



**TİCARİ ARAÇLARDA
KULLANILAN ABS PERFORMANSININ
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet Remzi AYDIN

Danışman

Prof. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Şubat 2024

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TİCARİ ARAÇLARDA KULLANILAN
ABS PERFORMANSININ İNCELENMESİ

Ahmet Remzi AYDIN

Danışman

Prof. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Şubat 2024

TEZ ONAY SAYFASI

Ahmet Remzi AYDIN tarafından hazırlanan “Tez Onay Sayfası” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 23 / 02 / 2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN

Başkan : Prof. Dr. Mesut DÜZGÜN
Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi

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

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Şükrü Ayhan BAYDIR
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi

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

.....
Prof. Dr. Bekir YALÇIN
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.

23 / 02 / 2024

Ahmet Remzi AYDIN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TİCARİ ARAÇLARDA KULLANILAN ABS PERFORMANSININ İNCELENMESİ

Ahmet Remzi AYDIN

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN

ABS araçlarda frenleme esnasında tekerleklerin kilitlenmesini önleyen ve araçlarda yaygın olarak kullanılan sistemdir. Araçların trafiğe çıkabilmesi için bazı mevzuat ve regülasyonlar ile homologasyon süreçlerinin tamamlanması gerekmektedir. Homologasyon süreçlerinde araçların fren uygunlukları BM AEK R13 regülasyonuna göre, ABS fren performansları ise ilgili regülasyonun Ek 13'üne göre belirlenebilmektedir. ABS'li araçlarda fren modülatörlerindeki farklılıklar, araç tipi, araç cinsi, araç kütlesi, araç yakıt cinsi, lastik ölçüleri gibi farklılıkların fren performansına etkisi ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada, ticari araçlarda kullanılan ABS performansları incelenmiştir.

2024, x + 56 sayfa

Anahtar Kelimeler: ABS, Fren, Fren performansı, BM AEK R13, Homologasyon.

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

EXAMINATION OF ABS PERFORMANCE USED IN COMMERCIAL VEHICLES

Ahmet Remzi AYDIN

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Automotive Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN

ABS is system that prevents the wheels from locking during braking and is widely used in vehicles. Some legislation and regulations and homologation processes need to be completed in order for the vehicles to be put on the road. In homologation processes, the brake compliance of vehicles can be determined according to the UN ECE R13 regulation, and ABS brake performances can be determined according to Annex 13 of the relevant regulation. In vehicles with ABS, differences in brake modulators, vehicles mass, vehicle fuel type, tire sizes affect the braking performance. In this study, ABS performances used in commercial vehicles were examined.

2024, x + 56 pages

Keywords: ABS, Brake, Brake performance, UN ECE R13, Homologation.

TEŞEKKÜR

Gerçekleştirmiş olduğum Yüksek Lisans Tez çalışmasında konunun belirlenmesi çalışmaların yönlendirilmesi ve sonuçların değerlendirilmesi ve aynı zamanda tez yazım esnasında yapmış olduğu özen ve katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN'e ve yaptıkları yardımlardan dolayı arkadaşlarım Sayın Yük. Otomotiv Müh. Ramazan ÖZER ve Sayın Yük. Otomotiv Müh. Neslihan AKSOY'a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca desteklerinden dolayı başta yöneticilerim Sayın Hüseyin Anıl KOLUKIRIK, Sayın Semih KART ve Optival Belgelendirme Hizmetleri A.Ş. çalışma arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Bu süreç içerisinde destekleriyle her an yanımda olan anne babama, eşim Ümran AYDIN ve canım oğlum Yusuf Remzi AYDIN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ahmet Remzi AYDIN

Afyonkarahisar, 2024

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
RESİMLER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ.....	2
2.1 Araç Fren Sistemlerinin Etkileri	2
2.2 Fren Sistemleri	3
2.2.1 Servis Fren Sistemleri	3
2.2.2 Park Fren Sistemleri.....	3
2.2.3 Yavaşlatıcılar.....	4
2.3 Disk ve Kampanalı Frenlerin Karşılaştırılması	4
2.4. Anti-Blokaj Sistemi Tipleri	5
2.5 Fren Pedal Kuvvetinin ABS Fren Sistemine Etkileri	6
2.6 Dümenlemenin ABS Fren Sistemine Etkileri	7
2.7 Yapılan ABS Test Çalışmaları ve Sistemleri.....	8
2.8 Araç Homologasyon Süreçleri.....	10
3. MATERYAL ve METOT	12
3.1 ABS Testlerinde Kullanılan Ekipmanlar	12
3.1.1 Hız Mesafe Mfdd Ölçer	13
3.1.2 Pedal Kuvvet Ölçer	13
3.1.3 Lastik Basınç Göstergesi.....	14
3.1.4 Manometre	15
3.1.5 Kızılötesi Termometre	15

