlayıp üretmişlerdir. Karayolu ya da özel test alanlarında yapılan çalışmaların bulunduğu fakat yol testlerinin yüksek maliyetli olması ve ilaveten deney sonuçlarında oluşması muhtemel sapmanın büyüklüğü göz önünde bulundurulunca istenilen hassasiyetin elde edilmediği görülmüştür. Fren-süspansiyon test cihazı ile laboratuvar ortamında yapılan testlerin daha hassas bir şekilde yapıldığı sonuçlarına ulaşılmıştır.

Bayrakçeken ve Altıparmak'ın (2007) gerçekleştirdikleri çalışmalarında bir elektromekanik fren test cihazı geliştirmişlerdir. Bu cihaz ile frenleme kuvvetlerini doğru ve eş zamanlı olarak ölçebilmeyi, fren kuvveti analizi gerçekleştirmeyi amaçlamışlardır. Gerçekleştirdikleri deney sonuçlarından matematiksel bir model oluşturmuşlardır. Bu model aracılığı ile frenleme performansı üzerinde etkili olan lastik basıncı, tırnak derinliği ve direksiyon dönüşüne bağlı olan tekerlek sapma açısının frenlemeye etkilerini incelemişlerdir. Ölçtükları değerler ile farklı matematiksel modellerden elde ettikleri verileri karşılaştırdıklarında arada bir uyum olduğunu gözlemlemişlerdir.

Kontbilek (2005) Bu çalışmada değişik yol yüzeyleri ve değişken eğimdeki fren kuvvetlerini ölçmek amacıyla fren test cihazı tasarlanmış ve imalatı gerçekleştirilerek farklı tiplerdeki araçların fren kuvvet değerleri ölçülmüş ve analizleri gerçekleştirilmiştir. Çoğunlukla doğrusal veya yanal eğimli yollar ile farklı yol şartlarındaki frenlemelerin tesirleri araştırılmış, frenleme performansındaki değişiklikler ölçülmüştür. Fren test cihazı değiştirilebilir tamburlu ve diğer test cihazlarından farklı şekilde zeminden yüksek çift yüzey üzerinde imal edilmiştir. Cihazın üstünde dört adet

tambur ve iki adet elektrik motoru bulunmaktadır. Elektrik motoruna bağlanan moment kolu, yük algılayıcısına kuvvet uygulamıştır.

2.2 Frenleme ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Demir (2009) 5 adet 2001 model taşıta ait ön fren diskinden yararlanılmıştır. Disklerden 4 tanesi; metalik (Metco 19E ve 18C), sermet ve seramik ile kaplanmıştır. İki disk, sırası ile 1'er mm kalınlığında alevle püskürtme ve ergitme yöntemi kullanılarak Metco 19E ve Metco 18C metalik tozlarla kaplanmıştır. Diğer iki diske de NiCr ara bağlayıcı kaplandıktan sonra; birincisinde plazma spreyl yöntemiyle Al₂O₃-TiO₂, diğerine de HVOF (Yüksek Hızlı Oksijen Yakıtıyla Püskürtme) yöntemiyle Cr₃C₂-NiCr kaplanmıştır. Testlerden hemen önce ve testler sona erdikten sonra disk ve balataların aşınma oranları hem boyutsal hem de kütleli olarak saptanmıştır. Tüm diskler SAE J2334 test standardına göre hızlandırılmış korozyon testine sokulmuştur. Yapılan tüm deneylerde; kaplamalı diskler hem korozyon direnci hem de sürtünme katsayısı (seramik disk hariç) açısından orijinal diske göre daha yüksek performans sergilemiştir.

Bayrakçeken vd.nin (2020), panik frenlemede fren pedalına uygulanan kuvvetin değişiminin frenlemeye olan etkisini anlamak üzere gerçekleştirilmiş bir çalışmadır. Farklı yaş ve cinsiyetten oluşan yirmi kişilik bir sürücü grubu ile yapılmış deneysel çalışmada, araştırma esnasında yarı taşıt test cihazından yararlanılmıştır. Yapılan çalışmada aynı cinsiyet grubunda yer alan bireylerde yaş, boy ve kilo gibi özelliklerin frenlemeyi pek etkilemediği ancak erkeklerin kadın sürücülere oranla daha iyi frenleme performansına sahip olduğu görülmüştür.

Düzgün ve Altıparmak (2005) yapmış oldukları çalışmada birçok fren test yöntemi araştırmışlardır. Yolda gerçekleştirilen testlere alternatif bir yöntem geliştirmeyi hedeflemişlerdir. Çalışma sonucunda elde ettikleri yöntemi farklı çalışmalarla karşılaştırıp benzer eğilimlere sahip durma mesafesi sonuçlarına ulaşmışlardır.

Bayrakçeken ve Düzgün'ün (2005) yapmış oldukları deneysel çalışmada, fren mesafesi ve fren veriminin analizi yapılarak, frenleme mesafesi ve fren verimi için kullanılan

matematiksel modeller ile bu modeller arasındaki farklılıklar ortaya konulmuştur. Araştırma sonuçlarında, durma mesafesinin kayıp zamanda alınan yol ve frenleme mesafesinden oluştuğu, reaksiyon mesafesi sürücülere bağlı bir faktör olduğu, frenleme mesafesi taşıta bağlı bir faktör olduğu ifadeleri sonuçlar arasında yer alan bulgulardan olmaktadır. Durma mesafesini başta frenleme verimi olmak üzere fren sistemi performansını etkileyen tüm faktörler etkilemekte olduğu görülmüştür. Fren verimini hesaplamak için kampana (Disk) ile balata arasındaki kuvvetten yola çıkarak yapılacak hesaplama yerine, tekerlek-zemin arasındaki frenleme kuvvetinden yola çıkarak frenleme veriminin hesaplanması daha gerçekçi olduğu görüşüne varılmıştır.

Mavi'nin (2014) çalışmasında, taşıtlarda kullanılan fren sistemlerinde fren kuvvetinin farklı fren basınçlarında ve farklı hızlarda farklı sıcaklık değerlerine göre ne şekilde değişeceğini deneysel olarak incelemiştir. Gerçekleştirilen deneylerde sıcaklığın frenleme üzerinde önemli bir parametre olduğunu gözlemlemiştir. Sıcaklık değeri yükseldikçe frenleme kuvvetinde önemli bir düşüş yaşandığını gözlemlemiştir. En iyi frenleme performansının düşük devir ve düşük sıcaklık değerlerinde ulaşıldığı sonucuna varmışlardır.

Moravcik vd. (2011) çalışmalarında Matlab-Simulink üzerinden geliştirdiği model ile farklı koşullardaki frenleme mesafesinin tespitine çalışmışlardır. Araştırmanın sonuçları taşıt hızı, yol yüzeyi pürüzlülüğü gibi durumlar göz ardı edilmeden frenleme mesafesinin tahmini hesaplaması ortaya koyulmuştur.

Bimbrow (2015) çalışmada kronolojik olarak otonom sistemleri hakkında bilgi sunmuştur. Otomatik frenleme, şerit takibi ve adaptif hız kontrolü vb. modern taşıtlarda kullanılan yarı otonom özelliklerin yapı temelleri ele alınan konular arasındadır. Görüntü yöntemleri ile birlikte çalışan ağ tabanlı sistemlerin otonom sistemlerinin geleceğini şekillendireceği belirtilmiştir. Araştırmadaki veriler doğrultusunda birçok şirketin ilerleyen süreçte tamamen otonom araçlar üreteceği yönünde tahmin yürütülmüştür.

Lee vd. (2014) çalışmada durma mesafesinin tahmini kullanılarak otonom bir fren sistemi tasarlanmıştır. Durma mesafesinin istenen yavaşlama ve hidrolik fren aktüatörünün hızı gibi çeşitli faktörler göz önünde bulundurularak belirlenmesi gerektiği ifade edilmiştir. Aktüatör hızı, yavaşlama yanıtının şeklini etkilediği ve tahmin edilen durma mesafesinin doğruluğunu belirlediği için çok kritik olduğu belirtilmiştir. Otonom fren kontrol algoritması, tahmin edilen durma mesafesi göz önünde bulundurularak tasarlanmıştır. Önerilen otonom fren sistemi, otonom araç testlerinde doğrulanmıştır ve söz konusu aracın çarpışmadan etkin bir şekilde kaçınabildiğini araştırma sonucunda gözlemlenmiştir.

Sokolovskij (2007) araç frenleme değişkenleri ve farklı yol yüzeylerindeki çekiş özelliklerine ilişkin çalışma gerçekleştirmiştir. Buz ve karda fren yaparken taşıt frenlemesine ilişkin araştırmanın sonuçları sunulmuştur. Birden fazla yüzeyde, motor yağı veya reçine ile kaplanmış asfaltta, benzin noktasında ilerlerken ve yolun diğer yüzeylerinde fren yaparken otomobilin yavaşlama değerleri sunulmuştur. Bu tür verilerin, otomobilin çeşitli yol koşullarındaki hareketinin modellenmesinde ve trafik kazalarının incelenmesi sırasında gerekli olduğu belirlenmiştir.

Köylü ve Çınar'ın (2016), çalışmalarında ABS aktif olduğu durumda stabil olmayan yolda fren basıncının değişimleri ile tekerlek ivmesinin değişimi arasındaki etkileşim ve farklı tekerlek yüklerindeki ilişki incelenmiştir. Aynı amortisörün farklı sönümlenme kapasiteleri ile değişken tekerlek yükleri elde edilmiştir. Sert, orta-sert ve yumuşak amortisörler kullanılmıştır. Islak ve kaygan olmak üzere 2 farklı yolda ABS deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan inceleme sonucunda fren basıncı değişimi ile tekerlek ivmesi arasındaki etkileşimin, amortisör sönümlenme kapasitesi ve yolun tutunma potansiyeline göre farklılık gösterdiği ve bu farklılıklar ile ABS performansının düzeltilebileceği belirlenmiştir. ABS ile frenleme sırasında yarı aktif ve aktif süspansiyon kullanılarak amortisör sönümlenme kapasitesinin değiştirilmesi için öncelikle yolun tutunma potansiyelinin belirlenmesi gerektiği daha sonra bu yol tipine göre sönümlenme kapasitesi değişiminin gerçekleştirilmesi gerektiği görülmüştür.

Xia vd. (2016), çalışmalarında düz yol frenlemesi ile viraj frenlemesi karşılaştırmışlar, viraj frenlemesi ile daha uzun fren mesafesi ortaya çıktığını belirlemişlerdir. Frenleme süreci, dinamikler, kuvvet dağılımı ve stabilite göz önünde bulundurularak, viraj frenlemesi hesaplama modelinin durma mesafesi oluşturulmuştur. Daha sonra, çok gövdeli dinamik yazılım kullanılarak bir sürücü-araç-yol simülasyon platformu oluşturulmuştur. Aracın frenleme testi bu platformda gerçekleştirilmiştir. Deneysel ve hesaplanan değerlerin karşılaştırılması, hesaplamalı modelin güvenilirliğini doğrulanmıştır. Sonuçta, deneysel değerler ve hesaplanan değerler, otoyol güzergâh tasarım şartnamesi (JTGD20-2006) tarafından önerilen durma görüş mesafesi ile karşılaştırılmıştır.

Sun vd. (2015) Bu çalışmada, yayaların karşıdan karşıya geçerken araç hızı ve durma mesafesine ilişkin tahminlerini ölçmek için normal bir trafik ortamında bir saha deneyi yapılmıştır. Hız tahmini çalışmasında yayaların performansları değişken hız seviyelerinde ve farklı hava koşullarına göre değişmektedir. Güneşli koşullarda, yayalar 40 km/h'den daha yüksek olan araç hızlarında net tahminlerde bulunamamışlardır, ancak 40 km/h'den daha düşük hızlarda doğru bir şekilde tahmin edebilmişlerdir. Yağmurlu koşullarda, yayalar 45 km/h'den daha yüksek olan araç hızlarında net tahminlerde bulunamamışlardır, ancak 35 km/h ile 45 km/h arasındaki hızları doğru bir şekilde tahmin edebilmişlerdir. Durma mesafesi tahmin görevinde, doğru tahmin aralığı 60 km/h ile 65 km/h arasında değişmektedir ve yayalar, araçlar 65 km/h üzerinde seyir ederken genellikle durma mesafesini olduğundan daha az tahmin etmişlerdir.

Delaigue ve Eskandarian (2004) çalışmada kapsamlı bir araç frenleme modeli geliştirilmiştir. Frenleme sırasında yer alan çeşitli faktörlerin etkileri, bu modelde lastiklerin, frenlerin, süspansiyonların, çevrenin ve sürücünün etkilerine vurgu yapılarak hesaplanmaktadır. Saha kaynaklarından deneysel verileri kullanan model doğrulanmıştır. Model, belirli araç, sürücü ve çevre koşulları setleri altında durma mesafelerini tahmin ederek, araç frenleme davranışı ve kabiliyetinin hızlı ve doğru bir şekilde tahmin edilmesini sağlamaktadır.

Fitch vd. (2010) çalışmada ani ve beklenen fren manevralarının gerçekleştirilmesi sırasında sürücü davranışını karakterize etmektedir. Cinsiyet, yaş ve sürülen aracın bu davranış üzerindeki etkisini araştırarak sürücü frenleme performansı hakkında ek bilgi sağlamaktadır. Altmış dört sürücü, şişirilebilir bir barikatta 72,4 km/h'den ani ve beklenen fren manevralarını gerçekleştirmiştir. Sürücülerin fren performansının cinsiyete, yaşa ve kullanılan araca göre değiştiğini belirlenmiştir.

2.3. Fren Sistemi ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Üstün (2011) otomobil fren sistemlerinde yer alan balatalara seçenek olabilecek özellikleri taşıyan, yüksek ısı iletkenlik, düşük ısı genleşme, yüksek korozyon direnci ve standartlara uygun stabil bir sürtünme katsayısı değerine sahip balata malzemesi imal etmek için bu çalışma yapılmıştır. Fren balatası imalatı için homojen bir şekilde karıştırma, presleme ile ön form verme ve fırınlama prosesleri uygulanmıştır.

Öncel (2020) bu çalışmada hafif ticari bir otomobilde yer alan disk fren sistemindeki disklerde meydana gelen ısının dağılımı, sıcaklığın parça üzerindeki dağılımı ve diskin şekli ile kullanılan disk malzemesinin niteliklerine göre ısı dağılımı ve disk üzerinde frenleme esnasında ortaya çıkan sıcaklık değişimleri incelenmiştir. Hafif ticari bir otomobilin fren diskinin sonlu elemanlar metodu ile çözümlenmesi için ANSYS kullanılmıştır.

Koç (2009) çalışmasında, 4 farklı boyutta, 12 farklı balata malzemesi 300 s boyunca devamlı olarak frenlenme prosesine tabi tutulmuş, ortaya çıkan ısı dağılımlar ve stres durumları ABAQUS programından faydalanarak sonlu elemanlar metodu ile tetkik edilmiştir. Malzemenin ısı iletkenlik katsayısı ile özgül ısı ve yoğunluğu arasında ters orantı olduğu bulunmuştur. Aşınma miktarı yükseldikçe balata üzerinde meydana gelen sıcaklık değeri, sıcaklık değişimi ve stres miktarı yükselmektedir. Bu durum balatanın kullanım süresinin doğrusal bir şekilde değil, aşınma miktarının artmasına bağlı olarak yükselen bir şekilde tükendiğini belirlenmiştir.

Keskin (2015) fren diski üzerindeki sıcaklığın hesaplanması için bir model oluşturulmaya çalışılmış ve bu model kullanılarak farklı büyüklükteki taşıma etkilerinin sıcaklığa etkisinin gözlemlenmesi amaçlanmıştır. Dinamik model sonucu fren diski ile balata arasındaki basıncın ivmeye etkisi bulunduğundan sonra bu parametreleri de içeren ısı model kurulmuş ve bu ısı modelin çözümüne yönelik bir algoritma geliştirilmiştir. Doğrulamanın sonrasında izlenen yol reeldeki şartlar için kullanılmış ve disk sıcaklıklarının yüksek sıcaklıklara ulaşabileceği, bu sebeple değişik tasarımlar üretilmesini gerekliliği gösterilmiştir.

Şay (2007) ABS fren sisteminin gelişimi, taşıta etkileri, farklı yol ve sürüş şartlarında ortaya çıkan değişkenlikler ele alınarak, ABS test cihazında statik ve dinamik testler yapılmıştır. ABS sisteminin diğer güvenlik sistemlerine öncülük ettiği vurgulanarak örnek bir bölgede ABS ve ABS olmayan taşıtların trafik kazalarındaki durumları analiz edilmiştir.

Topuz ve Topuz (2018), çalışmada Türkiye de kullanılan otomobillere ait yerli ve yabancı olmak üzere 3 adet fren disk balatasının bileşenleri; aşınma-sürtünme karakteristikleri, mekanik ve fiziksel özellikleri açısından deneysel çalışmalarla incelenmiş, yerli, yabancı ve orijinal (OEM) olanların birbirleri ile çevre ve kullanım açısından karşılaştırılmaları yapılmıştır. Kimyasal analizlerde, tarama elektron mikroskobu EDS (enerji dağılımlı X-ışını analizi) sistemi ve XRF (X-ışını floresans spektrometresi) kullanılmıştır. Balata malzemelerinin sıcağıdaki kütle kayıplarını belirlemek için TG (Termo Gravimetrik) analizleri yapılmıştır. Ayrıca ısısal değişiklikleri tespit amacıyla DT (Diferansiyel Termal) analizleri gerçekleştirilmiştir. Fren balataları aşırı ısındıklarında özellikle diske temas eden yüzeylerde reçine yanarak bağlantı zayıflamakta yüzeyden başlayan bir aşınma oluşmadığı, deneylerde kullanılan tüm balata örneklerinde, aşırı ısınma durumunda kütle kayıpları artmış ve aşınma hızlandığı görülmüştür.

Ay (2021) sonlu elemanlar yöntemi ile ANSYS yazılımını kullanarak disk frenin termo-mekanik davranışı incelemiştir. Öncelikle ısı taşıma katsayısındaki değişim sayısal yaklaşımla hesaplanmış ve bir binek otomobilin disk-balata fren çiftinin SAE J2522

Kapsamlı Fren Etkinlik Test standardından elde edilmiş deneysel verileri kullanılarak kararlı hal termik analiz gerçekleştirilmiştir. Elde edilen ısıl sonuçlar ve deneysel veriler geçişli yapısal analizde kullanıldıktan sonra toplam deformasyon ve Von-Misses gerilme değerleri değerlendirilmiştir. Frenleme sırasındaki disk sıcaklığının maksimum değere ulaştığı bölgelerde, deformasyonların da maksimuma ulaşması sonuçların birbiriyle ilişkili olduğunu ortaya koymuştur. Genel olarak frenlemenin sonunda, başlangıç durumuna göre sıcaklık farkındaki düşüşte; taşınımın etkisinin %91,15 ile 91,74 arasında azaldığı tespit edilmiştir.

Düzgün (2009), çalışmasında iki fren diski imal etmiştir. Bunlar soğutmalı disklerdir. Bu diskler ile normal diskler diskleri frenleme performansları ve frenleme altında ısınmalarını deneysel olarak incelemiştir. Ani ve sürekli frenlemeler yapılarak frenleme kuvvetleri ve disk sıcaklıkları ölçülmüştür. Pedal kuvveti olarak 14 farklı seviye ani frenlemede 8 farklı şartta frenleme sıcaklığı test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda hava soğutmasının frenleme kuvvetini %42,6 ya kadar arttırdığı şartlardaki değişimlerin ise ısı üzerinde %31,5'a kadar düşüş sağladığı gözlemlenmiştir.

Ersan (1998) çalışmasını fren sisteminin en temel parçalarından biri olan balatalar üzerine gerçekleştirmiştir. Balataların frenlemeye olan etkisini deneysel olarak incelemiştir. Balataların etkisini inceleyebilmek için piyasada kullanılan balatalardan faydalanmıştır. Deneylerinde eski, yeni ve farklı yapılarıdaki balataları kullanmıştır. Sürtünme katsayısı ve özelliklerini bilmediği balataları karşılaştırabilmek için frenleme kuvvetini pedal kuvvetinin fonksiyonu olarak tanımlamıştır. Çalışmasının sonucunda eşit pedal kuvvetinde eski balataların %35-41 arasında daha düşük performans sergilediği sonucuna ulaşmıştır.

Podoprigo vd. (2017) hidrolik fren tahrikli bir aracın frenleme süresini ve durma mesafesini artıran ekstra operasyonel faktörleri göz önünde bulundurarak trafik kazaları değerlendirme metodolojisinin iyileştirilmesine yönelik öneriler de çalışılmıştır. Deneyler, fren sıvısının kaynama sıcaklığının toplam fren sistemi tepki süresi üzerindeki etkisinde düzenlilik olduğunu kanıtlamıştır. Tasarlanan fren süresi değerleri

ve araç durma mesafesi üzerindeki bu etkiyi hesaba katan bir katsayı hesaplanmış ve doğrulanmıştır.

Hosseinelou vd. (2012) çalışmanın amacı hız ile minimum güvenli mesafe arasında bir ilişki elde etmektir. Her bir lastikteki fren sistemi kuvvetinin hesaplanmasında, iki tekerlek eşdeğeri model kullanılarak araçların fren kuvvetinin hesaplanmasında ve dinamik ilişkiler kullanılarak güvenli durma süresinin hesaplanmasında kullanılmıştır. Arka ve ön lastikler için farklı hipotezlerin test edilmesi, durma mesafesi ve durma süresi gibi frenleme işleminin detaylarının hesaplanması, yansıma mesafesi ile dinamik durma mesafesinin ayrılması, istenilen pozisyonla ilgili grafiklerin çizilmesi çalışmaları yapılmıştır.

2.4. Yol Şartları ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Buyruk'un (2018) çalışmasında, farklı değişkenlere bağlı emniyetli sürüş ve durma mesafelerinin sağlanacağı "Etkin Sürüş Alanının" örneklenmesi ve asıl yol şartlarında, otomobiller üzerinde denenmesi sağlanmıştır. Değişkenler; şoföre dair değişkenler (yaş, cinsiyet, şoför dikkat durumu vb.), araca ait parametreler (araç hızı, araç ivmeleri, araç fren performansı ve lastik yapısı vb.) ve ortam koşullarına dair parametreler (hava durumu ve yol şartları vb.) olarak 3 farklı bölümde değerlendirilmiştir. İlerleyen bir araçta, şoför ve ortam arasındaki etkileşimin en güvenli şekilde sağlanacağı alan "Etkin Sürüş Alanı"; geliştirilen benzeşimde farklı taşıt, sürüş ve çevre şartlarına bağlı kabuller doğrultusunda anlık olarak analiz edilmiştir. Gerçek taşıt örnekleri üzerinde yapılan denemelerde ise elektronik kontrol ünitesi, aracın değişik bölgelerine konulan sensörlerden elde edilen sinyallerin ve internet ağı datalarının çözümlenmesini sağlamıştır. Tehlikeli yol koşullarında şoförlerin bilgi ekranı üstünden görüntülü ikaz simgeleriyle uyarılması sağlanmıştır.

Sevil (2019), tekerlek ve yol arasındaki sürtünme katsayısına göre çarpışma uyarılarının ve acil otonom frenlemenin zamanlamasını ayarlayacak uyarlamalı AEB(bir aracın başka bir araca arkadan çarpmasını engellemek veya benzer bir kaza kaçınılmaz olduğunda meydana gelebilecek olan hasar ve yaralanmaları azaltmaya yönelik

geliştirilmiş bir sürüş destek sistemi) geliştirmeyi amaçlanmıştır. Uyarlamalı AEB sisteminin yol/tekerlek sürtünme katsayısının düşük olduğu durumda standart bir AEB sistemine göre daha fazla hız düşümü sağladığı TORCS (The Open Racing Car Simulator) ve Simulink ortamında yapılan benzetim çalışmaları sonucunda kanıtlanmıştır. Yapılan test sonucunda geliştirilen sistemin çarpışma enerjisini yaklaşık %20 oranında azalttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Greibe (2008), Farklı hızlarda gerçekleştirilen bu çalışmada 22 test sürücüsünün farklı hızlarda (80, 110 ve 130 km/h) fren manevraları yaptığı bir ölçüm programı aracılığıyla yapılmıştır. Deneylere hem profesyonel hem de profesyonel olmayan test sürücülerini katılmıştır. ABS frenli iki farklı yeni araba test arabası olarak kullanılmıştır. Fren manevraları, kuru ve ıslak yolda, farklı sürtünmelere sahip üç test parkurunda gerçekleştirilmiştir. Profesyonel test sürücülerini için ıslak yolda fren mesafesi, sürtünme ve ilk hız arasında iyi bir ilişki bulunmuştur. Profesyonel olmayan test sürücülerini için fren mesafeleri, profesyonellere kıyasla ortalama %20-30 daha uzun bulunmuştur.

Yıldırım (2020), taşıt yol etkileşimini modelleyerek taşıt aksamalarını etkileyen dinamik güçlerin analiz edilmesi amaçlamıştır. Tam araç modeli göz önünde bulundurularak analizler gerçekleştirilmiştir. Birden fazla model oluşturulmuş, otomobil ve kamyon olarak ele alınmıştır. Modellerin serbestlik dereceleri ve sistem değişkenleri birbirinde farklı olmaktadır. Analiz sırasında her model için farklı yol profili taşıt dinamiği üzerine olan etkileri de dikkate alınmıştır. Araştırmanın sonucunda yolun pürüzlülük miktarının genliği fazlaştıkça taşıt aksamalarında oluşan yer değiştirme, hız, ivme ve kuvvet genliklerinin değerlerinde de artışlar oluştuğu görülmüştür.

Nehate ve Rys (2006), yapmış oldukları araştırmada, taşıtlarda kullanılan GPS teknolojilerinden yolların 3 boyutlu olarak incelenmesinde yararlanmışlardır. Böylelikle yol yüzeyi, görme engelleri, teğet dereceleri, yol yatay eğrileri ve dikey eğrileri gibi değişkenleri kullanarak kübik B-spline formunda geliştirdikleri parçalı parametrik denklemleri analitik olarak ortaya koyarak ön durma mesafesinin en etkin hesaplamasını geliştirmeye çalışmışlardır.

Lyubenov (2011), Farklı yol şartlarında aracın durma mesafesini belirlemek üzere yapmış olduğu bu araştırmanın verileri toplarken 'VBOX 3i GPS Veri Kaydedici' kullanılmıştır. Kuru temiz yüzey, kuru yapraklı yüzey, nemli yapraklı yüzey ve ıslak yapraklı yüzeyde inceleme yapılmıştır. 50 km hızda kuru yapraklı yüzeyler için toplam durma mesafesi %9,2 arttığı, nemli yapraklarda toplam durma mesafesi %26,5 ve ıslak yapraklı yüzeylerde toplam durma mesafesini %33,7 ile arttığı görülmüştür. 90 km/h'lik bir hız için kuru yapraklı yüzey için toplam durma mesafesi %12,4, nemli yapraklı yüzey için toplam durma mesafesi %35,8, ıslak yapraklı yüzey için toplam durma mesafesi %45,7 artmış olduğu gözlemlenmiştir.

Yukarıda özetlenen çalışmalarda yol yüzeyinin frenlemeye etkisi konusunda eksiklik bulunduğu tespit edilmiş ve bu konuda Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü bünyesindeki otomotiv atölyesindeki yarım taşıt tipi fren test cihazında farklı yol şartlarında fren kuvveti ölçümleri yapılmıştır.

Yapılan deneyler farklı engebe seviyelerinde az, orta, yüksek olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Yüksek engebe 40 km/h hızla giden araçta saniyede bir engebe, orta engebe düzeyi 2 saniyede bir engebe, az engebe düzeyi 3 saniyede bir engebe olacak şekilde ayarlanmıştır.

Her deney hata payını en aza indirmek amacıyla 3 tekrar olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen her deneyde elde edilen sonuçlar grafik haline getirilmiştir. Her deney için ortalama değerler elde edilmiştir. Ortalama değerler birbirine göre kıyaslanmıştır.

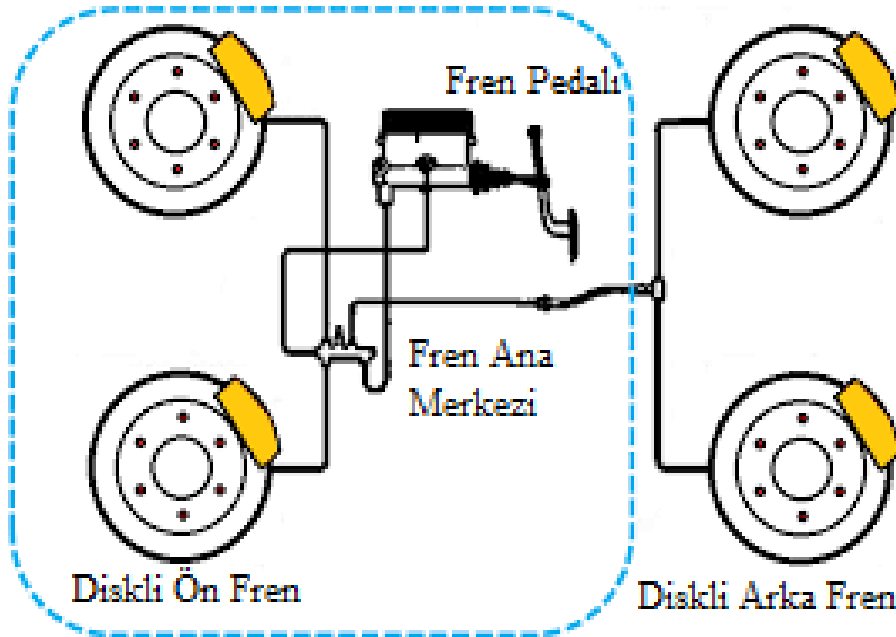
Durma mesafeleri değişimi ortalama değerlere göre kıyaslanıp sonuçlar elde edilmiştir. Engelerin durma mesafeleri üzerindeki etkileri incelenmiştir.

3. MATERYAL ve METOT

Yapılan araştırmada farklı Şartlar altında aracın durma mesafesinin deneysel olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Deneyler fren süspansiyon test cihazında gerçekteştirilmiştir.

Engebenin TDK tanımı: Deprem, rüzgâr, sel vb. iç ve dış etmenlerin etkisiyle oluşan ova, yayla, çukur, koyak, dağ vb. biçimlerin tamamı, yüzey Őekilleri, yer biçimleri, engelik, arıza, avarız olarak tanımlanmaktadır (İnt. Kyn. 12).

Bir yarım taşıt tipi test cihazı olan FSTC'nin, farklı yol Őartlarını ve konularını iyi bir Şekilde simüle edebilmesi, araştırma yapan çalışmacılara birçok katkı sağlamaktadır. Normal Őartlarda bir araç ile düz, engelbeli, çukurlu, tümsekli vb. yollarda test yapıp ölçüm sağlamak gerek zaman gerekse maliyet bakımından gerekse de ölçüm hassasiyeti ve doğruluğu bakımından oldukça güçtür. FSTC sayesinde yol Şartlarının yanında farklı fren balatası diski ve süspansiyonlarını da test etmek mümkün olmaktadır. Ayrıca FSTC'nin hidrolik sisteme sahip olması farklı yük durumlarındaki fren performansının ölçülmesine de imkân tanımaktadır. Şekil 3.1'de FSTC fren sistemi Őeması görölmektedir.



Şekil 3.1 FSTC'deki fren sisteminin Şematik görünümü (Bayrakçeken vd. 2020).

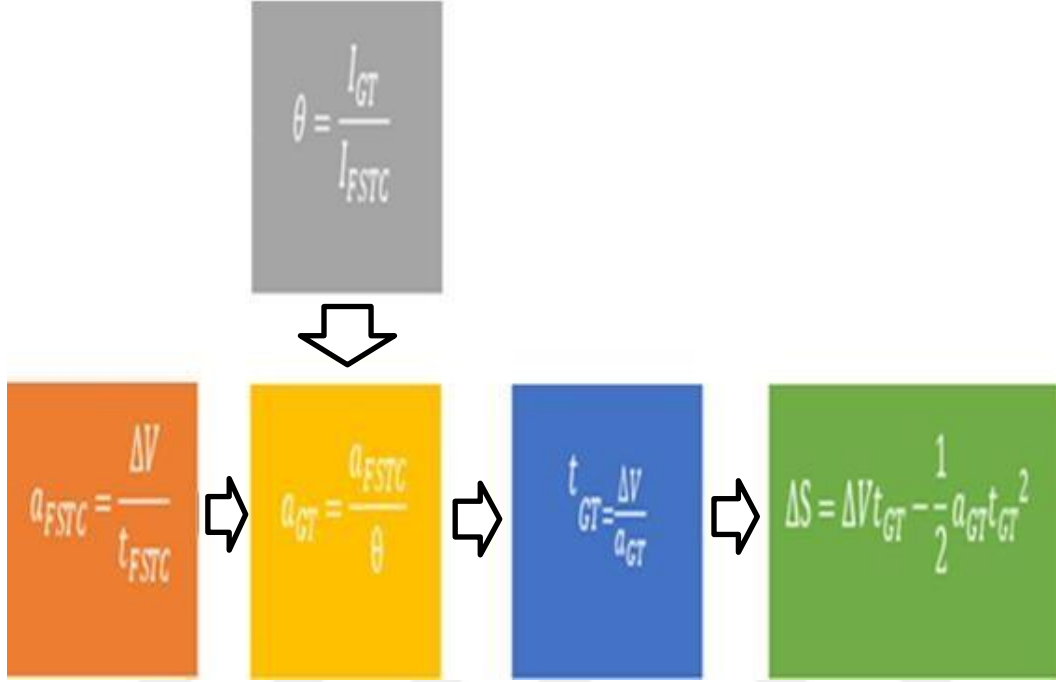
Çizelge 3.1 Fren süspansiyon test genel cihazının özellikleri.

İçten Yanmalı Motor	4 Silindirli, Benzinli
Motor Hacmi	1.4 L
Motorun Maksimum Gücü	57 kW
Motorun Maksimum Torku	115 Nm
Yakıt Sistemi	Çok Noktalı Enjeksiyon
Tambur Yarı Çapı	0.15 m
Lastik Hava Basıncı	32 psi (2.2 Bar)
Fren sistemi sıvısı	Dot 4
Lastik Bilgileri	175/70R14

“Test cihazı bir yarım taşıt test cihazı olarak ele alınmıştır. Taşıtın motor, şanzıman akslar, direksiyon sistemi, fren ve süspansiyon sistemi dâhil bütün ön düzeni aynı marka ve modele ait olacak şekilde temin edilmiştir. Kullanılan motor buji ateşlemeli 1,4 L hacminde dört silindir sekiz valfli bir içten yanmalı motordur. İçten yanmalı motora ait standart 5 vitesli manuel bir şanzıman vites kutusu olarak kullanılmıştır. Fren sistemi günümüz binek araçlarında daha yaygın kullanılması sebebiyle diskli fren sistemi olarak seçilmiştir. Süspansiyon sisteminin üst takozlarına bağlanan hidrolik silindirler ile hem taşıtın standart ağırlığı simüle edilmekte hem de çukur tümsek gibi yol şartları simüle edilmektedir (Bayrakçeken vd. 2016).”

FSTC ile yapılan ölçümler ile gerçek bir taşıtla yapılan ölçümler arasında gerçek taşıta etki eden aerodinamik etki, sürtünme kuvveti, yol kayması vb. etkilerin test cihazına etki etmemesinden dolayı farklılıklar bulunmaktadır. Cihazın genel özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

FSTC 'den elde edilen verileri gerçek taşıttan elde edilmiş verilere çevirebilmek için Bayrakçeken vd. (2020)'nin geliştirdiği algoritma kullanılmaktadır. Algoritma Şekil 3.2'de gösterilmektedir.



Şekil 3.2 Yarım Taşıt Tipi FSTC-Tam Fren Mesafesi Düzeltme Algoritması.

Araştırmada yapılan deneyler, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Otomotiv Mühendisliği laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirilen deneylerde Abs ve güvenlik sistemlerinin etkileri dikkate alınmamıştır.

Yapılan deneylerde cihazın hata payı ortalama mutlak hata hesaplamasına göre maksimum %7'ye kadar çıkabilmektedir.

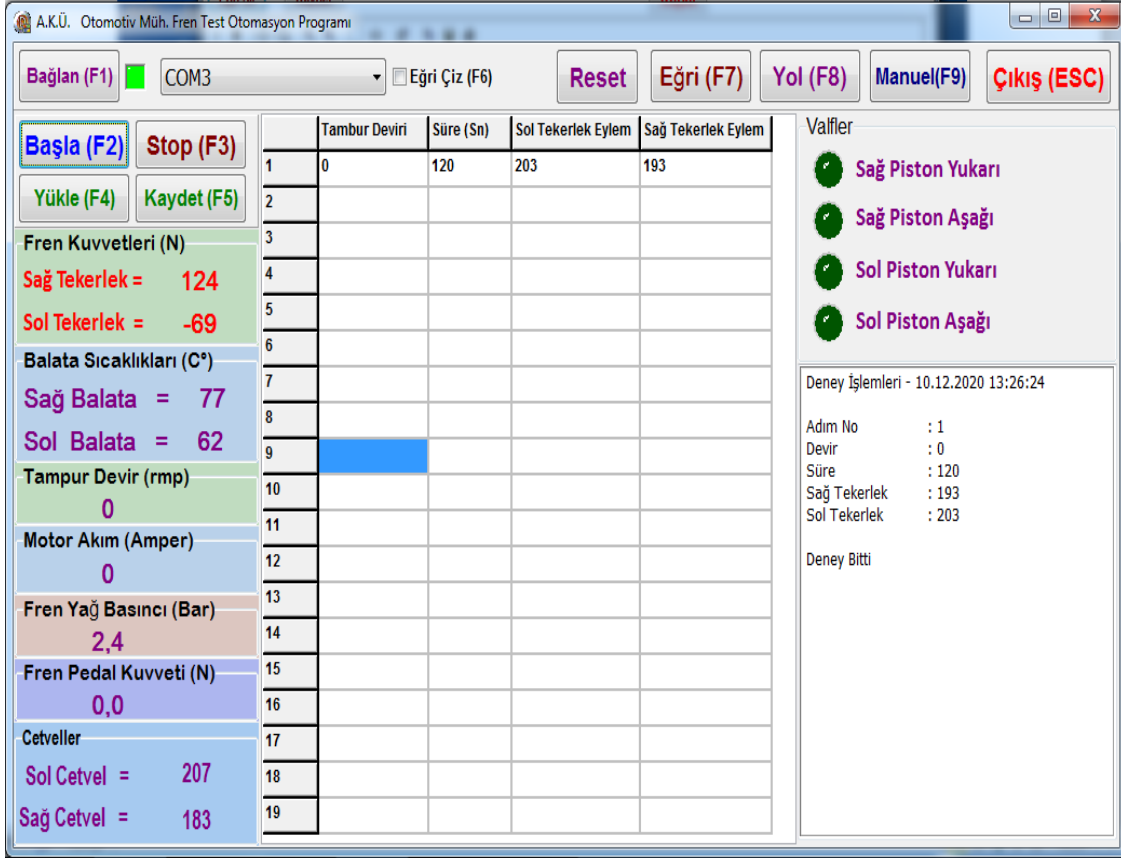


Resim 3.1 Fren süspansiyon test cihazı genel görünüm.

Otomobillerde frenleme performansını ölçme amacıyla gerçekleştirilen fren testlerinde, frenleme yüzeyi sıcaklığı, fren test cihazları ile pedal kuvveti, fren basıncı, taşıtın hızı, taşıtın ağırlığı, lastik hava basıncı gibi değişkenlerin frenleme esnasında taşıta etkileri deneysel olarak incelenebilmektedir (Bayrakçeken, vd. 2020).

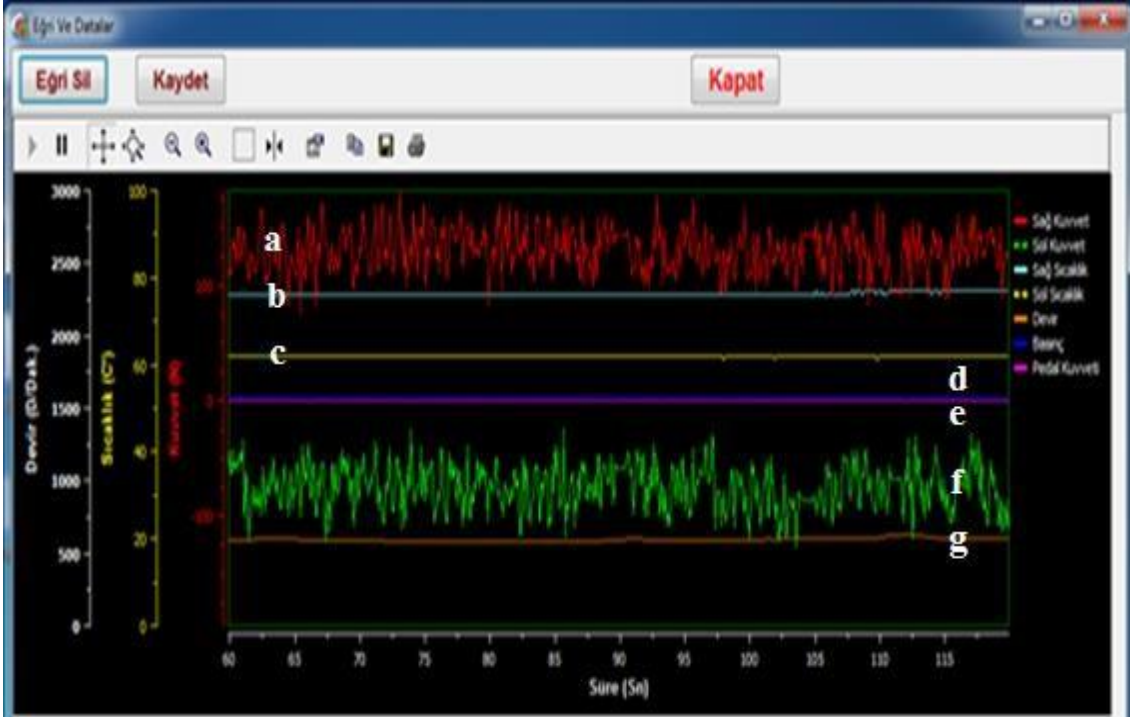
Fstc ile frenleme kuvveti (her tekerlek için ayrı), balata sıcaklığı (her balata için ayrı), motor devri (rpm), motor akımı (amper), taşıt hızı (km/h), fren pedal kuvveti (N), fren yağ basıncı (bar), lastik basıncı (bar), tambur devri (rpm), valf pozisyonları, hidrolik hat basıncı (bar) ölçümleri yapılabilmektedir.

Afyon Kocatepe Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü'nde geliştirilen 'Otomotiv Mühendisliği Fren Test Otomasyon' programı arayüzü aracılığıyla Fstc ile ölçümlenen verilerin ekrandan çıktısı alınabilmekte ve grafik halinde gösterimi sağlanabilmektedir. Tüm deneyler 3 tekrarlı yapılmıştır. Tüm deneylerde araç 2. Vites 3000 rpm 40km/h sabit hızdadır. Aracın görünümü Resim 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.3 Fstc cihazı arayüzü.

Testlerin yapıldığı cihazın arayüzü Şekil 3.3'de gösterilmiştir. Bu arayüz aracılığı ile cihaz devri ayarlanabilir (farklı devir seçilerek yokuş çıkış-iniş sağlanabilmekte), deney süresi belirlenebilmekte, sol ve sağ tekerleklere ayrı olarak yollardaki yağmur suları nedeniyle olan eğimleride kapsayacak şekilde ve taşıt ağırlığında kapsayacak şekilde değer girilebilmektedir. Cihaz otomatik veya manuel olarak çalıştırılabilmektedir. Cihaz ile yazılımın bağlantısı com üzerinden olmaktadır. Fren pedalına basma değeri, sağ ve sol tekerlek olarak fren kuvvetleri, sağ ve sol tekerlek fren balata sıcaklıkları, tambur devri, elektrik motorunun zorlanmalara karşı çektiği akım, fren sisteminde bulunan hidrolik basıncı vb. eş zamanlı olarak ölçülebilmektedir. Deneylerde ölçülen bazı kuvvetlerin arayüzde negatif olarak görüntülenmesi ölçülen değer kalibrasyon değerinin altında kalmasından kaynaklanmaktadır. Deneylerde bir personel cihazı kullanırken bir kişide yazılımı kumanda etmektedir. Cihaz üzerinde çukur ve tümsek derinliği, uzunluğu vb. bileşenleri kapsayacak şekilde yol senaryosu hazırlanabilmektedir. Bu senaryolara uygun olarak cihaz çalıştırılıp testler yapılabilmektedir.



Şekil 3.4 Eğri ve datalar arayüzü.

Testlerin gerçekleştirildiği programdan arayüz ile alınan çıktılar aynı zamanda Şekil 3.4'te görüldüğü gibi grafik halinde de elde edilip çıktısı alınabilmektedir. Bu grafikte sağ ve sol frenleme kuvvetleri, sağ ve sol disk üzerinde oluşan sıcaklık değerleri, motor devri, fren hattı basıncı ve fren pedalına uygulanan kuvvet gösterilmektedir. Şekil üzerinde sağ ve sol tekerlek kuvvetini gösteren grafiklerin zik zak şeklinde oluşması cihazda oluşan voltaj değişimleri, titreşimler, load cell (yük hücresi) hata payı ve beyaz gürültü gibi etkenlere bağlı olarak oluşmaktadır.