3.1.6 Fren Yaptırma Düzeneği	16
3.1.7 İvme Ölçer.....	16
3.1.8 Anemometre	17
3.2 ABS Fren Testleri	18
3.2.1 Enerji Tüketimi Testleri	25
3.2.2 Adhezyondan Faydalanma	28
3.2.3 Zmals Değerinin Kontrolü	29
3.2.4 Düşük Sürtünmeli Yüzeylerde Kuvvet Bağlantı Katsayısı.....	30
3.2.5 İlave Kontroller	31
3.3. A Test Aracı.....	32
3.4. B Test Aracı	36
4. BULGULAR.....	41
4.1 A Test Aracının Yüklü Kuru Zemin Sonuçlarının İncelenmesi	41
4.2 A Test Aracının Yüklü Islak Zemin Sonuçlarının İncelenmesi.....	41
4.3 A Test Aracının Yüksüz Kuru Zemin Sonuçlarının İncelenmesi	42
4.4 A Test Aracının Yüksüz Islak Zemin Sonuçlarının İncelenmesi	43
4.5 A Test Aracının Zmals Sonucunun İncelenmesi	44
4.6 B Test Aracının Yüklü Kuru Zemin Sonuçlarının İncelenmesi	44
4.7 B Test Aracının Yüklü Islak Zemin Sonuçlarının İncelenmesi.....	45
4.8 B Test Aracının Yüksüz Kuru Zemin Sonuçlarının İncelenmesi	46
4.9 B Test Aracının Yüksüz Islak Zemin Sonuçlarının İncelenmesi.....	46
4.10 B Test Aracının Zmals Sonucunun İncelenmesi.....	47
5. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	50
6. KAYNAKLAR	53
ÖZGEÇMİŞ.....	56

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

°C	Santigrat derece
μ Split	Tekerleklerin farklı yol yüzeylerindeki sürtünme katsayısı
a	İvme
E	Dingil açıklığı
Ek	Kinetik Enerji
ε	Aracın kullandığı kuvvet bağlantısı: azami frenleme oranı ile anti-blokaj sistemi (zAL) ve kuvvet bağlantı katsayısının bölümü
F	Kuvvet [N]
Fdyn	Dinamik koşullarda ve anti-blokaj sistem ayarlıyorken yol yüzeyinin normal tepkisi
Ff	Yol yüzeyinin statik şartlarda ön dingile normal tepkisi
Ffdyn	Ön akstaki tekerleklerin dinamik koşullarda ve anti-blokaj sistem aktifken yol yüzeyinin normal tepkisi
Fr	Yol yüzeyinin statik şartlarda arka dingile normal tepkisi
Frdyn	Arka akstaki tekerleklerin dinamik koşullarda ve anti-blokaj sistem aktifken yol yüzeyinin normal tepkisi
g	Yer çekimi ivmesi
h	Ağırlık merkezinin yüksekliği
k	Lastik ile yol arasındaki kuvvet bağlantı katsayısı
kf	Ön dingildeki kuvvet bağlantı katsayısı
kH	Yüksek bağlantı katsayılı yüzeyde belirlenmiş k değeri
kL	Düşük bağlantı katsayılı yüzeyde belirlenmiş k değeri
klock	%100 kayma durumunda kuvvet bağlantısı değeri
kM	Motorlu aracın k değeri
km/h	Kilometre saat
kpeak	Kaymaya bağlı olarak kuvvet bağlantı kullanım eğrisinin azami değeri
kr	Arka dingildeki kuvvet bağlantı katsayısı
m	Kütle
m/s ²	Yavaşlama ivmesi birimi
N	Newton
P	Toplam ağırlık
R	kpeak değerinin klock değerine oranı
t	Zaman aralığı [s]
tm	t'nin ortalama değeri
tmin	t'nin asgari değeri
V	Hız
Vmax	Azami hız
Z	Frenleme oranı
zAL	Anti-blokaj sistem aktifken aracın frenleme oranı
Zm	Ortalama frenleme oranı
Zmax	z'nin azami değeri
Zmals	Tekerlekleri farklı yüzeylerde olan motorlu aracın ZAL değeri
ZR	Anti-blokaj sistemi aktif değilken römorkun frenleme oranı