Çizelgelerde görülen renkler;

Kırmızı (a) = Sağ tekerlek kuvveti

Yeşil (f) = Sol tekerlek kuvveti

Açık Mavi (b) = Sağ tekerlek sıcaklığı

Sarı (c) = Sol tekerlek sıcaklığı

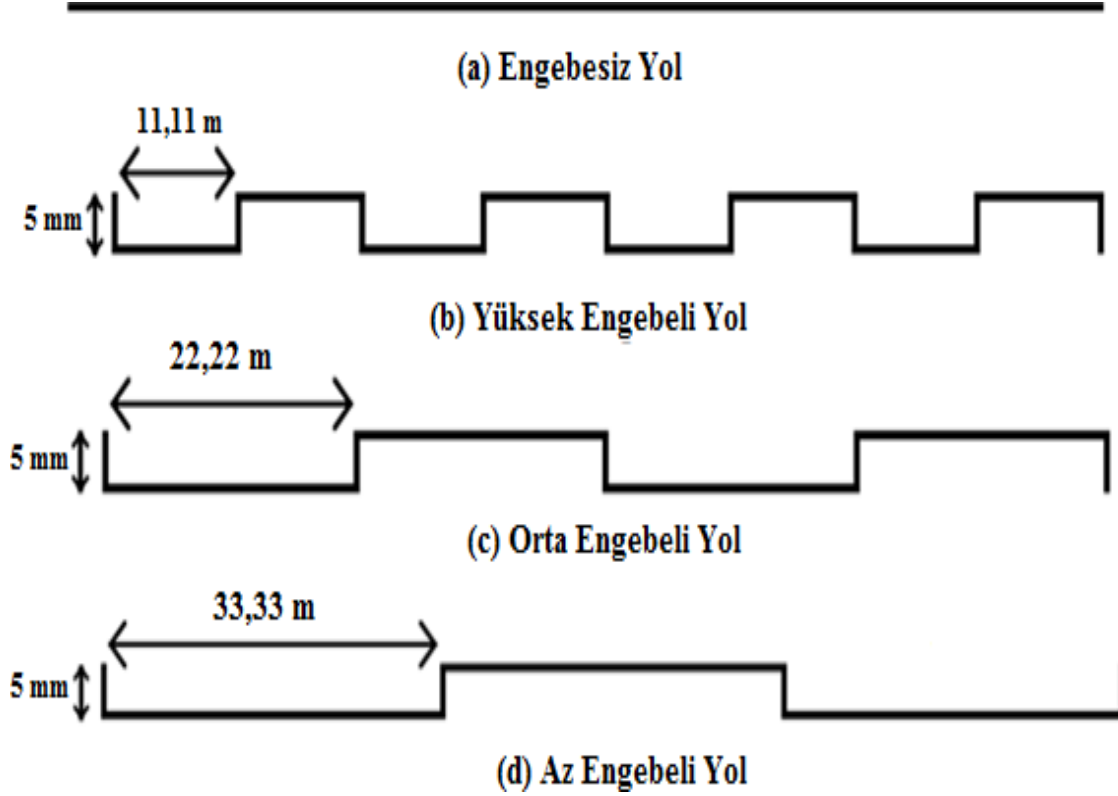
Turuncu (g) = Devir

Mavi (d) = Basıncı

Pembe (e) = Pedal kuvveti olarak tanımlanmıştır.

FSTC kullanılarak 8 deney gerçekleştirilmiştir.

Yapılan deneylerde frenleme debriyaj ile birlikte frene tam basıp kesintisiz bir kuvvet uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Frenlemede kuvvet araç durana kadar sürekli bir şekilde uygulanmıştır. Devir sıfıra indiğinde test sonlandırılmıştır.



Şekil 3.5 Yol engebe temsili gösterimi.

Deneilerin temsili gösterimi Şekil 3.5'te yer almaktadır. Engebesiz yol (a), engebe yüksekliği sıfıra eşit olan normal şartlardaki yoldur. Yüksek engebeleri yolun (b), engebe yüksekliği 5 mm genişliği aracın bir saniyede aldığı yol olan 11,11 metreye eşittir. Araç bu yolda 10 saniye boyunca çalıştırılmıştır. Orta engebeleri yolun (c), engebe yüksekliği 5 mm genişliği aracın iki saniyede aldığı yol olan 22,22 metreye eşittir. Araç bu yolda 10 saniye boyunca çalıştırılmıştır. Az engebeleri yolun (d), engebe yüksekliği 5 mm genişliği aracın üç saniyede aldığı yol olan 33,33 metreye eşittir. Araç bu yolda 12 saniye boyunca çalıştırılmıştır.

Engebesiz-frensiz (a) deneyde fren yapılmamıştır, araç engebesiz düz yolda 100 saniye boyunca çalıştırılmıştır. Engebesiz-frensiz (a) deneyde test cihazının sabit rejimine incelenmiştir. Engebesiz-frensiz deney sonucunda test cihazının stabil bir şekilde çalıştığı görülmüştür. Engebesiz-frenli deneyde test cihazı tekrar 100 saniye boyunca çalıştırılıp 100. Saniye sonunda frenleme yapılmıştır. Bu deneyde engebesiz yolun frenli standardı alınmıştır. Cihazdan engebesiz yolda durma mesafesi sonuçları elde edilmiştir.

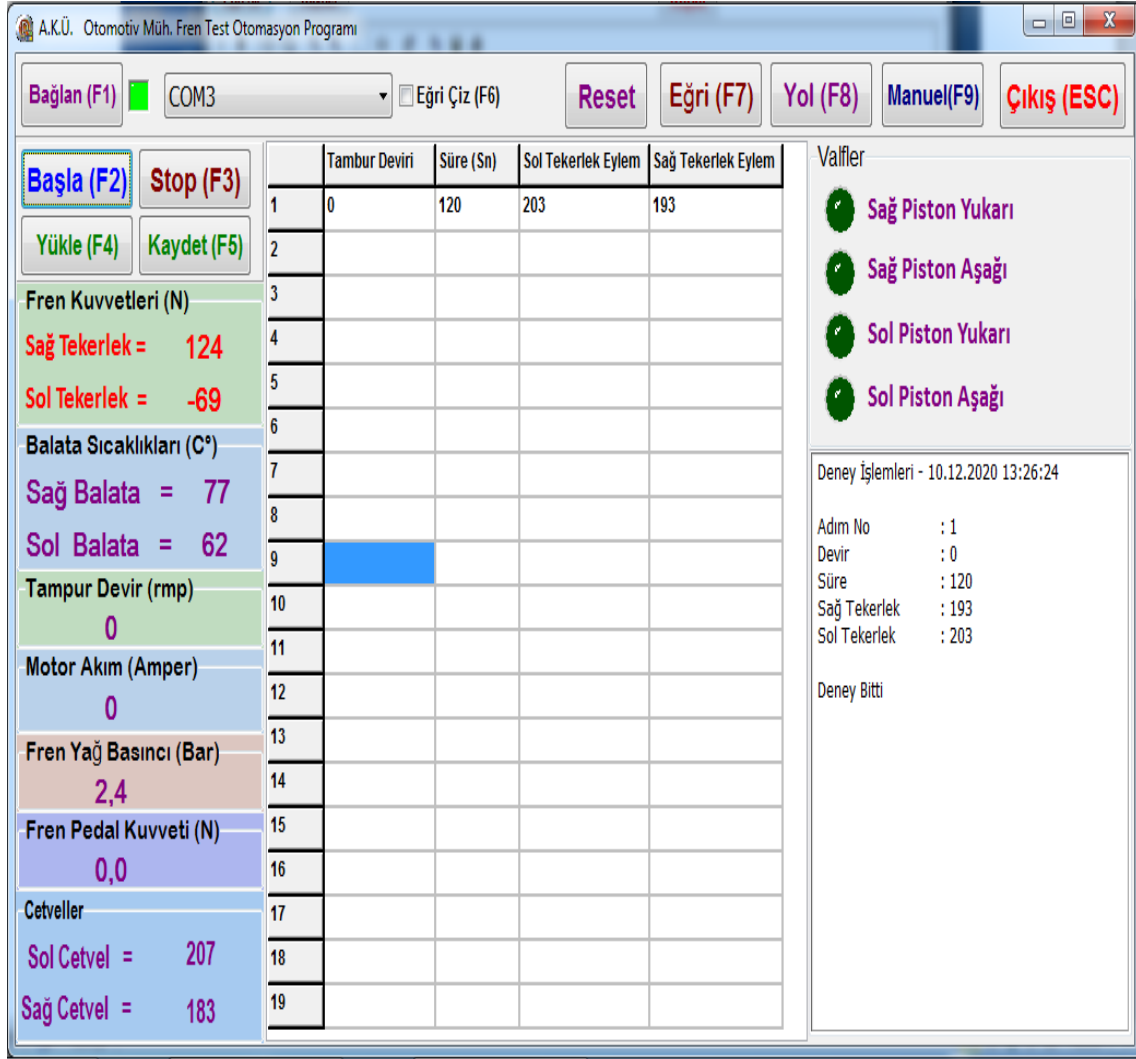
Yüksek engebeli-frensiz (b) deneyde cihaz 90. saniyeye kadar düz yolda çalıştırılmıştır. 90. saniyeden itibaren bozuk yol simüle edilmektedir. Bozuk yol 10 saniye sürmüştür. Bu deneyde yolun bozukluğu 1 saniyelik (11,11 m) periyotla 10 saniye boyunca devam etmektedir. 100. saniyede deney frensiz olarak sonlandırılmıştır. 1 saniyelik (11,11 m) periyotla değişen yolun sabit rejimi incelenmiştir. Yüksek engebeli frenli deneyde yüksek engebeli-frensiz (b) deneyden farklı olarak 100. saniye sonunda fren yapılarak 1 saniyelik (11,11 m) periyotla değişen yolda fren mesafesi verileri alınmıştır.

Orta engebeli-frensiz (c) deneyde cihaz 90. saniyeye kadar düz yolda çalıştırılmıştır. 90. saniyeden itibaren bozuk yolu simüle etmektedir. Bozuk yol 10 saniye sürmüştür. Bu deneyde yolun bozukluğu 2 saniyelik (22,22 m) periyotla 10 saniye boyunca devam etmektedir. 100. saniye sonunda deney frensiz sonlandırılmıştır. 2 saniyelik (22,22 m) periyotla değişen yolun sabit rejimi incelenmiştir. Orta engebeli-frenli (c) deneyde orta engebeli-frensiz deneyden farklı olarak 100. saniye sonunda fren yapılarak 2 saniye (22,22 m) periyotla değişen yolda fren mesafesi verileri alınmıştır.

Az engebeli-frensiz (d) deneyde cihaz 90. saniyeye kadar düz yolda çalıştırılmıştır. 90. saniyeden itibaren bozuk yolu simüle etmektedir. Bozuk yol 12 saniye sürmüştür. Bu deneyde yolun bozukluğu 3 saniyelik (33,33 m) periyotla 12 saniye boyunca devam etmektedir. 102. Saniye sonunda deney frensiz olarak sonlandırılmıştır. 3 saniye (33,33 m) periyotla değişen yolun sabit rejimi incelenmiştir. Az engebeli-frenli (d) deneyde, Az engebeli-frensiz deneyden farklı olarak 102. Saniye sonunda fren yapılmıştır. Bu deney sonucunda 3 saniye (33,33 m) periyotla değişen yolda fren mesafesi verileri alınmıştır.

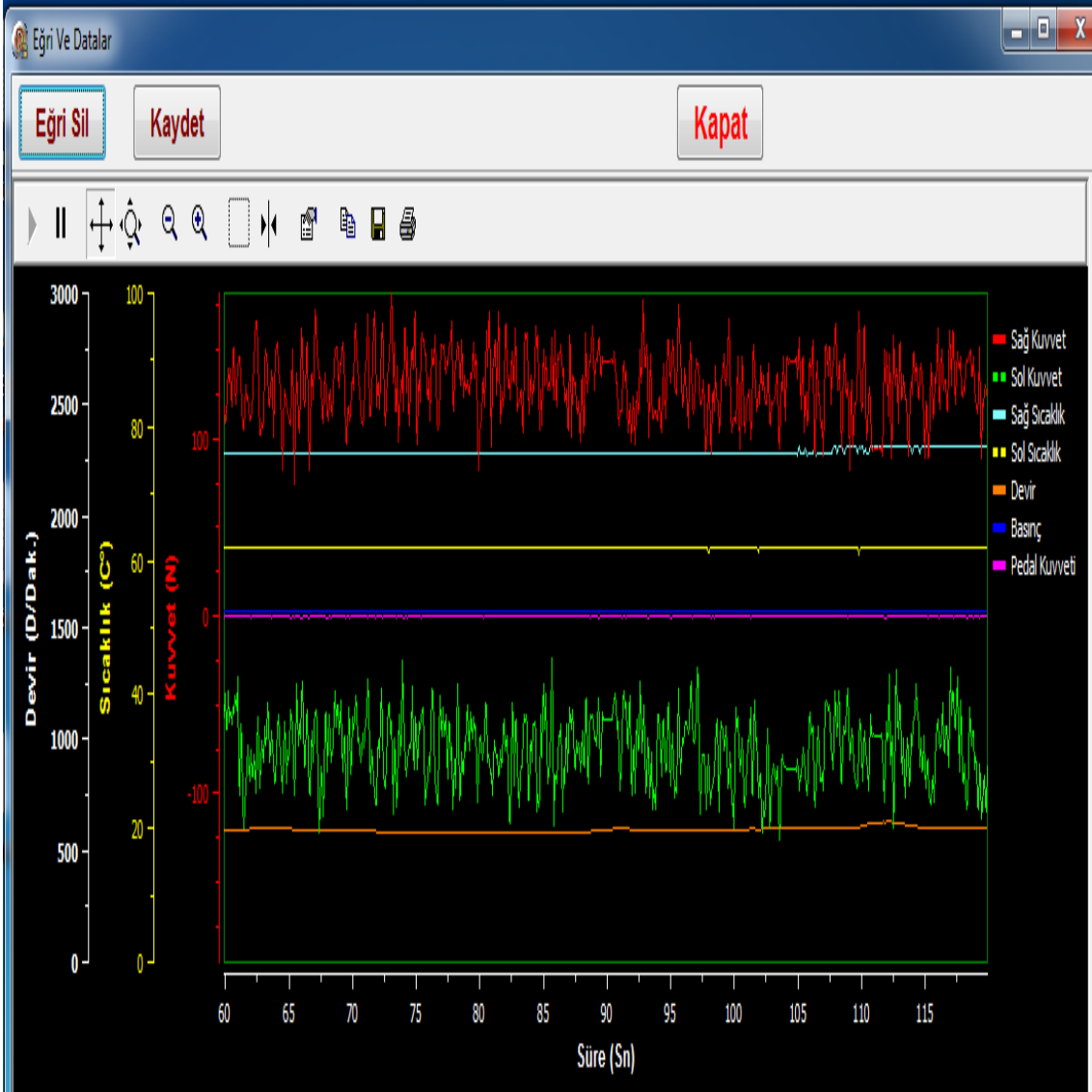
3.1 Engebesiz-Frensiz Deney

Engebesiz-Frensiz Deney; Fstc 100 saniye çalıştırılmıştır ve veri alınmıştır. Fstc 2. viteste, 3000 devirde 40 km/h sabit hızla ilerlemektedir. Bu deneyde aracın engebesiz yolda sabit rejimine bakılmıştır.



Şekil 3.6 Engebesiz-frensiz deney fstc değerleri.

Fstc ile yapılan deney sonucunda elde edilen verilerin değerleri Şekil 3.6'da görülmektedir. Engebesiz-frensiz deneyde sağ tekerlek 124 N, sol tekerlek -69 N, sağ balata 77 °C, sol balata 62 °C, fren yağ basıncı 2,4 bar olarak deney gerçekleştirilmiştir. Bu deneyde engebesiz yolun frensiz rejimi incelenmiştir.

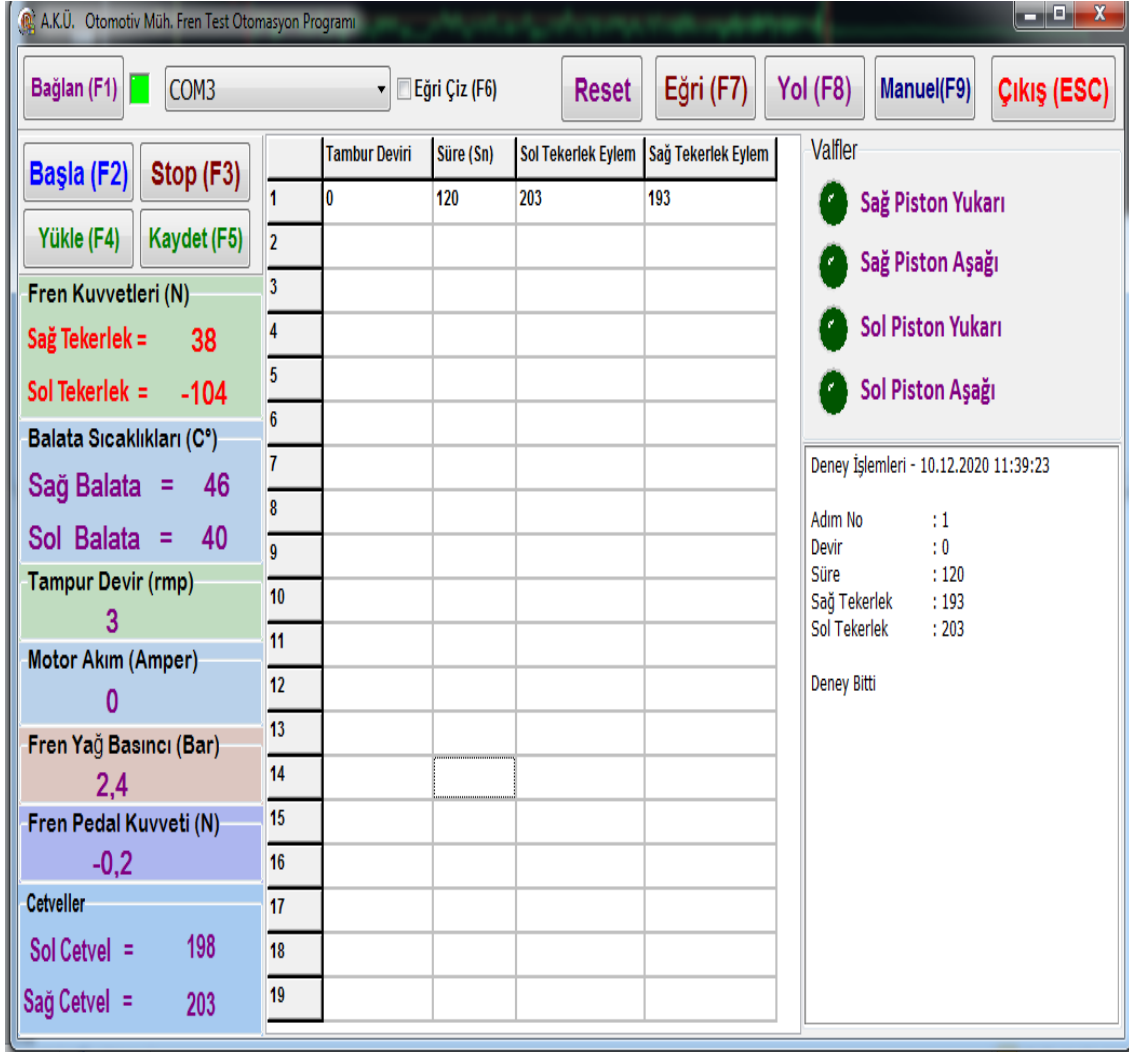


Şekil 3.7 Engebesiz-frensiz deney çizelgesel değerler.

Fstc ile yapılan deney sonucunda elde edilen verilerin değerleri Şekil 3.7’de görülmektedir. Engebesiz- frensiz deneyin çizelgesinde fren yapılmadığı için sağ sıcaklık, sol sıcaklık, devir ve basınç değerleri yatayda sabit olarak ilerlemiştir. Sağ ve sol kuvvet dengeli şekilde değişmiştir. Ölçülen değerlerde sabit bir rejim gözlemlenmiştir.

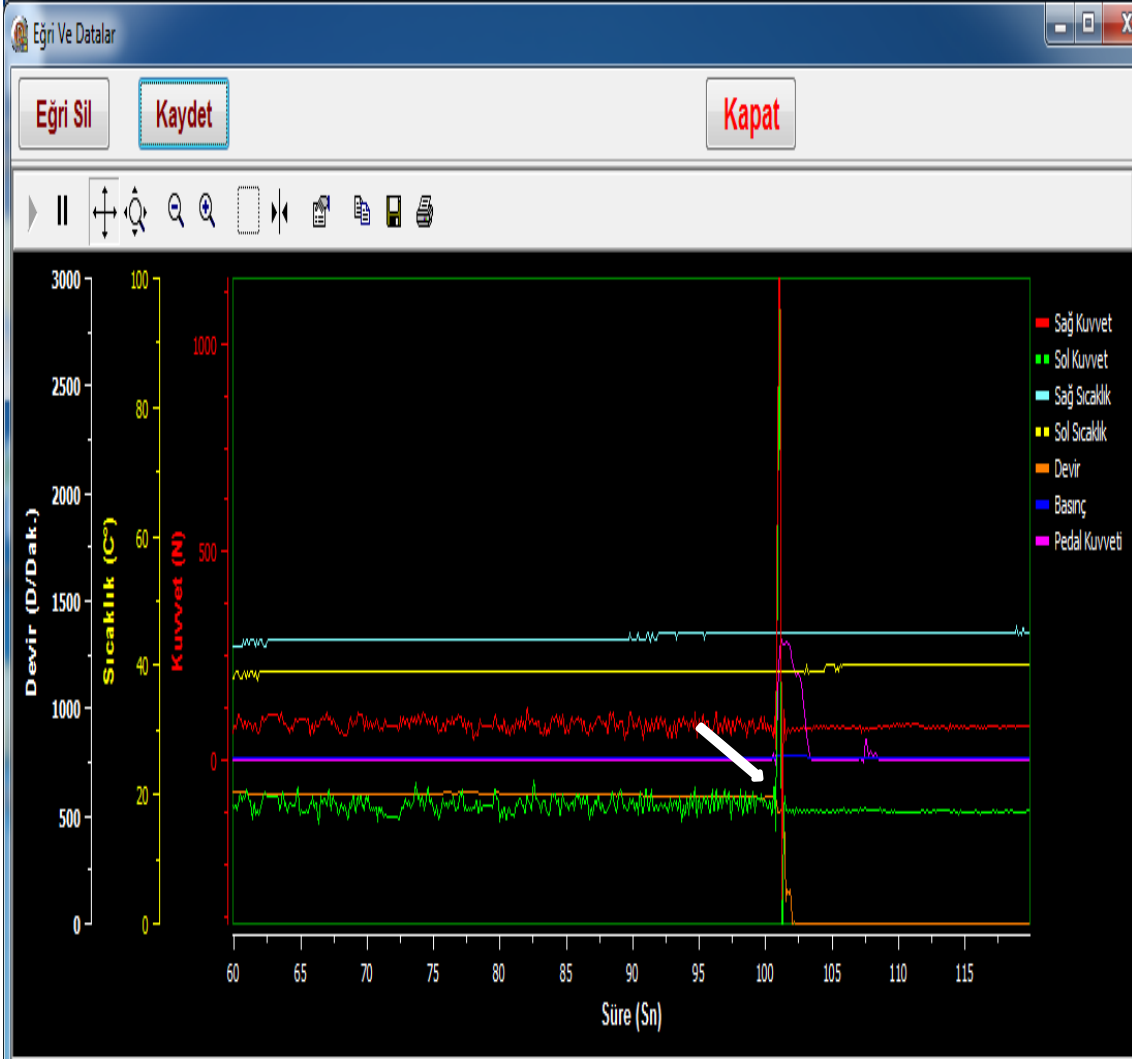
3.2 Engebesiz-Frenli Deney

Engebesiz frenli deney; Fstc 100 saniye çalıştırılmıştır. 100. saniyede fren yapılmıştır. Fstc 2. Viteste, 3000 devirde 40 km/h sabit hızla ilerlemektedir. Düzgün yolda fren mesafesi ölçülmüştür.



Şekil 3.8 Engebesiz frenli deney Fstc değerleri.

Fstc ile yapılan deney sonucunda elde edilen verilerin değerleri Şekil 3.8’de görülmektedir. Engebesiz-frenli deneyde sağ tekerlek 38 N, sol tekerlek -104 N, sağ balata 46 °C, sol balata 40 °C, fren yağ basıncı 2,4 bar, fren pedal kuvveti -0.2 N olarak deney gerçekleştirilmiştir. Bu deneyde engebesiz yolun frenli rejimi incelenmiştir.

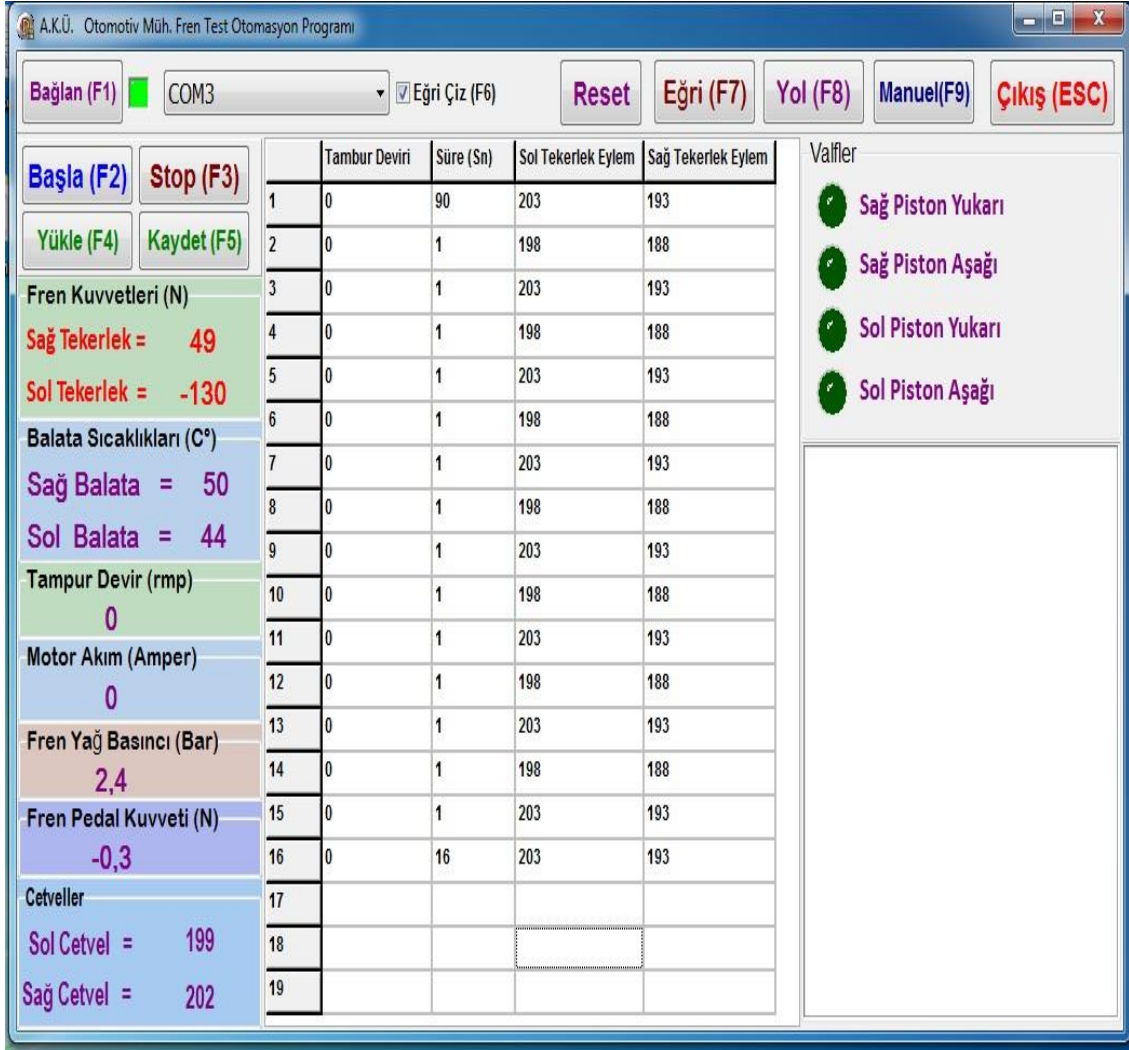


Şekil 3.9 Engebesiz frenli çizelgesel değerler.

Fstc ile yapılan deney sonucunda elde edilen verilerin değerleri Şekil 3.9'da görülmektedir. Engebesiz-frenli deneyin çizelgesinde yataydan dikeye ani geçiş gözlemlendiği an frenleme anıdır. Fren yapılan zaman 100. saniyedir. En çok değişimin gözlemlendiği sağ kuvvet, sol kuvvet olarak görülmüştür. Sağ sıcaklık, sol sıcaklık ve basıncın frenleme sırasında yatayda sabit olarak ilerlediği gözlemlenmiştir. Frenleme anına bağlı olarak pedal kuvvetinde de bir artış görülmektedir. Frenlemenin hemen sonrasında devirde düşüş meydana gelmiştir.

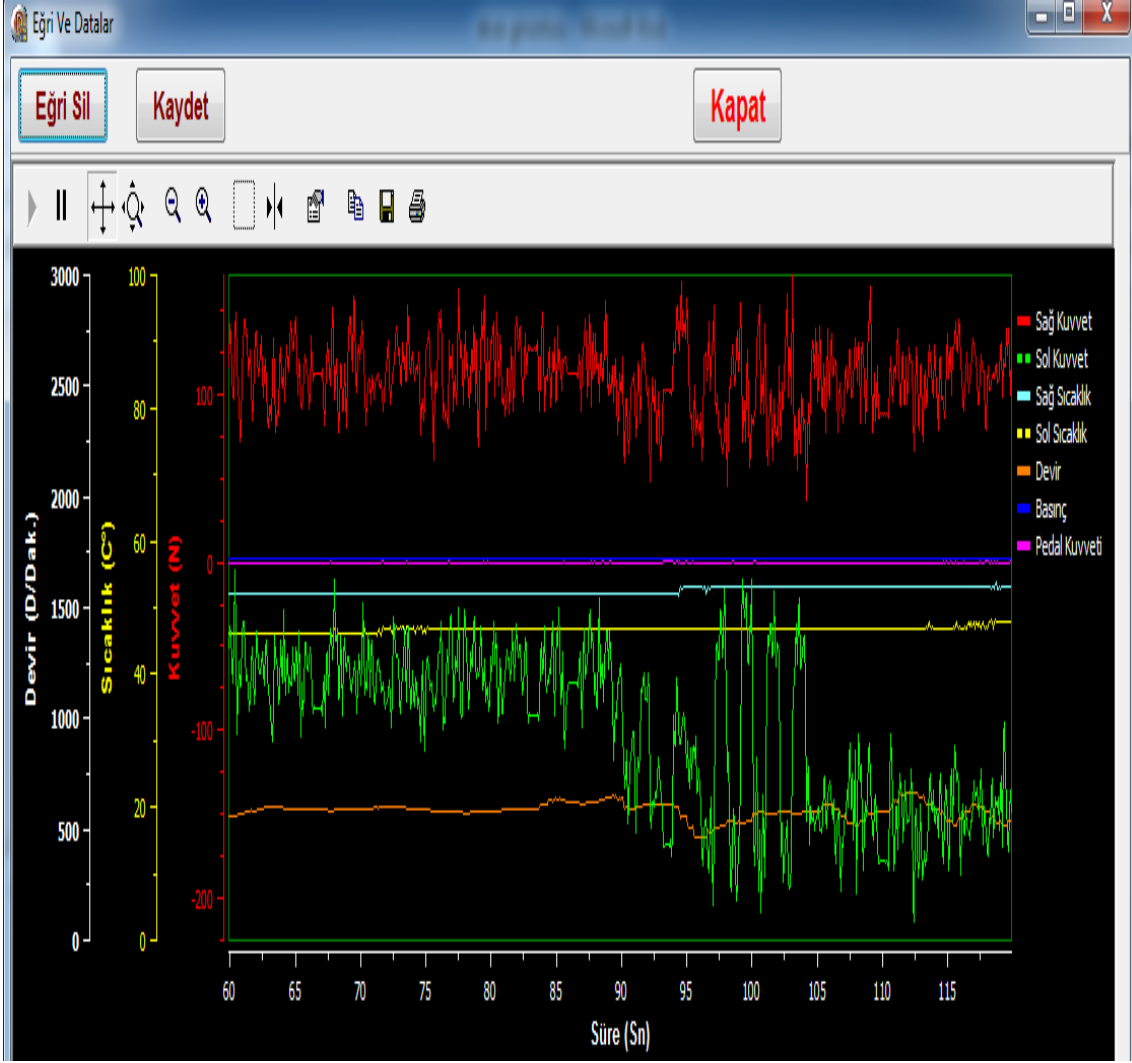
3.3 Yüksek Engebeli-Frensiz Deney

Yüksek engebeli-frensiz deney; Fstc 100 saniye çalıştırılmıştır. 90. saniyede engebeli yol başlamıştır. Fstc 2. Viteste, 3000 devirde 40 km/h sabit hızla ilerlemektedir. Engebeli yolda frensiz rejim incelenmiştir.



Şekil 3.10 Yüksek engebeli frensiz deney Fstc değerleri.

Fstc ile yapılan deney sonucunda elde edilen verilerin değerleri Şekil 3.10'da görülmektedir. Yüksek engebeli-frensiz deneyde sağ tekerlek 49N, sol tekerlek -130 N, sağ balata 50 °C, sol balata 44 °C, fren yağ basıncı 2,4 bar, fren pedal kuvveti -0.3 N olarak deney gerçekleştirilmiştir. Bu deneyde yüksek engebeli yolun frensiz rejimi incelenmiştir.

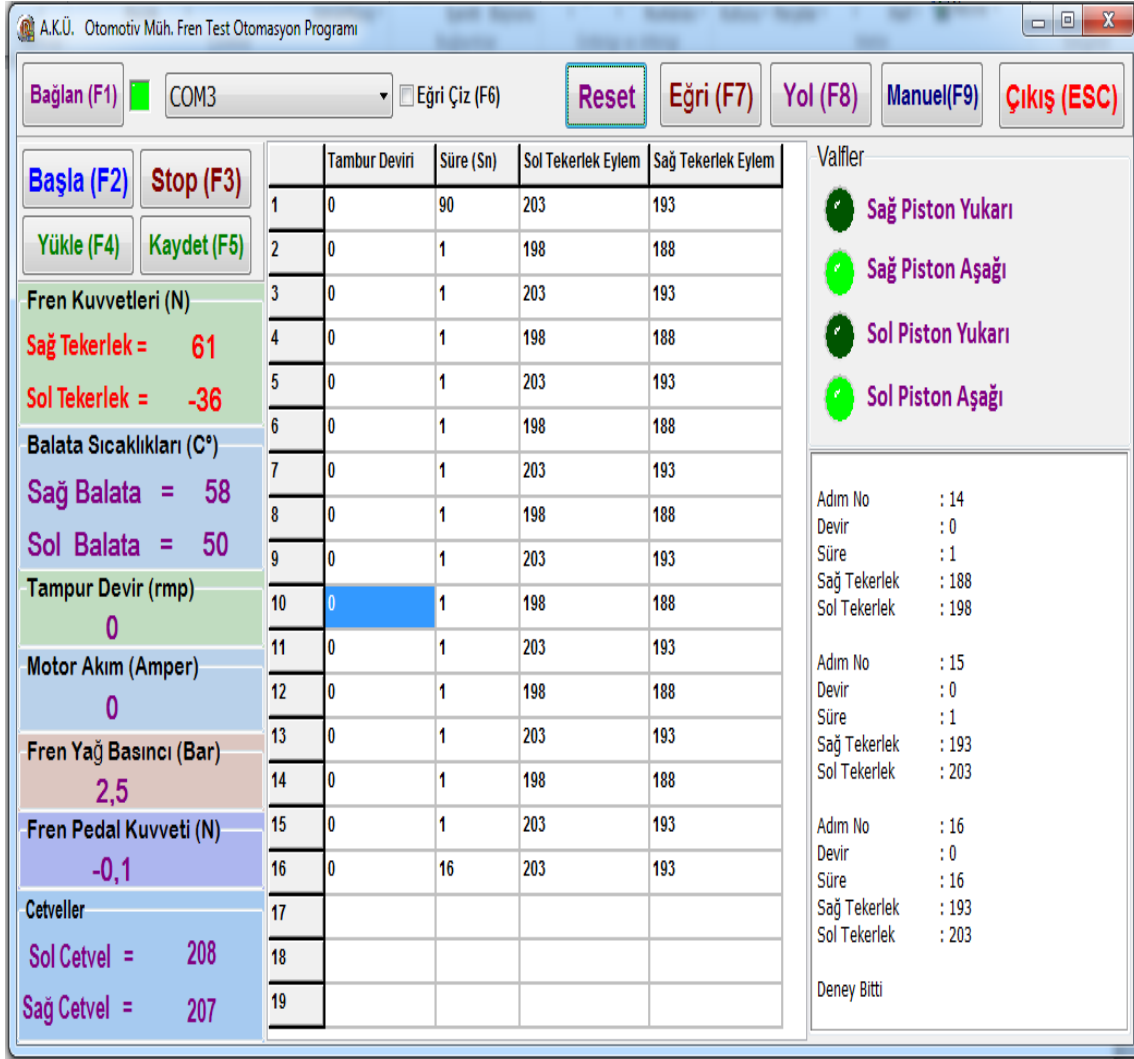


Şekil 3.11 Yüksek engebeli frensiz deney çizelgesel değerler.

Fstc ile yapılan deney sonucunda elde edilen verilerin değerleri Şekil 3.11’de görülmektedir. Yüksek engebeli frensiz deneyin çizelgesel değerlerinde sağ sıcaklık, sol sıcaklık, basınç, pedal kuvveti ve devir önemli bir değişiklik olmadığından yatayda sabit ilerlemiştir. Deney süresince sağ ve sol kuvvet değerleri engebeli yol başlayana kadar geçen sürede dengeli bir değişim gözlenmiştir. Engebeli yolun başlangıcından (90. saniye) sonra gözlemlenen değişim yol profili ile uyumlu bir şekilde değişmiştir. Yolun engebese bağlı olarak da devirde ufak bir değişim meydana gelmiştir.

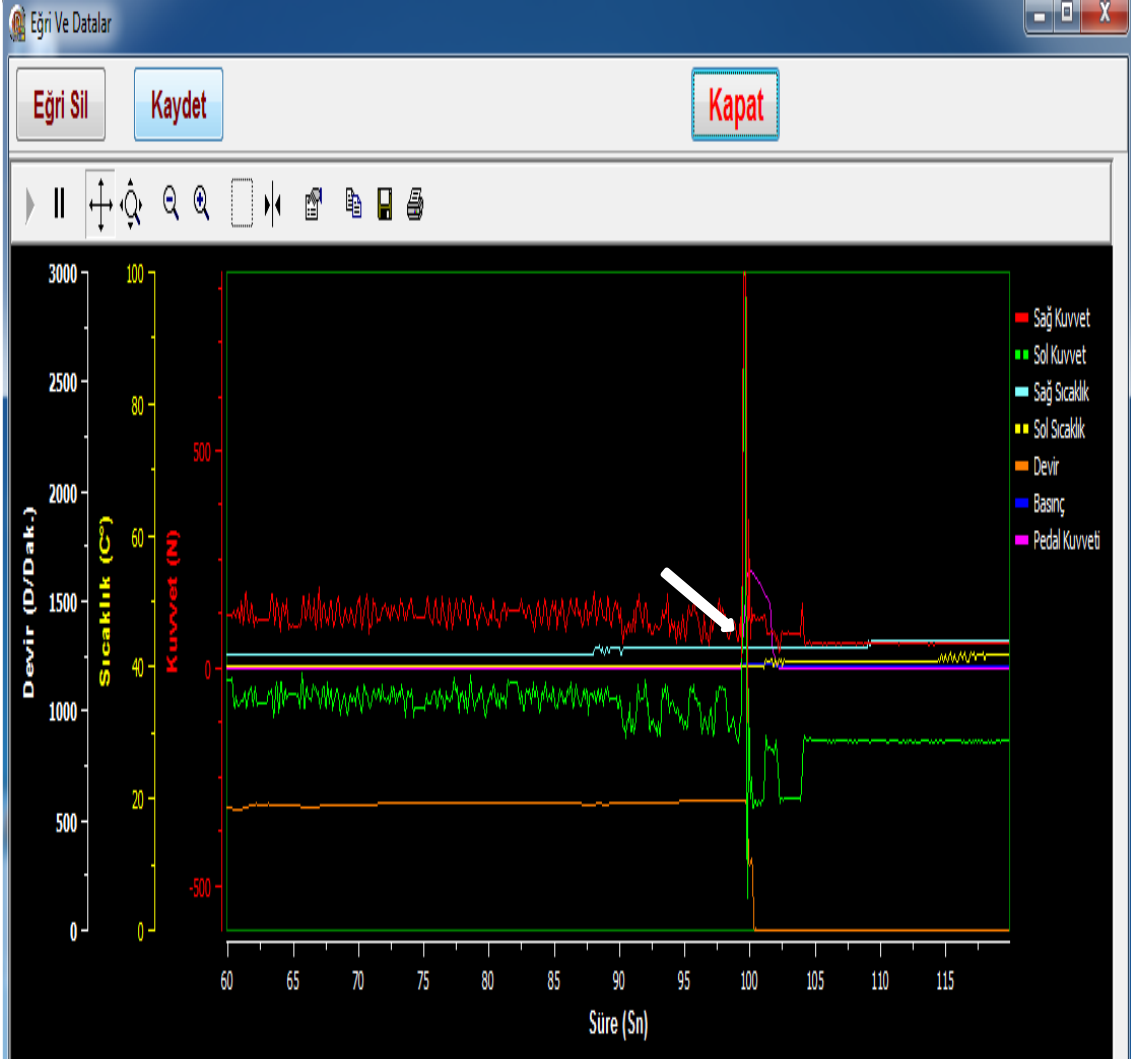
3.4 Yüksek Engebeli Frenli Deney

Yüksek engebeli frenli deney; Fstc 100 saniye çalıştırılmıştır. 90. saniyede engebeli yol başlamıştır. Fstc 2. Viteste, 3000 devirde 40 km/h sabit hızla ilerlemektedir. 100. saniyede fren yapılmıştır.



Şekil 3.12 Yüksek engebeli frenli deney Fstc değerleri.

Fstc ile yapılan deney sonucunda elde edilen verilerin değerleri Şekil 3.12’de görülmektedir. Yüksek engebeli-frenli deneyde sağ tekerlek 61 N, sol tekerlek -36N, sağ balata 58 °C, sol balata 50 °C, fren yağ basıncı 2,5 bar, fren pedal kuvveti -0.1 N olarak deney gerçekleştirilmiştir. Bu deneyde yüksek engebeli yolun frenli rejimi incelenmiştir.

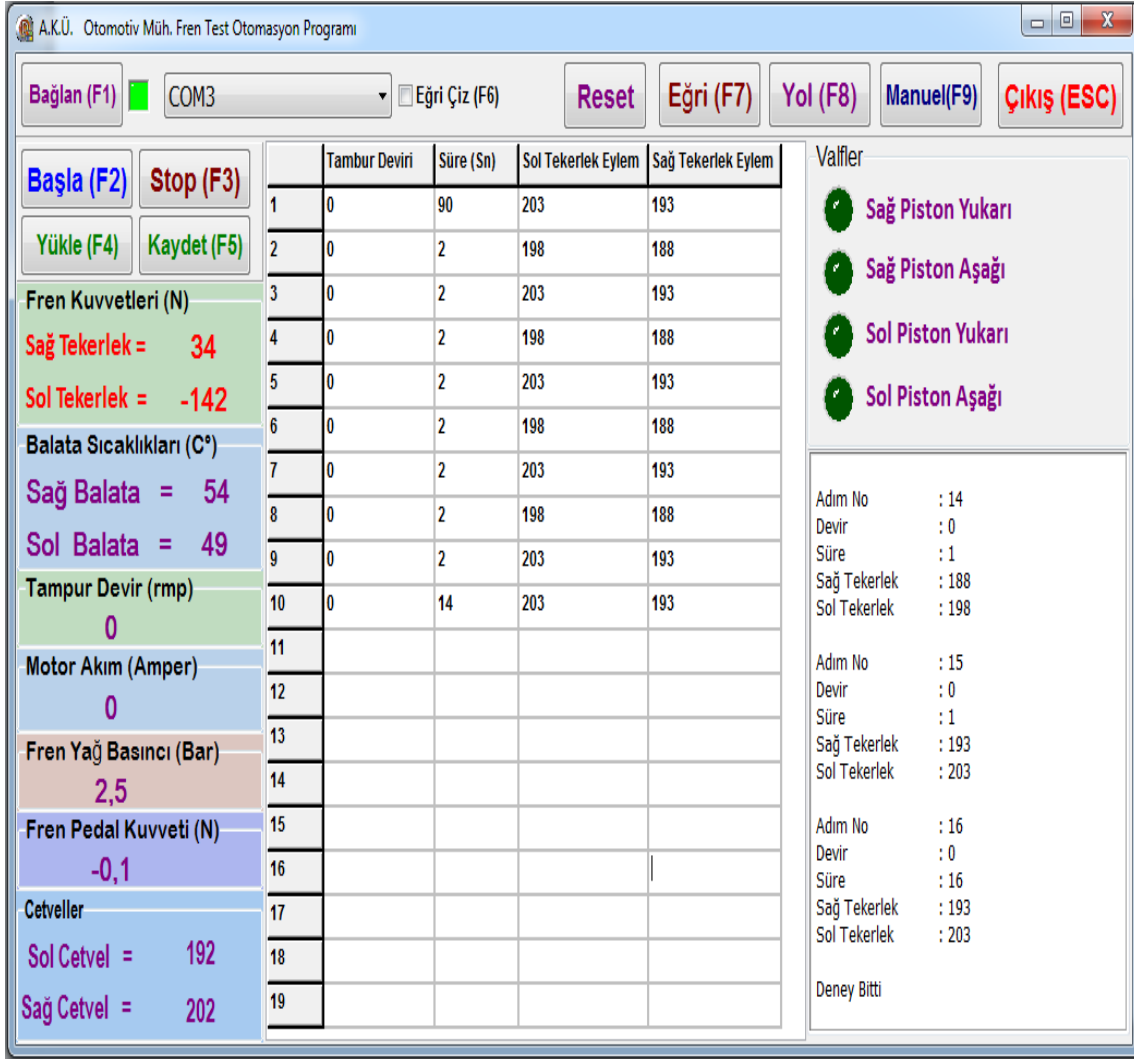


Şekil 3.13 Yüksek engebeli frenli deney çizelgesel değerler.