Kısaltmalar

ABS	Anti blokaj sistemi
AEK	Avrupa Ekonomi Komisyonu
AİTM	Araçların İmal, Tadil, Montajı Hakkında Yönetmelik
BM	Birleşmiş Milletler
COG	Ağırlık merkezi
M ₁	Sürücü dışında en fazla sekiz kişilik oturma yeri olan, yolcu taşımaya yönelik motorlu araçlar
M ₂	Sürücü dışında sekizden fazla oturma yeri olan, yolcu taşımaya yönelik ve azami kütlesi 5 tonu aşmayan, motorlu araçlar
M ₃	Sürücü dışında sekizden fazla oturma yeri olan, yolcu taşımaya yönelik ve azami kütlesi 5 tonu aşan, motorlu araçlar
mfdd	Ortalama tam gelişmiş yavaşlama
N ₁	Azami kütlesi 3,5 tonu aşmayan, motorlu yük taşıma araçları
N ₂	Azami kütlesi 3,5 tonu aşan, 12 tonu aşmayan, motorlu yük taşıma araçları
N ₃	Azami kütlesi 12 tonu aşan, motorlu yük taşıma araçları
R	Regülasyon
TR	Türkiye
UNECE	Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomi Komisyonu

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1 ABS çalışma prensibi şeması.....	1
Şekil 2.1 ABS uyarı sinyali	6
Şekil 2.2 ABS test akış şeması.	7
Şekil 2.3 Test aracı konfigürasyonu.....	8
Şekil 2.4 Yol simülatör sisteminin araca monte edilmiş şematik gösterimi	9
Şekil 4.1 A test aracının yüklü kuru zemin sonuçları.....	41
Şekil 4.2 A test aracının yüklü ıslak zemin sonuçları.	42
Şekil 4.3 A test aracının yüksüz kuru zemin sonuçları.	42
Şekil 4.4 A test aracı yüksüz araç ıslak zemin sonuçları.	43
Şekil 4.5 A test aracının Zmals, kL ve kH sonuçları.....	44
Şekil 4.6 B test aracının yüklü kuru zemin sonuçları.....	45
Şekil 4.7 B test aracının yüklü ıslak zemin sonuçları.....	45
Şekil 4.8 B test aracının yüksüz kuru zemin sonuçları.....	46
Şekil 4.9 B test aracı yüksüz araç ıslak zemin sonuçları.....	47
Şekil 4.10 B test aracının Zmals, kL ve kH sonuçları.....	48
Şekil 4.11 A ve B test aracının ϵ sonuçlarının karşılaştırılması.....	48

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Tez çalışmasında kullanılan cihazların özellikleri	12
Çizelge 3.2 Araçların ilave kontrollerinde kategorilere göre hızlar	32
Çizelge 3.3 A test aracının özellikleri.	33
Çizelge 3.4 A aracı yüksüz test sonuçları.....	34
Çizelge 3.5 A aracı yüklü test sonuçları.....	36
Çizelge 3.6 B test aracının özellikleri	37
Çizelge 3.7 B aracı yüksüz test sonuçları.....	38
Çizelge 3.8 B aracı yüklü test sonuçları.	39
Çizelge 4.1 Test araçlarının ε değişimleri	49

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 2.1 ABS modölatörü	5
Resim 2.2 Hidrolik fren sistemli ABS	9
Resim 2.3 ABS doğrulama test pisti örneği	10
Resim 3.1 Hız, mesafe, mfdd ölçer.	13
Resim 3.2 Hız, mesafe, mfdd ölçer göstergesi.	13
Resim 3.3 Pedal kuvvet ölçer.	14
Resim 3.4 Lastik basınç göstergesi.	14
Resim 3.5 Manometre.	15
Resim 3.6 Kızılötesi termometre.....	16
Resim 3.7 Kabin içerisinden dingillere istenilen basınçlarda fren yaptırma düzeneği. .	16
Resim 3.8 İvme ölçer.	17
Resim 3.9 Anemometre.....	18
Resim 3.10 Test yapılan araçlara ait test pistleri görünüşleri.	18
Resim 3.11 Kilitlemeyi belirlemek için boyanan tekerlek örneği.....	19