Fstc ile yapılan deney sonucunda elde edilen verilerin değerleri Şekil 3.13'te görülmektedir. Yüksek engebeli frenli deneyin çizelgesel değerlerinde sağ ve sol kuvvet engebeli yol başlayana kadar dengeli bir şekilde değişmiştir. Engebeli yolun başlaması ile birlikte çizelgedeki değerler yol profili ile paralellik göstermektedir. Değerlerin yataydan dikeye ani olarak geçtiği an frenleme anıdır (100. saniye). Sağ sıcaklık, sol sıcaklık, basınç ve pedal kuvveti yatayda sabit ilerlemektedir. Devrin frenleme sonrasında düştüğü görülmektedir.

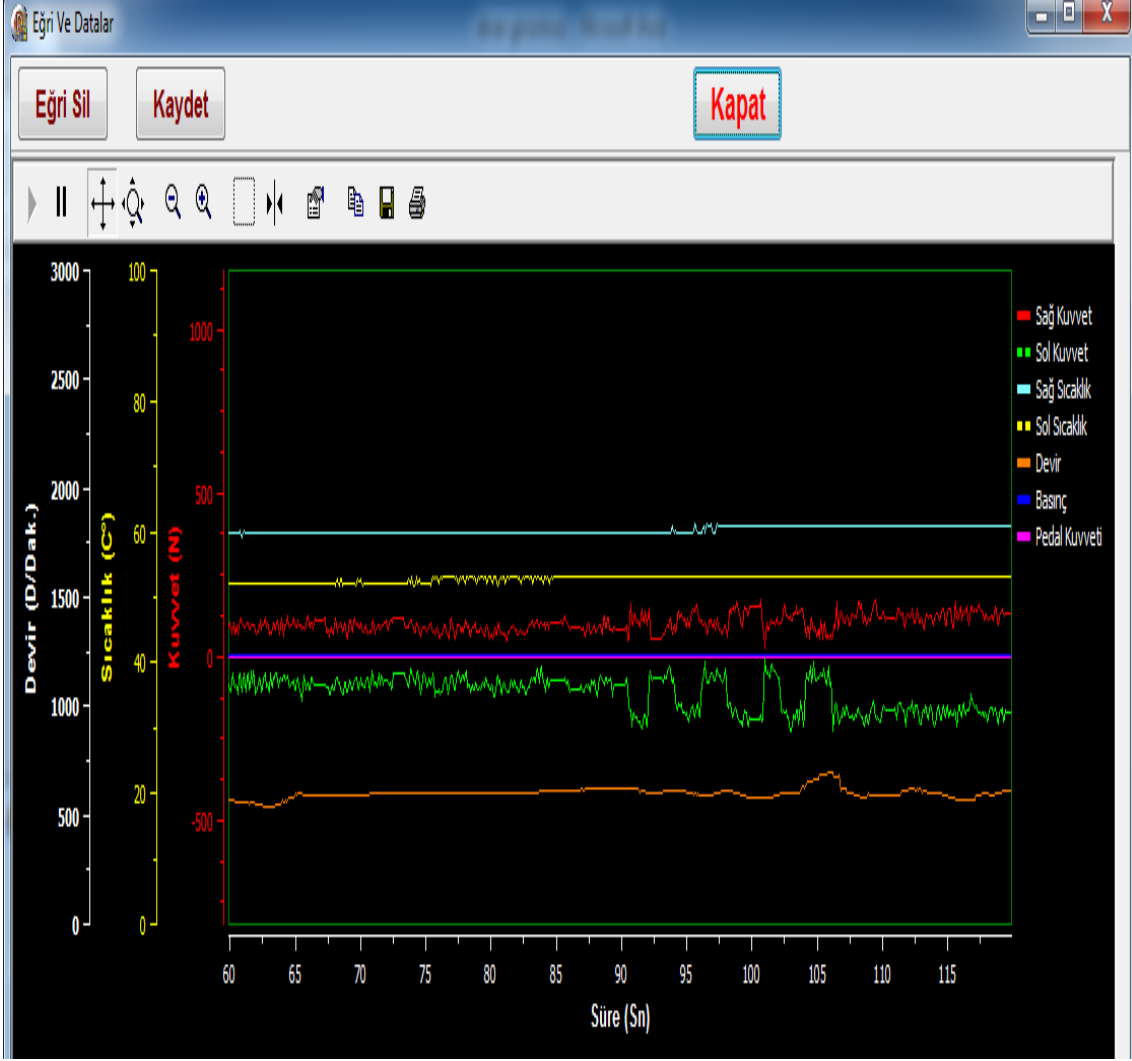
3.5 Orta Engebeli-Frensiz Deney

Orta Engebeli-Frensiz deney; Fstc 100 saniye çalıştırılmıştır. 90. saniyede engebeli yol başlamıştır. İki saniyede bir yol 5 mm değişmektedir. Fstc 2. Viteste, 3000 devirde 40 km/h sabit hızla ilerlemektedir. Frensiz rejim incelenmiştir.



Şekil 3.14 Orta Engebeli-Frensiz deney Fstc değerleri.

Fstc ile yapılan deney sonucunda elde edilen verilerin değerleri Şekil 3.14'te görülmektedir. Orta Engebeli-Frensiz deneyde sağ tekerlek 34 N, sol tekerlek -142N, sağ balata 54 °C, sol balata 49 °C, fren yağ basıncı 2,5 bar, fren pedal kuvveti -0.1 N olarak deney gerçekleştirilmiştir. Bu deneyde orta engebeli yolun frensiz rejimi incelenmiştir.

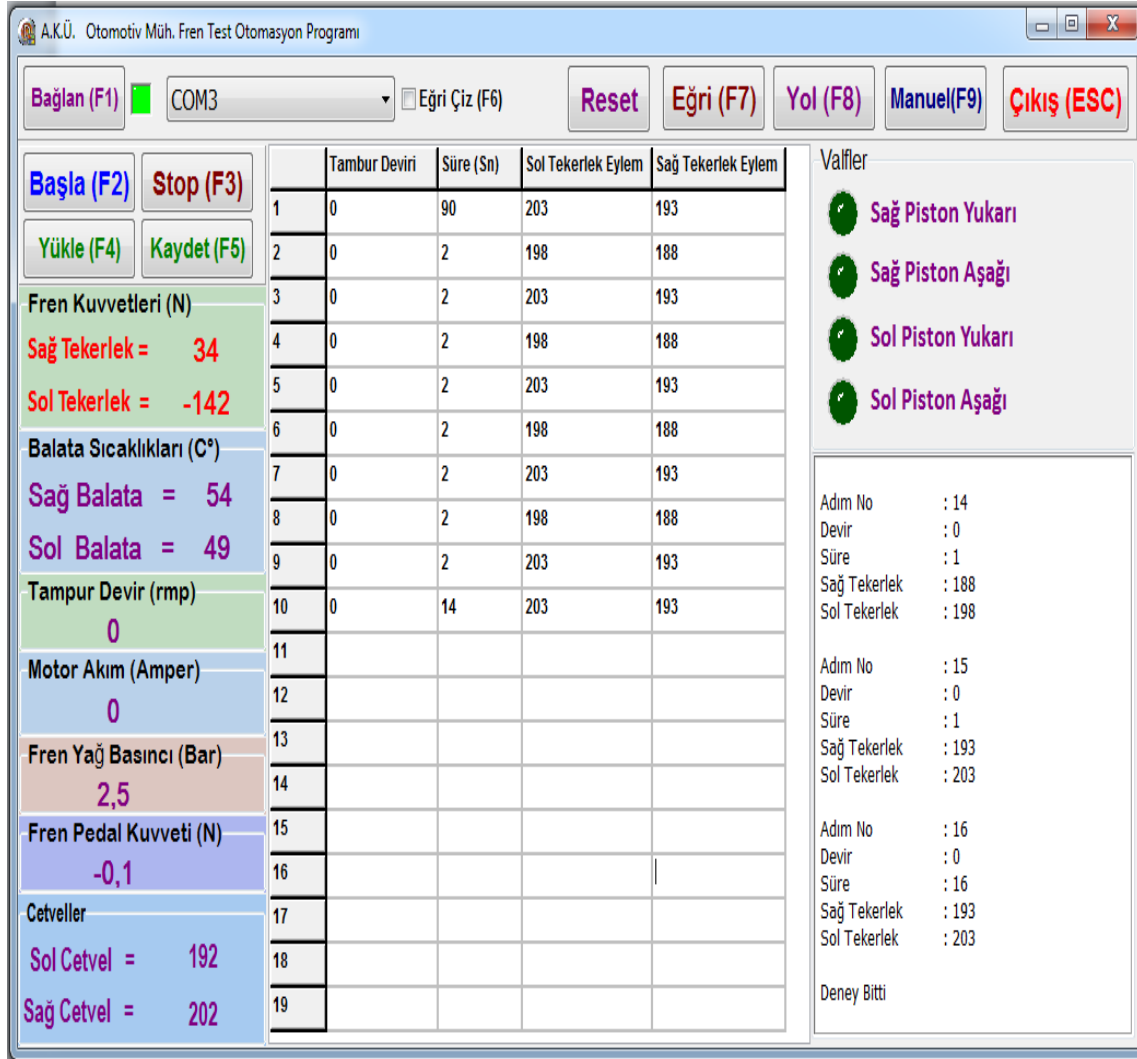


Şekil 3.15 Orta Engebeli-Frensiz deney çizelgesel değerler.

Fstc ile yapılan deney sonucunda elde edilen verilerin değerleri Şekil 3.15’de görülmektedir. Orta Engebeli-Frensiz deneyin çizelgesel değerlerinde sağ sıcaklık, sol sıcaklık, basınç ve pedal kuvvetinde önemli bir değişim olmayıp yatayda sabit ilerlemiştir. Deney süresince sağ ve sol kuvvet değerleri engebeli yolun başlangıcına kadar dengeli bir şekilde değişmektedir. Engebeli yol başlangıcında (90. Saniye) değerler yol profili ile uygun bir şekilde dalgalanmaktadır. Engebeli yolda devirde küçük değişimler gözlenmiştir.

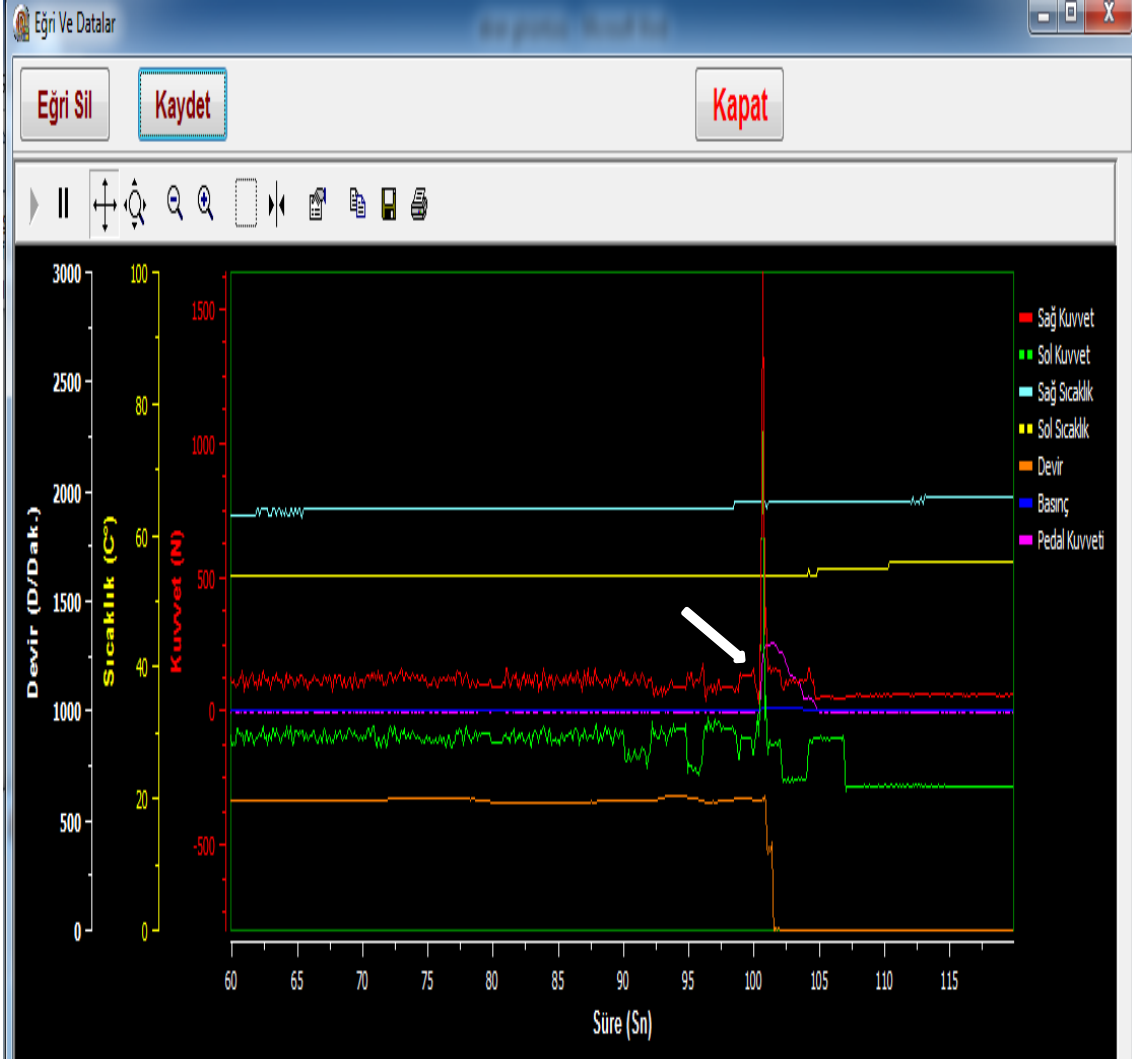
3.6 Orta Engebeli-Frenli Deney

Orta Engebeli-Frenli Deney; Fstc 100 saniye çalıştırılmıştır. 90. saniyede engebeli yol başlamıştır. İki saniyede bir yol 5 mm değişmektedir. Fstc 2. Viteste, 3000 devirde 40 km/h sabit hızla ilerlemektedir. 100. saniyede fren yapılmıştır.



Şekil 3.16 Orta Engebeli-Frenli Deney Fstc değerleri.

Fstc ile yapılan deney sonucunda elde edilen verilerin değerleri Şekil 3.16'da görülmektedir. Orta Engebeli-Frenli deneyde sağ tekerlek 34 N, sol tekerlek -142N, sağ balata 54 °C, sol balata 49 °C, fren yağ basıncı 2,5 bar, fren pedal kuvveti -0.1 N olarak deney gerçekleştirilmiştir. Bu deneyde orta engebeli yolun frenli rejimi incelenmiştir.

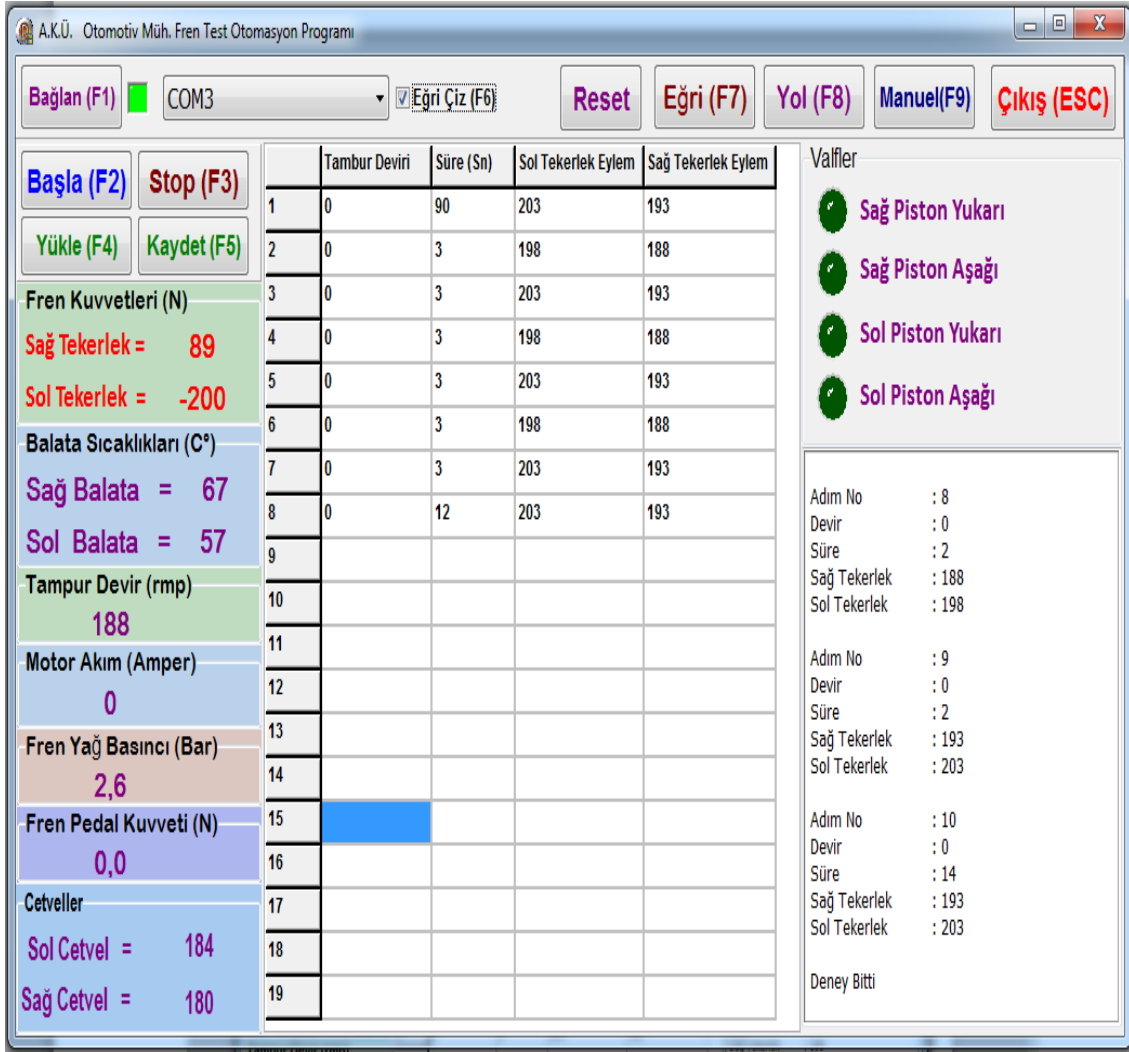


Şekil 3.17 Orta engebeli-frenli deney çizelgesel değerler.

Fstc ile yapılan deney sonucunda elde edilen verilerin değerleri Şekil 3.17’de görülmektedir. Orta engebeli frenli deneyin çizelgesel değerlerinde sağ ve sol kuvvet engebeli yol başlayana dek dengeli bir şekilde değişmiştir. Engebeli yolun başlaması ile birlikte çizelgedeki değerler yol profili ile paralellik göstermektedir. Değerlerin yataydan dikeye ani olarak geçtiği an frenleme anıdır (100. saniye). Sağ sıcaklık, sol sıcaklık, basınç ve pedal kuvveti yatayda sabit ilerlemektedir. Devrin frenleme sonrasında düştüğü görülmektedir.

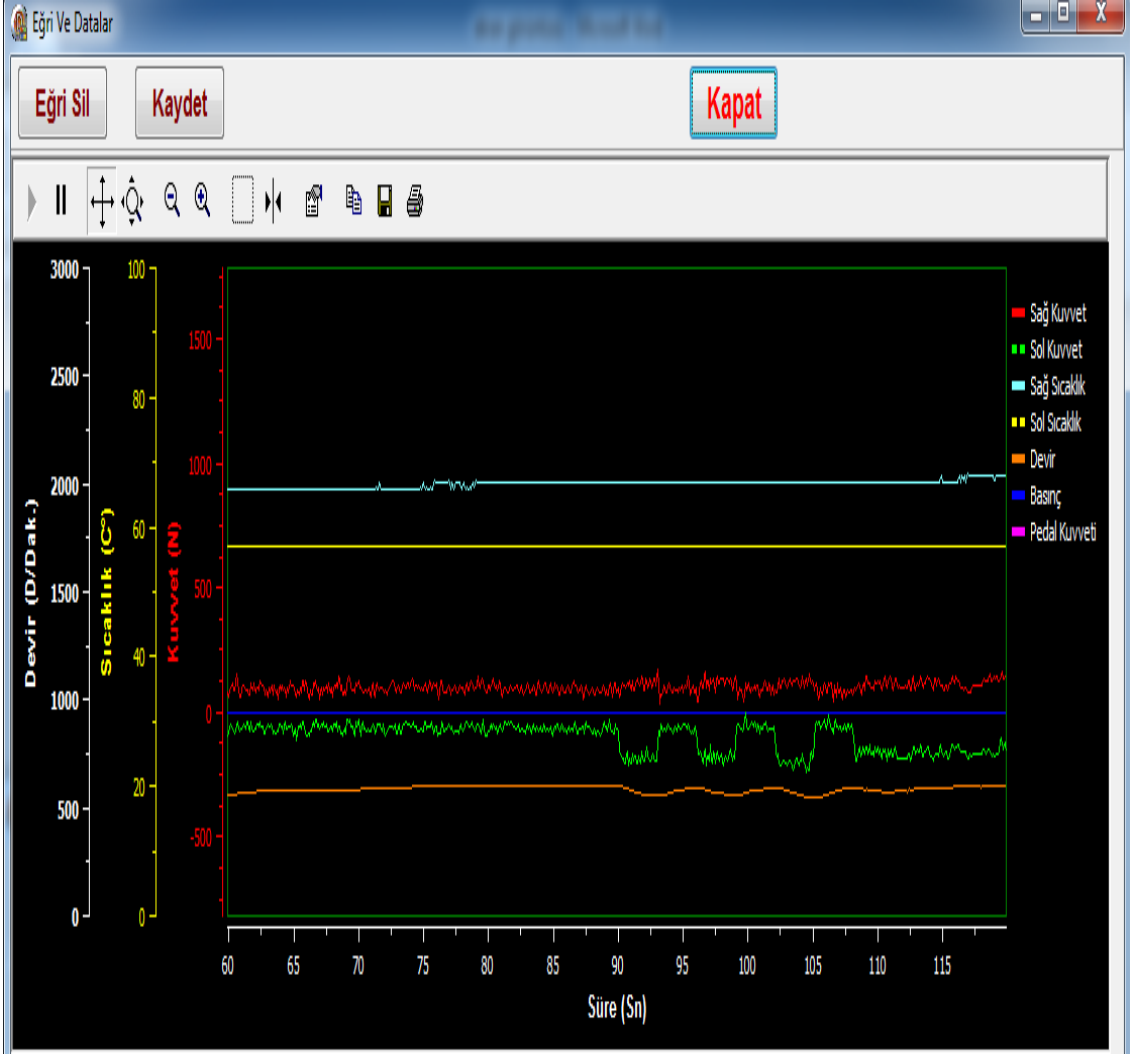
3.7 Az Engebeli-Frensiz Deney

Az engebeli-frensiz deney; Fstc 100 saniye çalıştırılmıştır. 90. Saniyede engebeli yol başlamıştır. Üç saniyede bir yol 5 mm değişmektedir. Fstc 2. Viteste, 3000 devirde 40 km/h sabit hızla ilerlemektedir. Frensiz rejim incelenmiştir.



Şekil 3.18 Az engebeli-frensiz deney Fstc değerleri.

Fstc ile yapılan deney sonucunda elde edilen verilerin değerleri Şekil 3.18’de görülmektedir. Az engebeli -Frensiz deneyde sağ tekerlek 89 N, sol tekerlek -200N, sağ balata 67 °C, sol balata 57 °C, fren yağ basıncı 2,6 bar, fren pedal kuvveti -0.1 N olarak deney gerçekleştirilmiştir. Bu deneyde az engebeli yolun frensiz rejimi incelenmiştir.

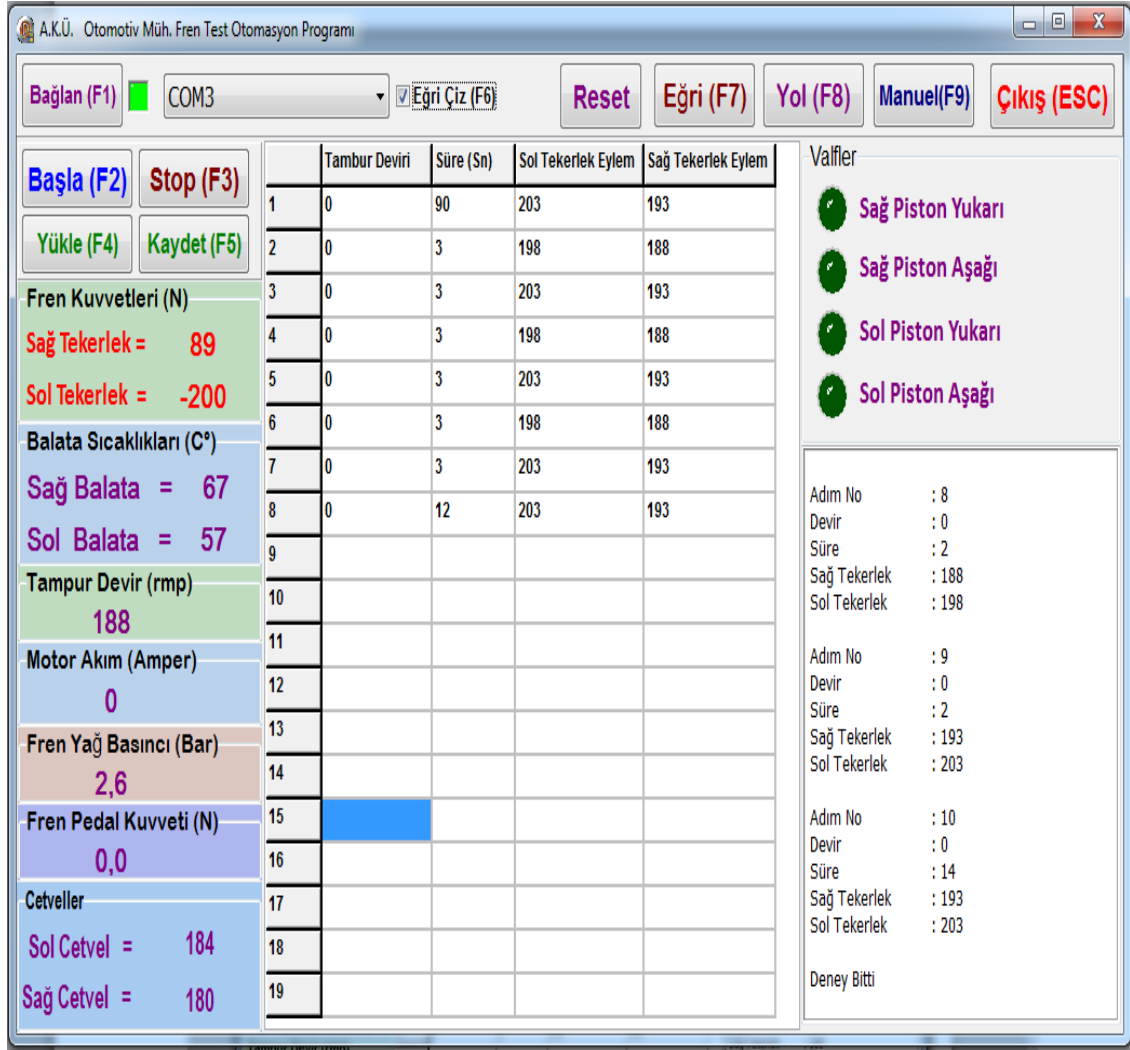


Şekil 3.19 Az engebeli-frensiz deney çizelgesel değerler.

Fstc ile yapılan deney sonucunda elde edilen verilerin değerleri Şekil 3.19’da görülmektedir. Az engebeli-frensiz deneyin çizelgesel değerlerinde sağ sıcaklık, sol sıcaklık, basınç ve pedal kuvveti genel anlamıyla yatayda sabit ilerlemiştir. Deney süresince sağ ve sol kuvvet değerleri engebeli yolun başlangıcına kadar dengeli bir şekilde değişmektedir. Engebeli yol başlangıcında (90. Saniye) değerler yol profili ile uygun bir şekilde dalgalanmaktadır. Engebeli yolda devirde küçük değişimler gözlenmiştir.

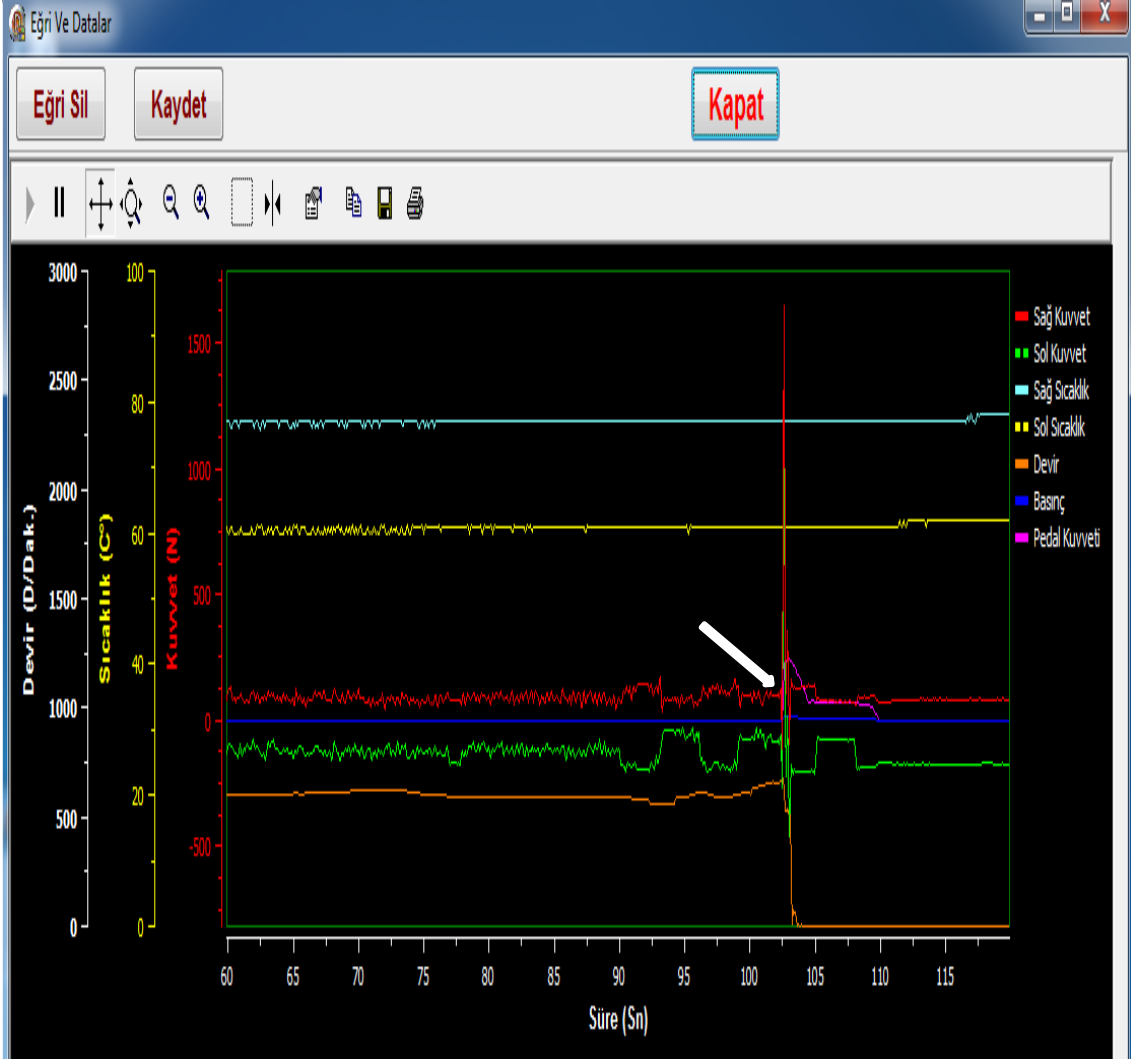
3.8 Az Engebeli-Frenli Deney

Az engebeli-frenli deney; Fstc 100 saniye çalıştırılmıştır. 90. saniyede engebeli yol başlamıştır. Üç saniyede bir yol 5 mm değişmektedir. Fstc 2. Viteste, 3000 devirde 40 km/h sabit hızla ilerlemektedir. 100. saniyede fren yapılmıştır.



Şekil 3.20 Az engebeli-frenli deney Fstc değerleri.

Fstc ile yapılan deney sonucunda elde edilen verilerin değerleri Şekil 3.20’de görülmektedir. Az engebeli -frenli deneyde sağ tekerlek 89 N, sol tekerlek -200N, sağ balata 67 °C, sol balata 57 °C, fren yağ basıncı 2,6 bar, fren pedal kuvveti -0.1 N olarak deney gerçekleştirilmiştir. Bu deneyde az engebeli yolun frenli rejimi incelenmiştir.



Şekil 3.21 Az engebeli-frenli deney çizelgesel değerler.

Fstc ile yapılan deney sonucunda elde edilen verilerin değerleri Şekil 3.21’de görülmektedir. Az engebeli frenli deneyin çizelgesel değerlerinde sağ ve sol kuvvet engebeli yol başlayana dek dengeli bir şekilde değişmiştir. Engebeli yolun başlaması ile birlikte değerler yol profili ile paralellik göstermektedir. Değerlerin yataydan dikeye ani olarak geçtiği an frenleme anı sonrasıdır (100. saniye). Sağ sıcaklık, sol sıcaklık, basınç ve pedal kuvveti yatayda sabit ilerlemektedir. Devrin frenleme sonrasında düştüğü görülmektedir.

Çizelge 3.2 Deneylerde disk sıcaklığı.

Deneyler Sırasında Ölçülen Disk Sıcaklık (°C) Değerleri			
Deney İsmi	Tekrar Numarası	Sağ Disk Sıcaklık	Sol Disk Sıcaklık
Engebesiz Frensiz Deney	1	24	24
	2	31	30
	3	37	33
Engebesiz Frenli Deney	1	42	38
	2	46	39
	3	48	42
Yüksek Engebeli Frensiz Deney	1	51	46
	2	54	48
	3	58	50
Yüksek Engebeli Frenli Deney	1	41	40
	2	44	42
	3	49	46
Orta Engebeli Frensiz Deney	1	53	48
	2	56	49
	3	59	52
Orta Engebeli Frenli Deney	1	65	56
	2	62	54
	3	67	56
Az Engebeli Frensiz Deney	1	67	57
	2	68	58
	3	71	59
Az Engebeli Frenli Deney	1	74	59
	2	77	61
	3	77	61

Deneyler gerçekleştirilirken her deney için disk sıcaklıkları ölçülmüştür. Bu sıcaklık değerlerine Çizelge 3.2’de yer verilmiştir.

Çizelge 3.3 Deney değişkenleri.

	Engebesiz - Frensiz Deney	Engebesiz - Frenli Deney	Yüksek Engelibeli - Frensiz Deney	Yüksek Engelibeli - Frenli Deney	Orta Engelibeli - Frensiz Deney	Orta Engelibeli - Frenli Deney	Az Engelibeli - Frensiz Deney	Az Engelibeli - Frenli Deney
Süre (100 Saniye)	•	•	•	•	•	•	•	•
Fren		•		•		•		•
Engebe			•	•	•	•	•	•

Çizelge 3.3'te gerçekleştirilen deneylere ait değişkenlere yer verilmiştir.

4. BULGULAR

FSTC ile yapılan deneyler sonucunda 5 mm derinliğindeki çukurlara 11,11 m, 22,22 m, 33,33 m aralıklara giren bir aracın durma mesafesi ölçülmüştür. Mesafeler aracın 1, 2 ve 3 sn boyunca aldığı yola eşittir. Yapılan frenlemelerde aracın bu çukurlara girip çıkma sıklığına göre durma mesafesinin ne kadar değiştiği ölçülmüştür. Aynı zamanda frenleme yapılan deneylerde frenleme sırasında fren hattında oluşan basınç da tespit edilmiştir. Deneyler test cihazı 2. Vites 3000 devirde 40 km/h sabit hızla çalışırken her deney 3 tekrar olacak şekilde yapılmıştır. Ölçülen bütün frenlemeler çizelge 4.1-4.4 arasında gösterilmiştir. Frenli deneyler sonucunda elde edilen ortalama fren mesafeleri birbirleri ile çizelge 4.5'te karşılaştırılmıştır.

Durma mesafesi sıralaması;

Az engebeli-frenli deney > Orta engebeli-frenli deney > Yüksek engebeli-frenli deney > Engebesiz-frenli deney olarak bulunmuştur.

Frenli deneylerde elde edilen fren hattı basınçları da çizelge 4.6-4.9 arasında gösterilmiştir. Fren hattı basıncı karşılaştırmaları çizelge 4.10'da gösterilmiştir.

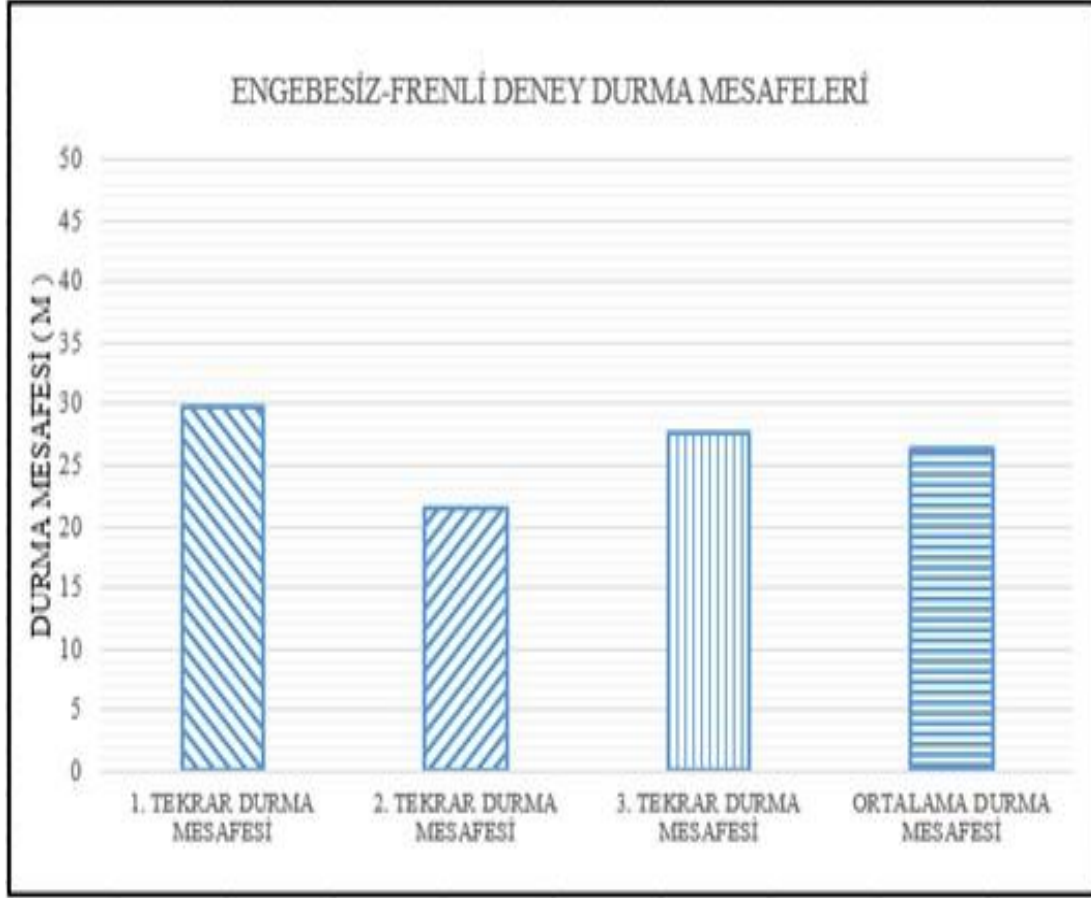
Karşılaştırma sonucunda basınç değerleri sıralaması;

Az engebeli-frenli deney > Orta engebeli-frenli deney > Yüksek engebeli-frenli deney > Engebesiz-frenli deney olarak durma mesafesi sonuçları ile orantılı bir şekilde elde edilmiştir.

Yapılan deneylerde ölçümlerin birbirlerine göre farklılık göstermesinin sebeplerinden biriside ölçümlerin içinde insan faktörünün bulunmasıdır. Bunun yanında zamanla cihazın ısınması hidrolik genişmesi vb. gibi faktörler küçükte olsa farklılıklara yol açabilmektedir.

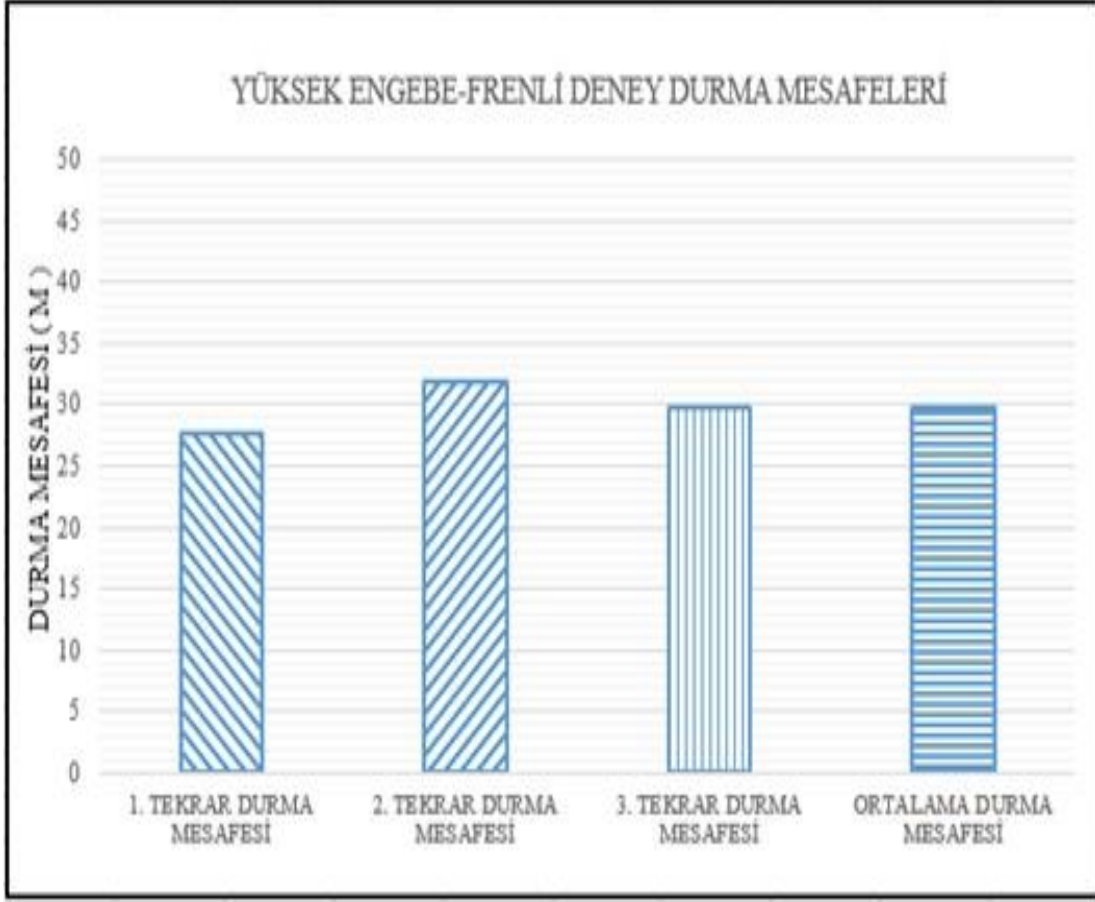
4.1 Durma Mesafesi Verileri

Çizelge 4.1 Engebesiz-frenli deney durma mesafeleri.