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Araç Fren Sistemlerinin Etkileri

Hareket halindeki araçları yavaşlatmak, hızını özellikle rampa inerken sabit tutmak veya duran aracı yerinde sabitlemek amacıyla çeşitli fren sistemleri kullanılmaktadır. Hareket halindeki aracın durabilmesi için fren kuvvetinin, motordan gelen kuvvetten daha büyük olması gerektiği açıktır. Hareket halindeki aracın sahip olduğu kinetik enerji, bilindiği gibi kütlesi ve hızının karesinin çarpımıyla doğru orantılıdır (Öncel 2020).

$$Ek = (mV^2/2) \quad 2.1$$

Frenleme esnasında aracın negatif yönde ivmelenmesi; ayak kuvveti ile ayarlanan fren uygulama kuvvetine, bu uygulama kuvvetinden oluşan gerçek kuvvete, fren kuvvetinin taşınmasına, gerçek fren kuvvetinin iç oranlamasına, tekerlek ve yol arasındaki kuvvet katsayısına, taşıtı etkileyen yol dirençlerine bağlıdır (Lök 1980).

Altıparmak ve Koca (2001), araç fren sistemi ve yardımcı sistemlerin aracın kararlı ve düzgün hareketi, direksiyon kontrolü ve frenlemeden sonraki kısa mesafede duruş özellikleri üzerinde çalışmışlardır.

Koylu ve Tural (2021), düşük hızdan kaynaklanan zayıf tekerlek hız sinyalinin etkilerinin, tekerlek hızında ani değişikliklerin olduğu kritik yol koşullarında daha belirgin hale gelmesini ortaya koymuşlar ve düşük hızda meydana gelen bu problemlerin, kritik yol koşullarında ABS'nin kontrol ve frenleme performansı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir.

Eken (2011), frenlenen bir aracın önce arka tekerleklerinin bloke olması aracın hareket doğrultusunu saptırıcı bir etki yaptığını, ön tekerleklerin bloke olmasının hareket doğrultusundaki herhangi bir sapmayı düzeltici etkisinin durumunu araştırmıştır.

ABS'nin amacı, ıslak zeminlerde, buzlu ve karlı yollarda tekerleklerin yol ile sürtünmesi ve kilitlenmeye etki eden, yavaşlama ivmesi ve durma mesafesini belirleyen bir özellik olarak belirlenmektedir.

Bayrakçı ve Düzgün (2005), yaptıkları çalışmada, fren mesafesi ve fren veriminin analizini yaparak, frenleme mesafesi ve fren verimi için kullanılan matematiksel modeller ile bu modeller arasındaki farklılıkları ortaya koymuşlardır

2.2 Fren Sistemleri

Fren sistemi, aracın yavaşlamasını ve durmasını sağlamaktadır. Hareket halindeki bir aracın hızını kademeli olarak azaltmak veya tamamen durdurmak veya hareketsiz bir aracın hareket etmesini önlemek için kullanılan kısımların kombinasyonudur (Belirli Motorlu Araç Sınıflarının ve Römorkların Frenleme Düzenekleri İle İlgili Tip Onayı Yönetmeliği, 09.02.2005).

2.2.1 Servis Fren Sistemleri

Ana fren, sürücüye aracın hareketine kumanda edebilmesi ve onu emniyetli, çabuk ve etkin şekilde durdurmasına olanak verir. Etkisi kademelendirilebilir olmalıdır. Sürücü, frenlemeyi oturduğu yerden ve ellerini direksiyon ayırmadan sağlayabilmelidir. Servis freni sisteminde bir devre hizmet dışı kaldığında, diğer devre, park freni ve diğer tali kullanıcılar aktif kalırlar (İnt. Kyn. 1).

2.2.2 Park Fren Sistemleri

Park freninin öncelikli kullanımı aracın sabit durumdayken hareket etmesini önlemektir. Park freni, ana sistemin hidrolik devresinden bağımsız olarak çalıştığı için, ana frenin arızalanması durumunda aracı durdurmak için bir acil durum freni olarak da kullanılabilir. Manuel park freni, kabinin içinde bulunan bir kol, pedal veya itme çubuğu aracılığıyla çalıştırılabilir (McKinlay 2007).

2.2.3 Yavaşlatıcılar

Ağır ve orta ticari araçlarda yoğun olarak kullanılan yavaşlatıcılar, servis fren sistemini koruyarak aracın hızının kontrol edilmesini sağlamaktadır. Bazı araçlarda üç ile altı kademe şeklinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Hidrolik, elektrikli, elektromanyetik olmak üzere çeşitleri bulunmaktadır. Yavaşlatıcılar, araçtaki hızın kontrolünü sağlamalarının yanı sıra, parça ömürlerini uzatmak, servis sürelerini azaltmak, yokuşlarda motor devrini düşürmeden aracın hızının kontrol edilmesini sağlamak gibi avantajları bulunmaktadır.

2.3 Disk ve Kampana Frenin Karşılaştırılması

Disk fren, frenlemeyi kaliper ile balatalar arasındaki diski sıkarak sağlayan bir fren türüdür. Disk frenler diskin daha kolay bir şekilde soğuması nedeniyle kampana frene kıyasla daha iyi bir performans sunmaktadır (İnt. Kyn, 2).

Kampanalı fren, fren kampanası adı verilen dönen silindir şeklinde bir parçaya dışa doğru basan bir dizi pabuç veya balatanın uyguladığı sürtünmeyi kullanan bir frendir. Frenleme esnasında, fren pabucu genellikle içten dönen silindire bastırılır (İnt. Kyn, 3).

Yavuzaslan (2006), kampana frenlerde baskı kuvveti, disk frenlere oranla daha düşük olduğunu ve kampanalı frenin elemanlarına dağılan tüm yüklerin daha küçük olduğunu, balata basıncının düşük olmasından dolayı aşınmaların az olduğu ve kampana frenlere gelen baskı kuvveti düşük olması nedeni ile disk frenlere göre daha az ısındığını belirtmiştir.

Disk frenin faydalı tarafı zayıf iç fren faktörlü bir fren olmasından ve bu frenin balata sürtünme katsayısının değişimine karşı sabit bir iç fren faktörüne sahip olması, kampana frenlerde meydana gelen yüksek sıcaklıklarda frenleme etkisinin azalması etkisini azaltmaktadır (Yavuzaslan 2006).

Disk frenler daha büyük kuvvet durdurma kapasitesine sahiptir. Daha kısa durdurma mesafesine sahip olan bu tip frenler kendi kendini temizleme özelliğine sahip olup daha hafif ve daha güçlüdür. (İnt. Kyn, 4).

Kampana frenlerler de durdurma gücünün büyük kısmını aracın ön frenleri ürettiği için daha az ısı üretir. Disk frenlerle karşılaştırıldığında daha az partikül madde üretir veya yayar. Sürtünme temas alanı çevrede olduğundan eşit çaplı disk frene göre daha az frenleme gücü sunar (İnt. Kyn, 4).

2.4. Anti-Blokaj Sistemi Tipleri

Bir motorlu araç, aşağıdaki sistemlerden biriyle donatıldığında, bir Anti-blokaj sistemiyle donatıldığı kabul edilir (BM/AEK R13 M,N ve O Kategorisi Araçların Frenleri Hususunda Onayı İle İlgili Teknik Düzenleme,15.06.2023);

- Kategori 1 ABS Sistemi
- Kategori 2 ABS Sistemi
- Kategori 3 ABS Sistemi
- Kategori A ABS
- Kategori B ABS



Resim 2.1 ABS modülatörü.

Aracın tekerlekleri kaygan zeminde ya da aşırı hızda seyredirken aniden frene basıldığında kilitlenebilir. Bu durumda aslında aracın hızına göre tekerleğin dönme hızı

yavaşlamıştır. Buna kilitleme denir. ABS'nin temel işlevi bu durumu engellemek ya da azaltmaktır.