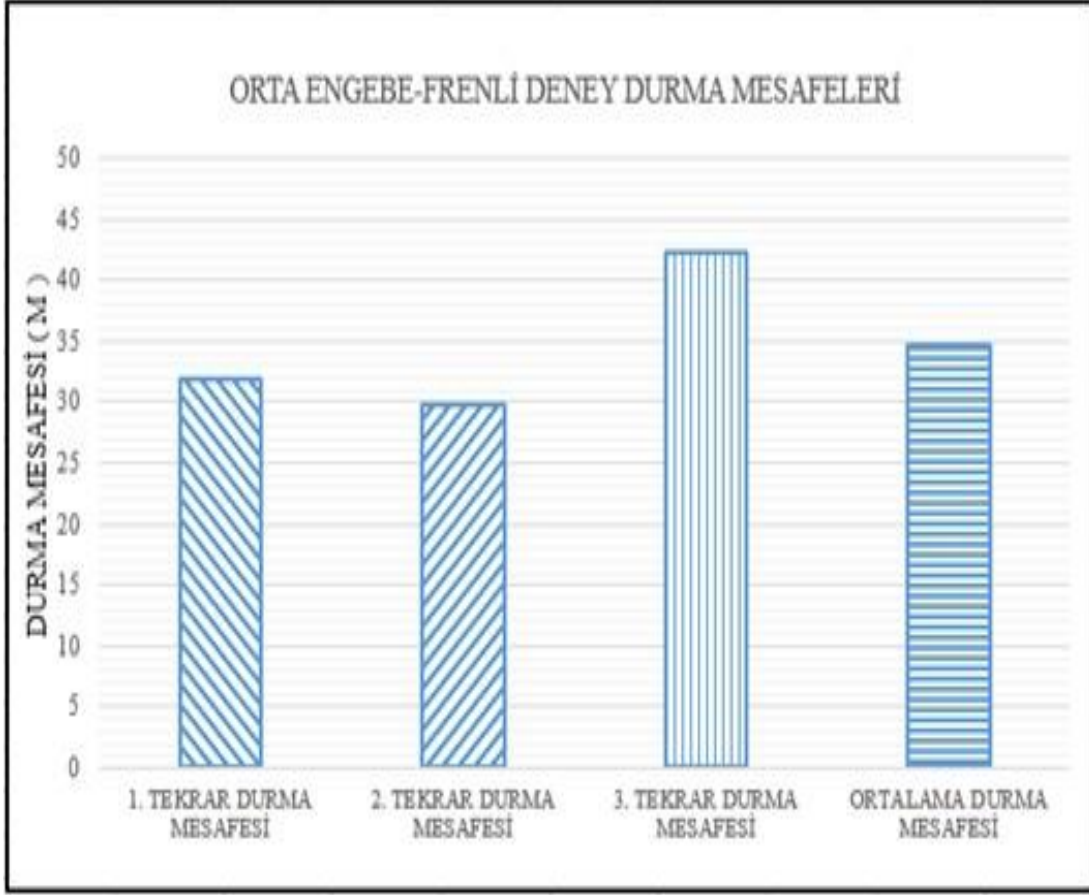
Engebesiz-frenli deney durma mesafeleri Çizelge 4.1’de görülmektedir. Engebesiz-frenli deneyde yolda herhangi bir engebe bulunmamaktadır. Engebesiz yolun fren rejimi incelenmiştir. Engelibeli yolda yapılan deneylerle karşılaştırma yapılması açısından önem arz etmektedir. Ortalama değere göre 1. tekrar %13 yüksek 2. tekrar %19 düşük 3. tekrar %5 yüksek bulunmuştur.

Çizelge 4.2 Yüksek engebe-frenli deney durma mesafeleri.



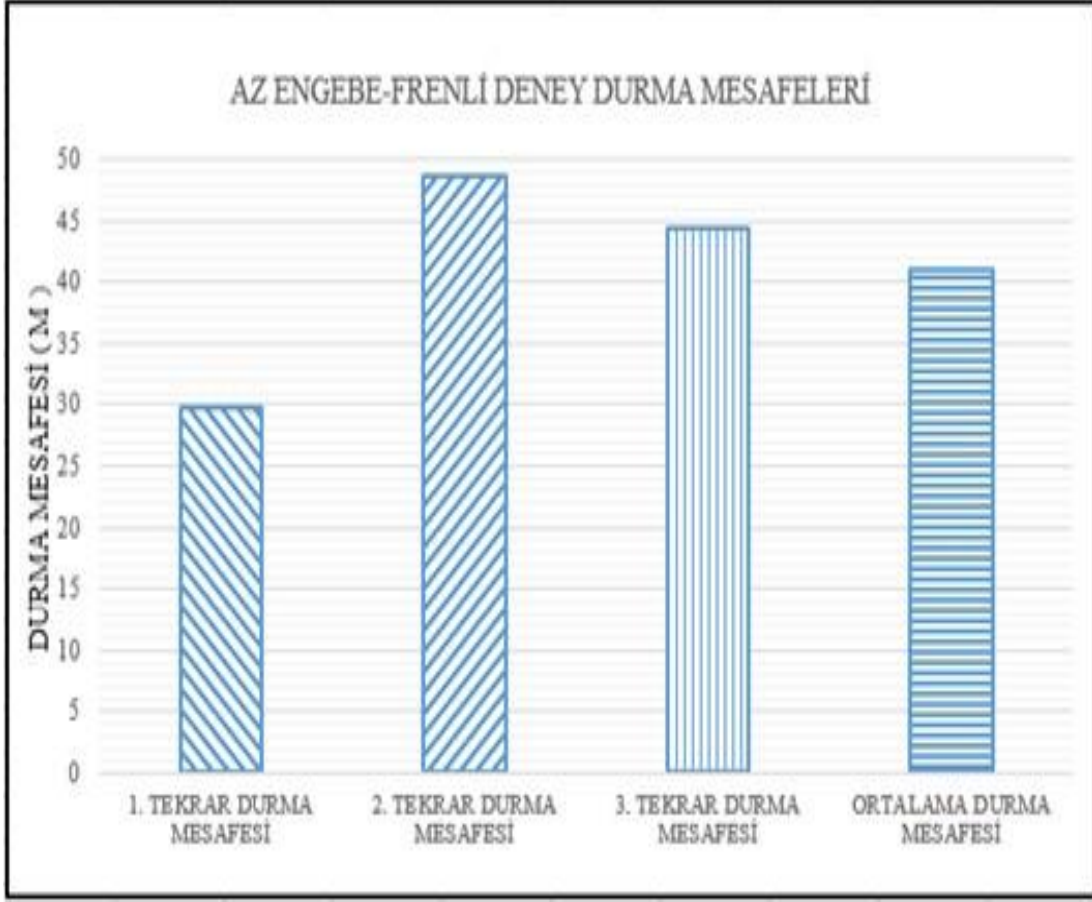
Yüksek engebe-frenli deney durma mesafeleri Çizelge 4.2’de görülmektedir. Yüksek engebe-frenli deney engebe yoğunluğu 11,11 m bir değişim gösteren yolda gerçekleştirilmiştir. Bu yolun engebe miktarı 11,11 m’de 5 mm (çukur) olacak şekilde değişmektedir. Ortalama değere göre 1. tekrar %7 düşük 2. tekrar %7 yüksek 3. tekrar eşit bulunmuştur.

Çizelge 4.3 Orta engebe-frenli deney durma mesafeleri.



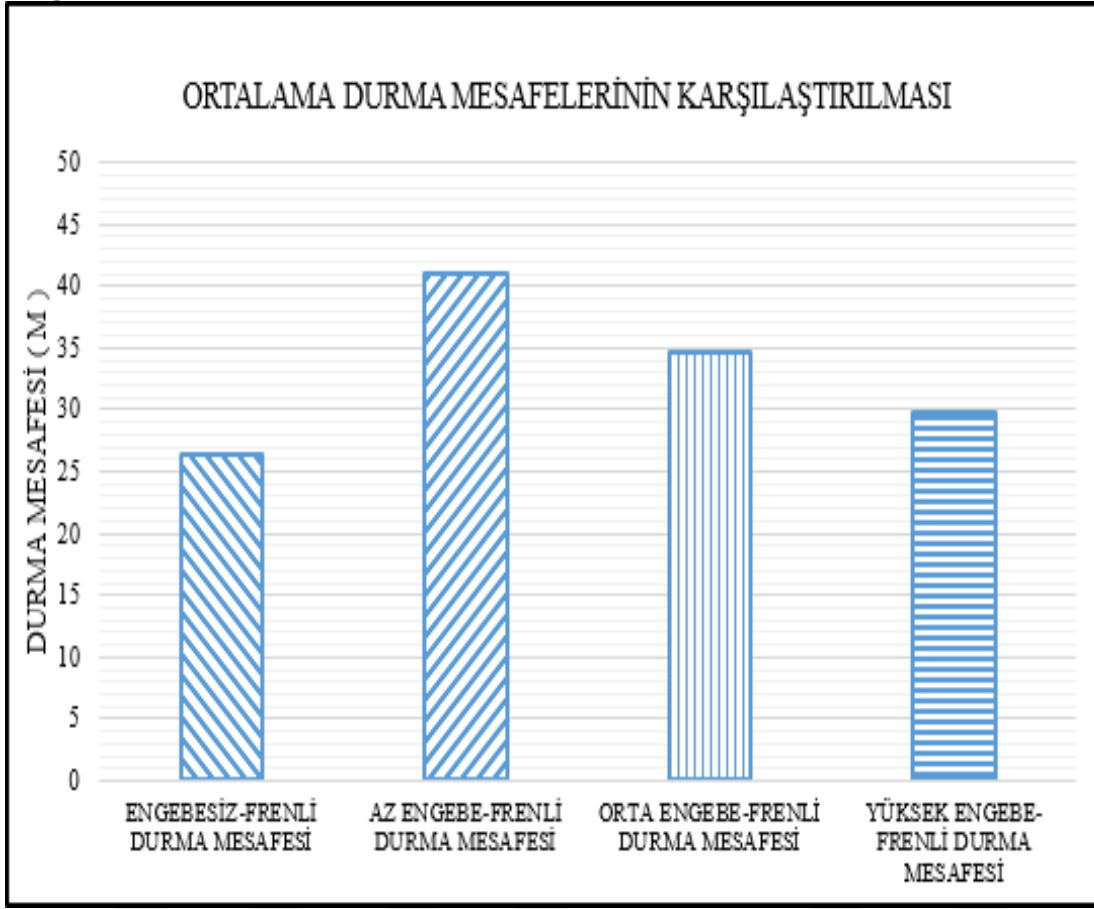
Orta engebe-frenli deney durma mesafeleri Çizelge 4.3'te görülmektedir. Orta engebe-frenli deney engebe yoğunluğu 22,22 m bir değişim gösteren yolda gerçekleştirilmiştir. Bu yolun engebe miktarı 22,22 m'de 5 mm (çukur) olacak şekilde değişmektedir. Ortalama değere göre 1. tekrar %8 düşük 2. tekrar %14 düşük 3. tekrar %22 yüksek bulunmuştur.

Çizelge 4.4 Az engebe-frenli deney durma mesafeleri.



Az engebe-frenli deney durma mesafeleri Çizelge 4.4'te görülmektedir. Az engebe-frenli deney engebe yoğunluğu 33,33 m bir değişim gösteren yolda gerçekleştirilmiştir. Bu yolun engebe miktarı 33,33 m'de 5 mm (çukur) olacak şekilde değişmektedir. Ortalama değere göre 1. tekrar %27 düşük 2. tekrar %18 yüksek 3. tekrar %8 yüksek bulunmuştur.

Çizelge 4.5 Ortalama durma mesafeleri karşılaştırılması.



Ortalama durma mesafeleri karşılaştırılması Çizelge 4.5'te görülmektedir. Karşılaştırma çizelgesinde engebeli ve engebesiz yollarda frenli yapılan deneyler karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Çizelgeden elde edilen sonuca göre durma mesafesi sıralamaları;

Az engebeli yol > Orta engebeli yol > Yüksek engebeli yol > Engebesiz yol olacak şekilde elde edilmiştir.

Az engebeli yolda ortalama durma mesafesi 40,97 m ile en yüksek durma mesafesi olarak ölçülmüştür. Az engebeli deney ortalamasına göre; orta engebeli deney ortalaması %15 düşük, yüksek engebeli deney ortalaması %27 düşük ve engebesiz deney ortalaması %36 düşük olacak şekilde bulunmuştur.

Aynı deney içerisinde durma mesafeleri arasında belirgin farklar gözlemlenmektedir. Bu farklar deneylerin yapıldığı şartlara bağlı olarak gerçekleşmektedir. Tekerleklerin

üzerinde döndüğü tamburun çapı, tambur ve tekerlekler arası ısı ve sürtünme, frenlemeyi gerçekleştiren kişinin fren pedalına uyguladığı kuvvet vb. değişkenler frenleme ve durma mesafesi üzerinde farklılıklara yol açmaktadır.

Her bir deney 3 tekrarlı olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Böylelikle yapılan deneylerdeki hata payı aza indirgenmesi amaçlanmıştır. Durma mesafesi bir binek taşıt için önemli bir parametredir. Durma mesafeleri araştırmasında tek bir tekrar verileri toplamada güvenilirlik ve geçerlilik bakımından yeterli olmayabileceği dikkate alınmıştır.

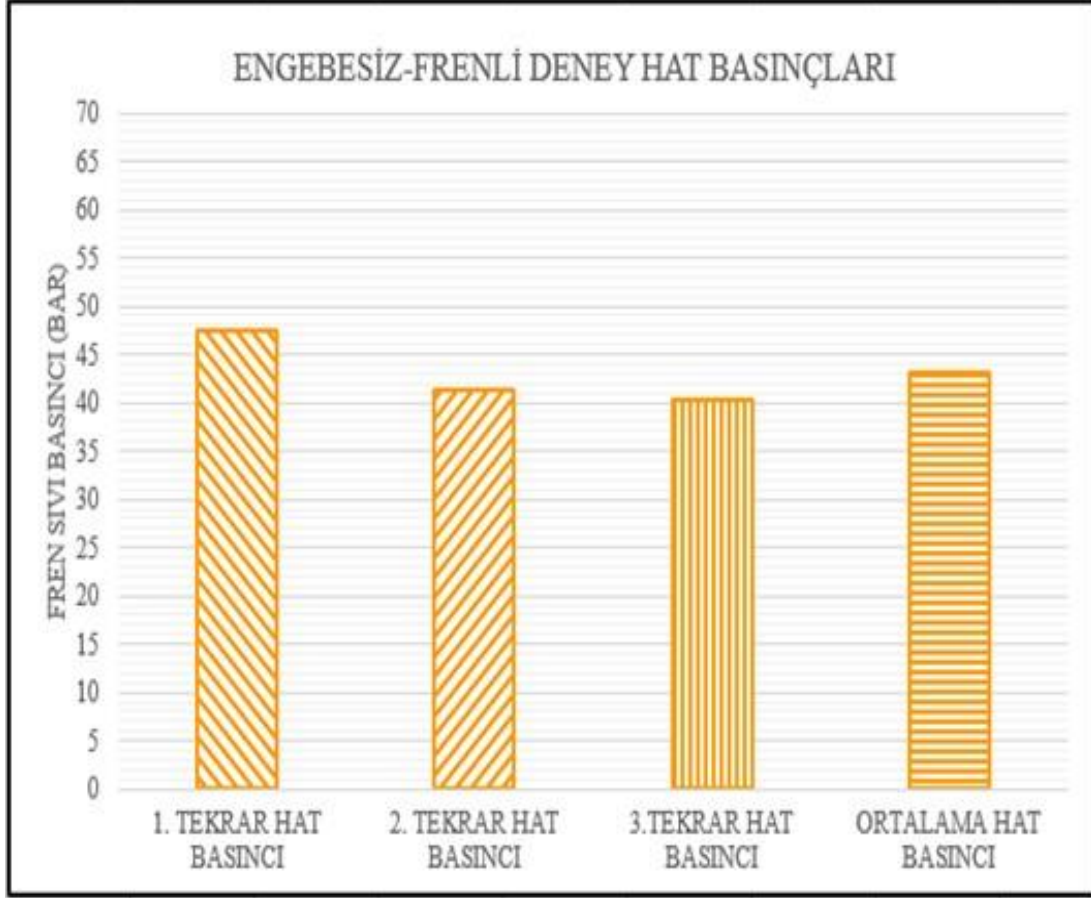
Altıparmak ve Koca (2001), bir taşıtın performansını gösteren önemli etkenlerden biride durma mesafesidir. Farklı fren sistemlerinin verimliliklerini belirlemek için durma mesafesi ölçümleri büyük bir referans olarak nitelendirilmektedir. Ancak aynı araç için tüm şartların aynı olduğu deneyleri bile farklı yol koşullarında ve farklı zamanlarda tekrarlamak daha doğru sonuçlara ulaşmamızda fayda sağlayacaktır.

4.2 Fren Hat Basıncı Verileri

Hat basıncı sistem içerisindeki hidrolik sıvısının oluşturduğu basıncı ifade eder. Hat basıncı büyüklüğü pedal kuvveti, hidrolik sıcaklığı, sürücü durumu vb. parametlerden etkilenmektedir.

Frenli gerçekleştirilmiş olan deneylerde fren pedalına kuvvet uygulandığı an itibariyle fren hattında yüksek basınç meydana gelmektedir. Gerçekleştirilen frenli deneylerin basınç değerleri aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir;

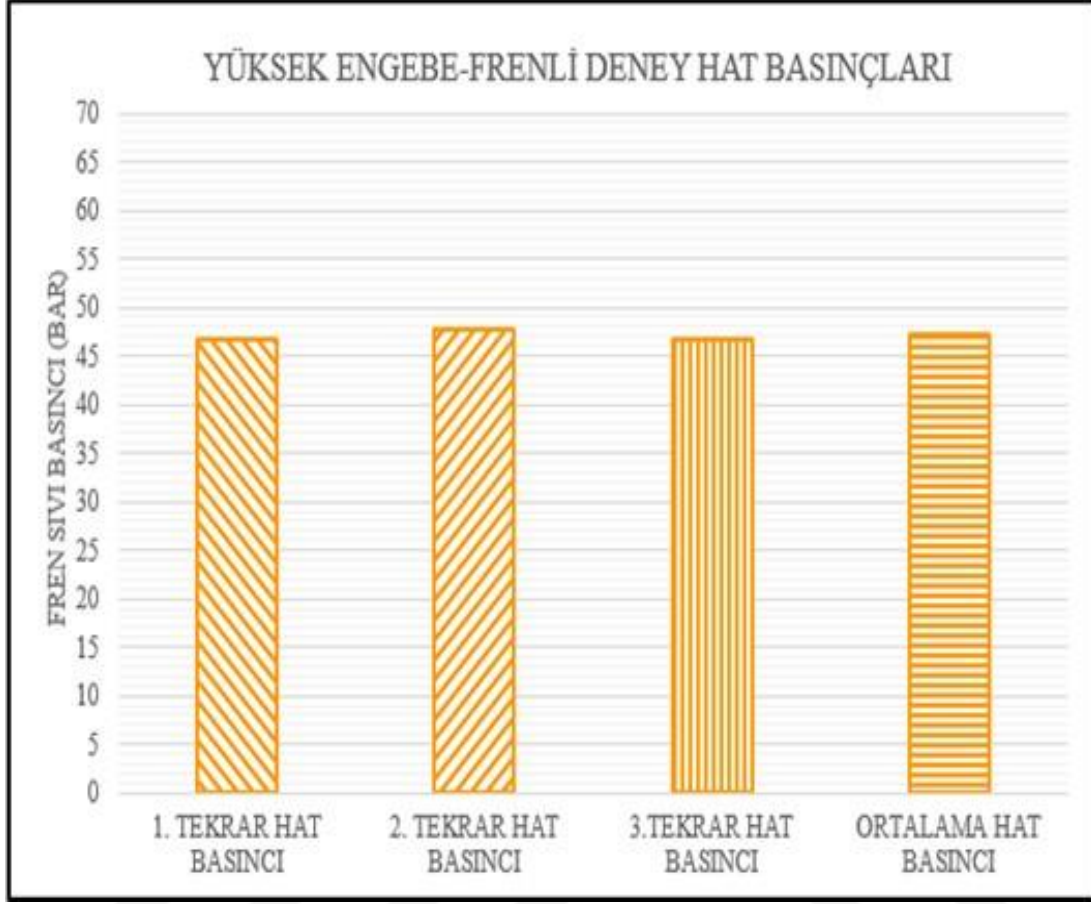
Çizelge 4.6 Engebesiz-frenli deney hat basınçları.



Engebesiz-frenli deney hat basınçları Çizelge 4.6’da görülmektedir. Her deney için 3 tekrar alınmıştır. Birinci engebesiz frenli deneyin hat basıncı değeri 45-50 bar arasındadır. İkinci ve üçüncü tekrarda hat basınç değeri 40-45 bar arasında görülmektedir.

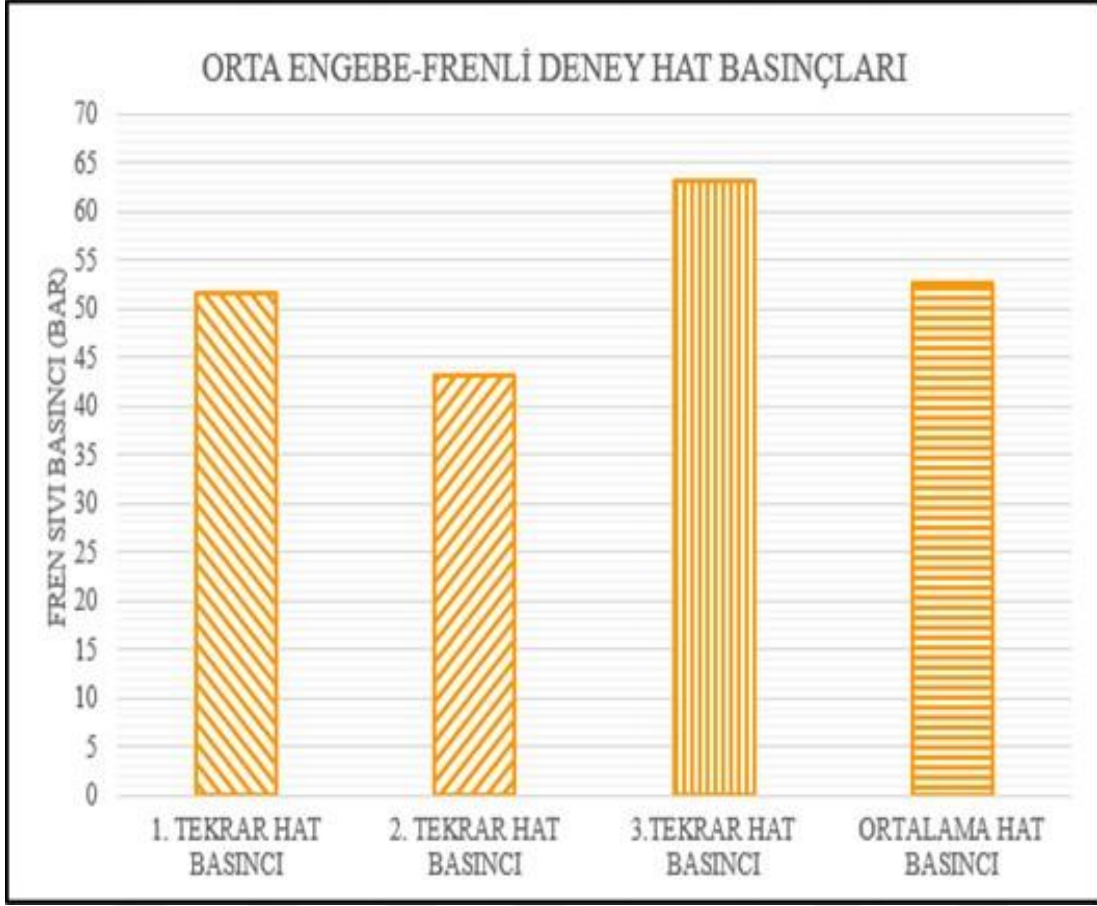
Çizelgelerde görülen değerlere göre engebesiz-frenli deney için ilk tekrarda hat basıncının en yüksek, üçüncü tekrarda ise en düşük olduğu görülmüştür. Ortalama değere göre 1. tekrar %10 yüksek 2. tekrar %4 düşük 3. tekrar %7 düşük bulunmuştur.

Çizelge 4.7 Yüksek engebeli-frenli deney hat basınçları.