Şekil 2.1 ABS uyarı sinyali (BM/AEK R121 Motorlu Araçların El Kontrolleri İkaz ve Göstergelerinin Yeri ve Tanımlanması Konusunda Tip Onayı Yönetmeliği,18.01.2006)

Fren arızalarında araç gösterge panelinde uyarı sinyali olarak sarı renkte belirtilir.

2.5 Fren Pedal Kuvvetinin ABS Fren Sistemine Etkileri

Düzgün (2009), ABS'siz sistemlerde gereğinden fazla fren pedal kuvveti uygulamanın tüm tekerleklerin kilitlenmesine yol açtığını ve bu durumun üzerinde olumlu hiçbir etkisi bulunmadığını belirtmiştir. ABS sistemli araçlarda bazı ABS sistemleri yüksek pedal kuvveti uygulamasında yüksek performans sağlarken bazı ABS sistemleri de yeterli bir fren pedal kuvvetiyle daha iyi bir performans göstermektedir.

Marshek vd. (2002)'e göre kilitlenmeyi önleyici fren sistemi (ABS) ile donatılmış binek araçların frenleme özelliklerini, fren pedalı uygulama kuvvetinin bir fonksiyonu olarak değerlendirmek için bir araştırma yapmışlardır. Çalışmalarının amacı fren pedalı uygulama kuvvetinin hali hazırda kullanımda olan yaygın araçların fren sistemleri üzerindeki etkisini incelemektir.

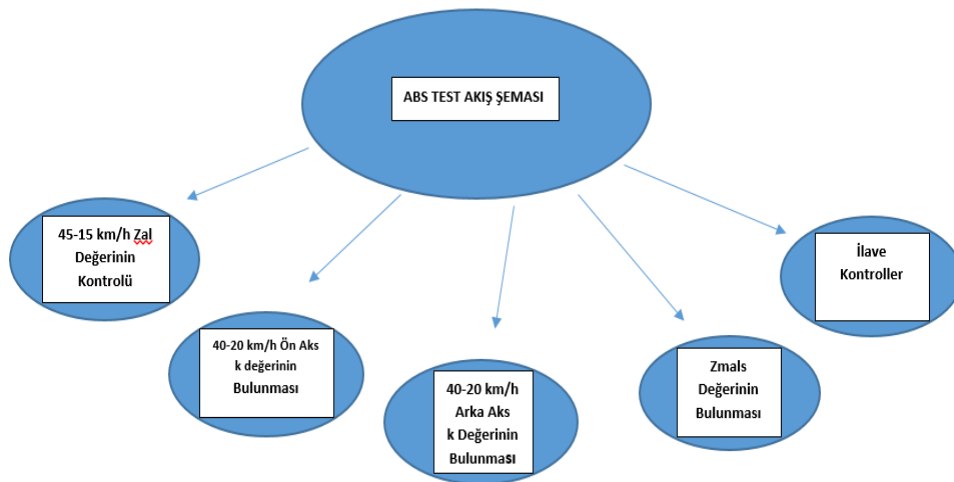
Frenleme kuvvetini maksimumda tutmak için kilitlenmeyen fren sistemi (ABS) için yeni bir kontrol stratejisi önerilmektedir. Tekerleklerin kilitlenmesini önleyen ABS'nin yaygınlaşması, araç stabilitesinin artmasına ve fren mesafesinin kısalmasına neden olmuştur. Frenleme kuvvetinin maksimuma çıkarılması durumunda daha fazla gelişme beklenmektedir. Araç gövdesi, tekerlek ve yol yüzeyinden oluşan rezonans sisteminin özelliklerinin, yol yüzeyinin kayma durumunu yansıttığı bir olguyu kullanarak frenleme

kuvvetinin maksimum değerini korumak için bir yöntem gerçekleştirilmiştir (Sugai vd. 1999).

2.6 Dmenlemenin ABS Fren Sistemine Etkileri

Düzgün (2009) yaptığı çalışmada, frenleme ve direksiyon hkimiyeti üzerine yapılan çalışmaları teorik ve pratik olarak sınıflamıştır. Frenleme ve direksiyon hkimiyeti ile ilgili genel kurallar üzerinde ve sürüş simülasyonları üzerinde çalışma gerçekleştirmiştir.

Lambourn (1994) yaptığı çalışmada, eğer bir sürücü mevcut lastik yolu sürtünmesinin çoğunu üstlenecek kadar sert bir şekilde direksiyonu eviriyorsa, kilitlenme önleyici sistemin eşzamanlı talebe tepkisi olduğu sonucuna varıldığını ve sert frenlemede tekerleklerin kilitlenmesini önlemek amacıyla gerçek frenleme çabasını düşük bir seviyede tutmak olacağını belirtmiştir. Yapılan çalışmada manevra testleri ışlak zeminden kuru zemine ve kuru zeminden ışlak zemine geçerken direksiyon davranışlarına bakılmış olup, direksiyon hakimiyetlerinin ABS fren sistemindeki uyumluluğu gözlemlenmiştir.



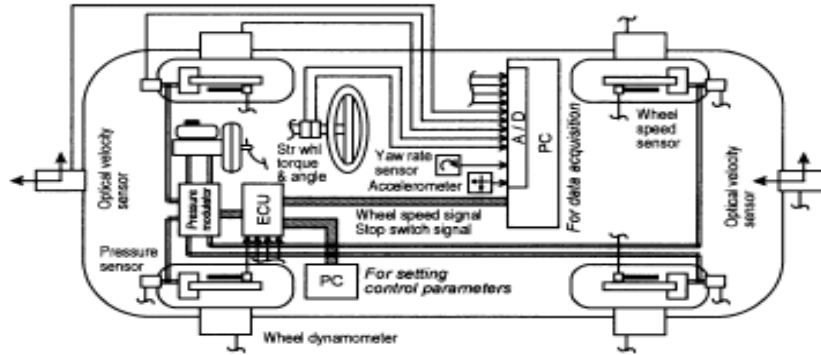
şekil 2.2 ABS test akış şeması.

2.7 Yapılan ABS Test Çalışmaları ve Sistemleri

Yasui vd. (2000), lastik kuvveti özelliklerinin ve şasi kontrol sistemlerinin performansını değerlendirmişlerdir. ABS'nin frenleme sırasındaki çeşitli yol yüzeylerine olan etkisi lastik kuvvetleri bakımından incelemişlerdir.

Test verilerinde lastik kuvveti özelliklerini ve araç performansını değerlendirmek için ölçülen verilen aşağıdakileri içermektedir (Yasui vd. 2000);

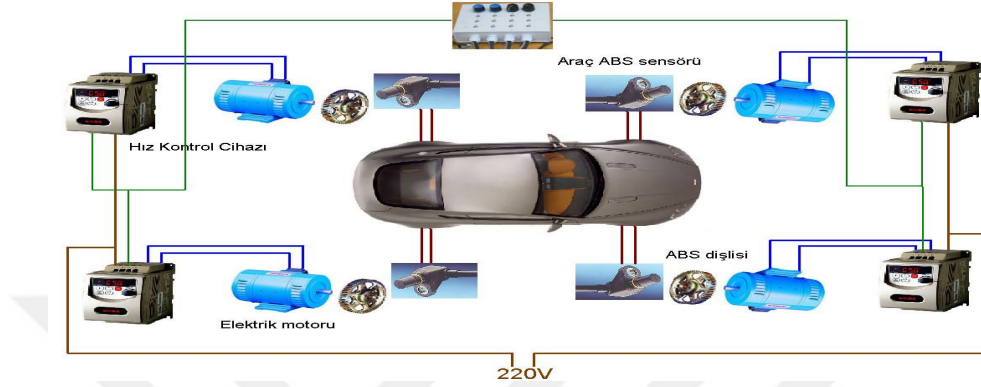
- Lastik kuvvet ve torkları
- Tekerlek hızları
- Direksiyon torku ve açısı
- Fren pedal kuvveti ve stroku
- Ana ve tekerlek silindiri basınçları
- Sapma oranı
- Boyuna ve yanal ivmeler
- Aracın ileri ve yanal hızları



Şekil 2.3 Test aracı konfigürasyonu (Yasui vd. 2000).

Test sonuçları, çeşitli yol yüzeyleri için gösterilmiş olup, aracın yavaşlaması ve yanal hareket tepkisi de dahil olmak üzere ABS performansı, ölçülen lastik kuvveti özellikleriyle ilişkilendirilmiştir (Yasui vd. 2000).