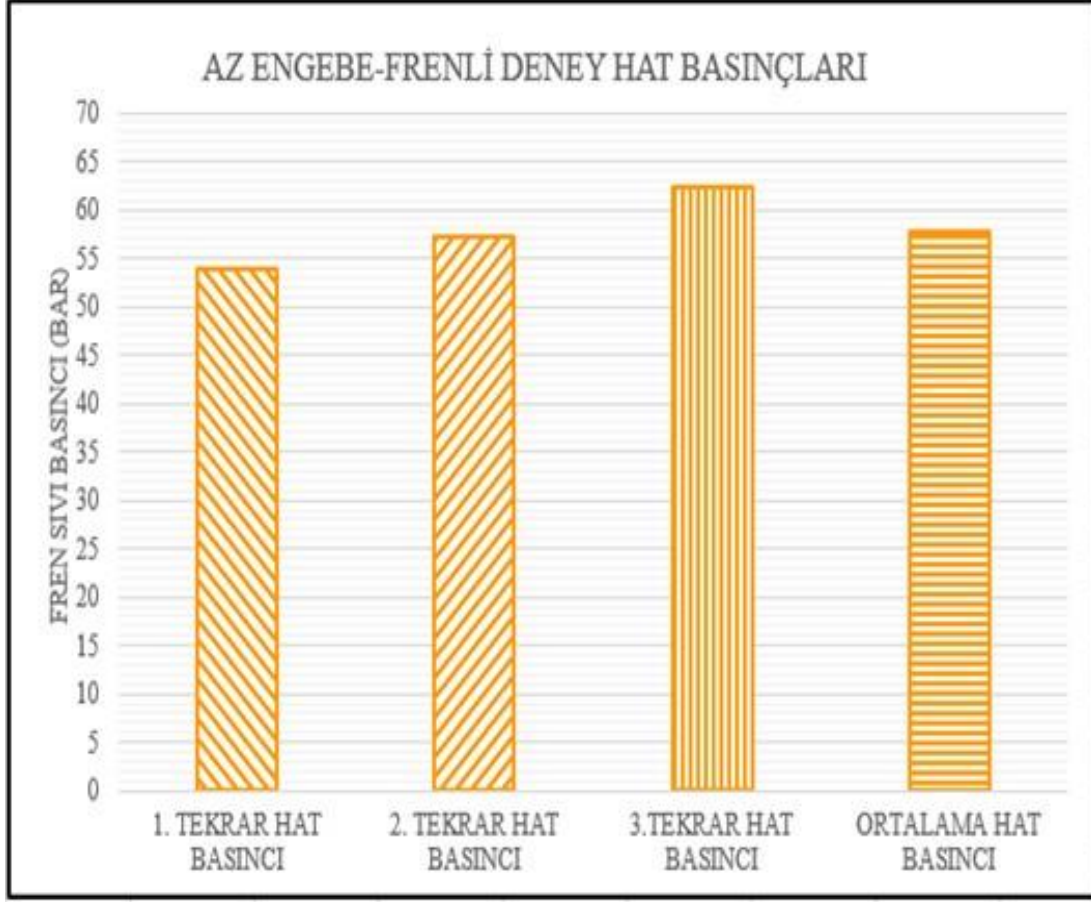
Yüksek engebeli-frenli deney hat basınçları Çizelge 4.7’de görülmektedir. Her deney için 3 tekrar alınmıştır. Yüksek engebeli-frenli deneyi için gerçekleştirilen üç tekrarda, deneyin hat basınçları 45-50 bar arasında bir değer alıp her üç tekrarda birbirine çok yakın değerler gözlemlenmiştir. Ortalama değere göre 1. tekrar %1 düşük 2. tekrar %1 yüksek 3. tekrar %71 düşük bulunmuştur.

Çizelge 4.8 Orta engebeli-frenli deney hat basınçları.



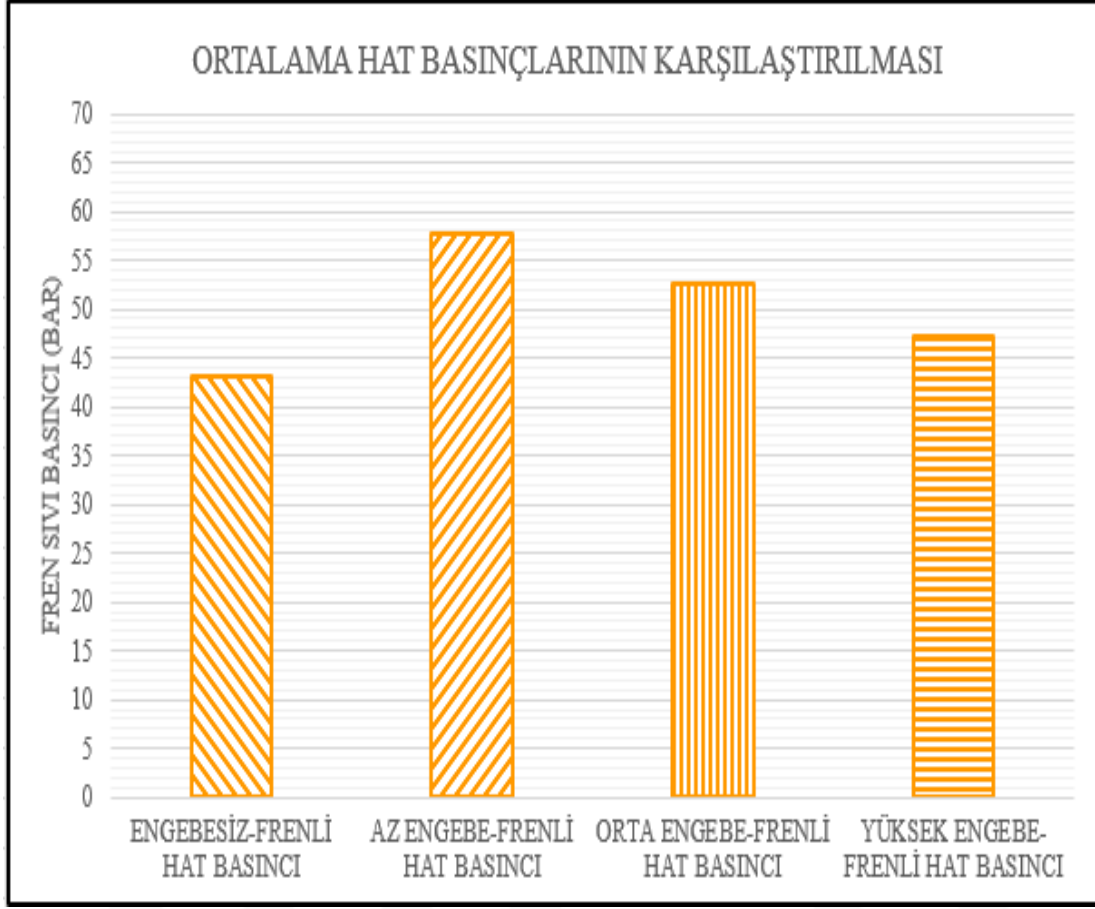
Orta engebeli-frenli deney hat basınçları Çizelge 4.8’de görülmektedir. Her deney için 3 tekrar alınmıştır. Birinci tekrarda hat basıncı 50-55 bar değerleri arasında, ikinci tekrarda 40-45 bar değerleri arasında, üçüncü tekrarda 60-65 bar değerleri arasında görülmüştür. Basınç değişimi çukura girme-çıkma ve frenleme anında değişiklik gösterebilmektedir. Tekrarların değerlerine bakarak üçüncü tekrarın en yüksek, ikinci tekrarın ise en düşük değeri aldığı görülmektedir. Ortalama değere göre 1. tekrar %2 düşük 2. tekrar %18 düşük 3. tekrar %20 yüksek bulunmuştur.

Çizelge 4.9 Az engebeli-frenli deney hat basınçları.



Az engebeli-frenli deney hat basınçları Çizelge 4.9’da görülmektedir. Her deney için 3 tekrar alınmıştır. Birinci tekrarda hat basıncı 50-55 bar değerleri arasında, ikinci tekrarda 55-60 bar değerleri arasında, üçüncü tekrarda ise 60-65 bar değerleri arasında görülmektedir. Tekrarların değerlerine bakarak üçüncü tekrarın en yüksek, birinci tekrarın ise en düşük değeri aldığı görülmektedir. Ortalama değere göre 1. tekrar %7 düşük 2. tekrar %1 düşük 3. tekrar %7 yüksek bulunmuştur.

Çizelge 4.10 Ortalama hat basıncı karşılaştırılması.



Ortalama hat basıncı karşılaştırılması Çizelge 4.10’da görülmektedir. Gerçekleştirilen dört frenli deneyin basınç ortalamaları şu şekildedir;

En yüksek değer, az engebe-frenli deney hat basıncı ortalaması 55-60 bar, orta engebe-frenli deney hat basıncı ortalaması 50-55 bar, yüksek engebe-frenli deney hat basınç ortalaması 45-50 bar aralığında görülmüştür ve en düşük değer, engebesiz-frenli deney hat basıncı ortalaması 40-45 bar olarak ölçülmüştür.

Buna bağlı olarak hat basınç değerleri ortalamalarında;

Az engebe-frenli deney > Orta engebe-frenli deney > Yüksek engebe frenli deney > Engebesiz frenli deney sonucu gözlenmiştir.

Ortalama basınçlarda en yüksek değer 57,71 barlık basınçla az engebeli deneyde gözlenmiştir. Az engebeli deney ortalamasına göre; orta engebeli deney ortalaması %9 düşük, yüksek engebeli deney ortalaması %19 düşük ve engebesiz deney ortalaması %26 düşük olacak şekilde bulunmuştur.

Aynı deney içerisinde gerçekleştirilen basınç ölçümleri arasındaki farklar testlerin içinde insan faktörünün ve disk sıcaklığı, hidrolik ısınması vb. dış faktörlerin bulunmasından kaynaklanmaktadır. Her testte fren pedalına uygulanan kuvveti bir insanın eşit olarak ayarlayamayacağı bilindiğinden testin güvenilirliği için 3 testin ortalaması alınmıştır. Testlerde etki edecek kadar fark oluşturmaya da geçen süre içerisinde fren sıvısının belli bir miktar ısınmasının ve genişmesinde ölçülen değer üzerinde küçüğe olsa etkisinin olduğu bilinmektedir.

Köylü ve Çınar'ın (2016) deneylerinde tekerlek ivmesi ve fren basıncı arasındaki ilişki de ABS ile frenleme sırasında fren basıncını arttırıp basınç farklılıklarının döngü sayısını düşürerek tekerleğin çok fazla hızlanmasına ihtiyaç olmadan yüksek tutunma ile yavaşlamasını sağlamıştır. Bu durum, ıslak yolda orta-sert amortisör kullanılarak, tekerlek ivmesi ile fren basıncı değişimi arasında bir uyum elde edilebildiğini göstermektedir.

Köylü ve Çınar'ın (2016) araştırması sonucunda fren basıncı ile tekerlek ivmesi arasındaki etkileşimin, amortisör sönümlenme özelliği ve yol tipine göre farklılık gösterdiği belirlenmiştir.

Hat basıncı karşılaştırmalı grafiğinde her deneyin birbirinden farklı hat basıncı oranı olduğu görülmektedir. Fren basıncı hakkında Altıparmak (2016), “pratikte dört tekerlekli bir aracın bütün tekerleklerinin aynı miktarda tutunma veya sürtünme değerine erişmesi ve eşit miktarda optimum frenleme yapması mümkün değildir. Çünkü aracın frenlemesi sırasında aracın yükü ön tarafa doğru kaymaktadır bu nedenle ön tekerleklere daha çok, arka tekerleklere ise daha az fren basıncı gereklidir. Ancak fren merkez silindirinden ayak pedalı aracılığıyla ön ve arka tekerleklere iletilen fren basıncı

aynı miktarda olmaktadır. Bunun yanısıra her tekerleğin aynı tutunma-zemin şartlarında bulunması nadiren rastlanan bir durumdur” olarak ifade etmiştir.



5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Taşıtlarda durma mesafesi trafik güvenliği için önemli bir değişkendir. Bir araçta fren sisteminin üretebildiği kuvvet ve durma mesafesi üzerine etkisi trafik güvenliği açısından büyük önem taşımaktadır. Durma mesafesi frene basıldığı andan aracın durduğu ana kadar geçen sürede aldığı yoldur. Bir panik ya da ani fren anında bu mesafenin önemi çok daha iyi anlaşılmaktadır. Bu mesafe uzadıkça aracın durması ya da yavaşlaması gecikeceği için olumsuz sonuçlar meydana gelebilecektir.

Yapılan bu çalışmada durma mesafesini etkileyen parametreler arasından yol şartlarındaki bazı değişimler ele alınmıştır. Bu değişimler yoldaki engebe miktarı olarak tanımlanmıştır. Aracın durma mesafesinin engebe miktarına göre nasıl bir oranda değiştiği çalışmanın konusudur. Bu konudan yola çıkarak engebe miktarı az, orta ve yüksek olacak şekilde bir yarı taşıt modeli üzerinde simüle edilerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerdeki tek değişken engebe miktarıdır. Deneydeki diğer değişkenler hız, devir, vites oranı vb. değerler sabit tutularak gerçekleştirilmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda tüm engebe durumlarında durma mesafesi değerleri elde edilip çizelge haline getirilmiştir. Bu çizelgeler sonucunda elde edilen verilerden şu şekilde bulgulara ulaşılmıştır;

Az engebeli yolda frenleme sonucu gözlemlenen durma mesafesi 40,97 m ile en yüksek çıkmıştır. Orta engebeli yolda yapılan frenleme sonucunda gözlemlenen durma mesafesi az engebeli yola oranla %15 daha düşük çıkmıştır. Yüksek engebeli yolda yapılan frenleme sonucunda gözlemlenen durma mesafesi ise orta engebeli yola oranla %14 daha düşük olduğu görülmüştür. En düşük durma mesafesinin ise yüksek engebeli yola oranla %11 düşükle engebesiz yolda yapılan frenleme olduğu gözlemlenmiştir.

Deneyler neticesinde araçların durma mesafesinin engebeye bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Deneylerin gerçekleştirildiği hız 40 km/h'dir. Bu hız düşünüldüğünde şehir içinde hız sınırı olan noktalarda yollarda oluşan bazı engebelerin durma mesafesi

üzerindeki etkileri görülmektedir. Yapılan deneyler doğrultusunda engebe oranının az olmasının göz ardı edilebilecek bir durum olmadığı anlaşılmaktadır.

Engebe miktarının yüksek olması deneylerin gerçekleştirildiği 40 km/h hızı baz alındığında yüksek engebe miktarının durma mesafesinin daha kısa olmasını sağladığı görülmüştür. Bu durum yüksek engebe miktarının yol ile lastik arasında daha yüksek bir sürtünme oranı oluşturmasına bağlı olarak açıklanabilir. Yüksek sürtünme katsayısı olan yollarda durma mesafesinin her zaman için düşük sürtünme katsayısı olan yollara kıyasla daha kısa olduğu görülmüştür.



6. KAYNAKLAR

- Anonim, 2013, Motorlu Araçlar Teknolojisi Fren Sistemleri, T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, Ankara.
- Anonim, 2020, Taşıt Fren Sistemleri Testi Deney Fakültesi Föyü (Hidrolik Servo Fren Sistemi), Bursa Teknik Üniversitesi, Bursa.
- Altıparmak D, Koca A, 2001, Taşıtlarda Tekerlek Kilitlenmesi ve Kaymasının Frenleme Mesafesi ve Kararlılığa Etkisi, Teknoloji, 2, 47-58.
- Ay C, 2021, Disk Balata Çiftindeki Sıcaklık Dağılımının Frenleme Üzerine Etkisinin İncelenmesi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Bartunek M, Moravčík O, Schreiber P, 2012, Braking Distance Estimation By Simulation, In Applied Mechanics and Materials (Vol. 128, pp. 1131-1134), Trans Tech Publications Ltd.
- 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, & Altıparmak D, 2007, Fren Test Cihazı Tasarımı ve Frenleme Kuvveti Ölçüm Ve Modellemesi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 22.
- Bayrakçeken H, Türkbay T, Aysal F E, Yavuz H, 2020, Panik Frenleme Davranışının Yarım Taşıt Test Cihazında İncelenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20, 730-740.
- Bayrakçeken H, Düzgün M, 2005, Taşıtlarda Fren Verimi ve Frenleme Mesafesi Analizi, Politeknik Dergisi, 8,153-160.
- Bimbraw K, 2015, Autonomous cars: Past, Present And Future a Review of the Developments İn the Last Century, The Present Scenario and the Expected Future of Autonomous Vehicle Technology, In 2015 12th international conference on informatics in control, automation and robotics (ICINCO) (Vol. 1, pp. 191-198), July 2015, IEEE.

- Buyruk S, 2018, Taşıtlarda Güvenli Sürüş ve Durma Mesafesinin Sağlanabilmesi İçin Etkin Sürüş Alanının Teorik Modelinin Geliştirilmesi ve Gerçek Yol Şartlarında Test Edilmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 165s, Isparta.
- Carley, L, 2000, Application Specific Brake Linings, Carley, Software.com, <http://www.Members.aolo.com/carleyware/library/brakes1a.htm>.
- Delaigue P, Eskandarian A, 2004, A Comprehensive Vehicle Braking Model For Predictions Of Stopping Distances, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, 218, 1409–1417.
- Demir A, 2009, Fren Disklerine Uygulanan Kaplamaların Frenleme Performansına Etkisinin Deneysel İncelenmesi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 139s, Kocaeli.
- Düzgün M, Altıparmak D, Bayrakçeken H, 2005, Otomobillerde Fren (Durma) Mesafesinin Deneysel Olarak Belirlenmesi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 18, 153-165.
- Düzgün M, 2009, Farklı Fren Disklerinde Oluşan Isı Değişiminin Frenleme Kuvvetlerine Etkileri, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 15, 43-48.
- Ersan K, 1998, Mevcut Eski, Yeni ve Farklı Balataların Frenleme Kuvvetine Etkisinin Pedal Kuvvetinin Fonksiyonu Olarak Tanımlanması, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi 13, 75-86.
- Fitch G M, Blanco M, Morgan J F, Wharton A E, 2010, Driver Braking Performance To Surprise And Expected Events, In Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 2010 September, Los Angeles, (Vol. 54, No. 24, pp. 2075-2080).
- Greibe P, 2008, Determination Of Braking Distance and Driver Behaviour Based On Braking Trials, In 87th Transportation Research Board Annual Meeting, 2008, January, Washington DC, USA.

- Keskin G, 2015, Diskli Fren Sisteminde Disk Üzerindeki Sıcaklığın Analitik Olarak Hesaplanması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 57s, İstanbul.
- Koç O, 2009, Fren Balata Sisteminde Sürtünme Sonucu Oluşan Isı Transferi ve Termal Gerilme Analizi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 75s, Afyon.
- Kontbilek M, 2005, Motorlu Taşıtlarda Değişken Yol-Eğim Şartlarındaki Fren Kuvvetlerinin Ölçümünü Yapabilen Fren Test Cihazı Tasarım ve İmalatı, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 90s, Afyon.
- Köylü H, Çınar A, Çelik ABS ile Frenleme Anında Değişken Tekerlek Yükü ile Fren Basıncı ve Tekerlek İvme Etkileşiminin Deneysel Olarak Araştırılması, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2016, 13, 1-15.
- Lee D H, Kim S K, Kim C S, & Huh K S, 2014, Development Of An Autonomous Braking System Using The Predicted Stopping Distance, International Journal of Automotive Technology, 15, 341-346.
- Lyubenov D, 2011, Research Of The Stopping Distance For Different Road Conditions, Transport Problems, 6, 119-126.
- Mavi A, 2014, Taşıt Frenlerinde Sıcaklık Etkisine Bağlı Olarak Fren Kuvveti Değişiminin Deneysel Olarak İncelenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 79s, Afyon.
- Nehate G, Rys M, 2006, 3D Calculation of Stopping-Sight Distance From GPS Data, Journal of Transportation Engineering, 132, 691-698.
- Öncel Y, 2020, Fren Diskinin Fea (Sea) Analizi, İstanbul Gelişim Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 75s, İstanbul.
- Priyanka S Bankar, S N Khan, 2014, A Review Paper on Composite Brake Friction Lining for lining Applications on Band Brake, International Journal of Emerging Engineering Research and Technology Volume 2, Issue 8, November,ISSN 2349-4409 (Online), 116-122

- Podoprigora N, Dobromirov V, Pushkarev A, Lozhkin V, 2017, Methods Of Assessing The Influence Of Operational Factors On Brake System Efficiency In Investigating Traffic Accidents, *Transportation Research Procedia*, 20, 516-522.
- Sevil A Ö, 2019, Yol ve Tekerlek Arasındaki Sürtünme Katsayısının Kestirimine Dayalı Uyarlamalı Otonom Acil Frenleme Sistemi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 107s, İstanbul.
- Sokolovskij E, 2007, Automobile Braking And Traction Characteristics On The Different Road Surfaces, *Transport*, 22, 275-278.
- 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.
- Şay S, 2007, Abs Fren Sistemi'nin Kazalara Etkisinin İstatiksel Analizi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trafik Planlaması ve Uygulaması Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 125s Ankara.
- Topuz A, Topuz P, 2018, Otomobil Disk Fren Balatalarının Deneysel Yöntemlerle Karakterizasyonu ve Karşılaştırılması, *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, 3, 241-248.
- Üstün N S, 2011, Otomotiv Endüstri İçin Bir Disk Fren Balatası Üretimi ve Performansının İncelenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 119s, Isparta.
- Yıldırım E, 2020, Tam Aracın Çeşitli Yol Şartlarında Dinamik Davranışlarının Analizi, Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 207s, Karabük.
- Xia R X, Wu D H, He J, Liu Y, Shi D F, 2016, A New Model of Stopping Sight Distance of Curve Braking Based on Vehicle Dynamics, *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2016, 1-8.

İnternet Kaynakları

- 1-<https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/hidrolik-fren-sistemi-tasarlayalim>, 10.10.2021
- 2-<https://makinaegitimi.com/wp-content/uploads/2016/10/pascal-prensibi-nedir.jpg>,
27.01.2022
- 3-<https://otomobilteknoloji.blogspot.com/2016/09/fren-sistemi-arizalari-belirtileri-cozumleri.html> 17.02.2022
- 4-<https://motorluaraclarteknolojileri.wordpress.com/2015/05/05/fren-sistemleri-cesitleri-calismasi-ariza-ve-belirtileri>, 04.02.2022
- 5-<https://otolye.com/blog/westinghouse>, 29.12.2021
- 6-<https://otomobilteknoloji.blogspot.com/2016/08/fren-ana-merkez-silindiri-nedir-fren-pompasi.html>, 10.10.2021
- 7-<https://otomobilyedekparcalari.com/urun/daihatsu-applause-arka-fren-tekerlek-merkez-silindiri-sag>, 10.10.2021
- 8-https://wikipedia.org/wiki/ABS_fren_sistemi, 20.10.2021
- 9-<https://arabam.com/otomobil-terimleri-sozlugu/ABS>, 16.01.2022
- 10-<https://arabam.com/blog/danisman/fren-sistemi-nedir-cesitleri-nelerdir/>, 22.10.2021
- 11-<http://lastikteknolojisesektoru.blogspot.com/2011/09/lastikte-yuvarlanma-direnci-ve-yakt.html>, 03.04.2022
- 12-<https://sozluk.gov.tr>, 16.01.2022