Düzgün (2009) yaptığı çalışmada, ABS fren sistemi etkinliği ve performans testlerinin yapılabilmesi için test sistemi ve cihazı geliştirmiştir. Bu cihaz sayesinde, ABS araştırma geliştirme çalışmaları, ABS sistemlerinin tasarımları ve ABS sistem elemanlarını test etmek mümkün olmaktadır.



Şekil 2.4 Yol simülör sisteminin araca monte edilmiş şematik gösterimi (Düzgün 2009).



Resim 2.2 Hidrolik fren sistemli ABS (Anonim 2010).

Tural (2016), çalışmasında frenleme anında, lastik-yol temasındaki değişimden dolayı, lastiğin üreteceği frenleme kuvvetinin önemli ölçüde değiştiğini belirtmektedir. Lastik basıncındaki artış ve azalış için, nominal lastik basıncından daha düşük ve daha yüksek olmak üzere üç farklı lastik basıncı kullanmış ve bu basınçlara göre ABS performansına teorik ve deneysel olarak araştırmıştır. Tural yaptığı simülasyon ve deneysel çalışması ile ABS'nin kontrol performansı değerlendirilirken, tekerlek hızı, araç hızı ve kayma

oranı parametreleri ve frenleme performansı için de frenleme mesafeleri ve fren ivmelerini araştırmıştır.



Resim 2.3 ABS doğrulama test pisti örneği (Anonim 2010).

Dousti (2014), çalışmasında elektromekanik fren sistemine sahip binek araçlara yönelik, yenilikçi, sürüş ve yol şartlarına göre uyarlanan, yüksek performanslı ABS kontrol algoritmalarını tasarlamıştır.

2.8 Araç Homologasyon Süreçleri

Homologasyon, bir araç üreticisinin aracını satması için, aracı satacağı ülkedeki yetkililerden satış işlemi için onay alma işlemlerinin bütünüdür (Güler 2002).

Homologasyon, Yunanca anlaşma anlamındaki homologos sözcüğünden türetilmiş teknik terim. Genellikle bir otorite tarafından verilen onay anlamında kullanılır. Bu otorite bir mahkeme, hükümet organı, akademik veya profesyonel kurum veya katı kurallar uygulama yetkisi bulunan herhangi bir kuruluş olabilir (İnt. Kyn, 5).

Tip onayı, imalatı yapılan bir ürün grubunun, o ürünü temsil eden bir ya da daha fazla örneğinin seçilerek kural ve/veya standart taleplerine uygunluğunun saptanması ve

gerekli testlerin yapılması, ürünün koşulları sağlayacak şekilde üretilbileceğinin tespit edilerek belgelenmesidir (İnt. Kyn, 6).

Bir aracın Avrupa ülkelerine satışının yapılabilmesi için Avrupa Birliği üye ülkelerinden herhangi bir ülke tarafından tip onayına tabi olması gerekmektedir. Burada Avrupa Birliği üye ülkeleri onay kuruluşları tarafından yetkilendirilmiş teknik servisler araç tip onayı süreçlerinde test ve belgelendirme süreçlerini devam ettirmektedir. Avrupa Birliği üye ülkelere araç satabilmek için “e” olarak ifade edilen tip onayına ihtiyaç duyulmaktadır. Türkiye Avrupa Birliği üye ülkesi olmamasına karşın Avrupa Birliğinin yönetmeliklerini kabul eder ve ayrıca Türkiye Birleşmiş Milletler üye ülkesi olduğu için BM/AEK regülasyonlarına onay verebilmektedir. Türkiye kendi sınırları içerisinde tam araç tip onayı verirken küçük e onayı veremediği için TR ulusal onayı vererek ilerlemektedir.

3. MATERYAL ve METOT

Yapılan çalışmada M3 kategori hidrolik fren sistemli bir araç ile M3 kategori pnömatik fren sistemli bir araç olmak üzere toplam iki araç incelenmiştir. A Test aracı % 100 elektrikli. B test aracı dizel yakıtlıdır. Testler azami yüklü ağırlığında ve araç yüksüz ağırlığında gerçekleştirilmiştir.

3.1 ABS Testlerinde Kullanılan Ekipmanlar

ABS testleri gerçekleştirilirken gerekli olan cihazlar aşağıdaki gibi listelenmiştir;

- Hız / Mesafe / mfdd ölçer
- Pedal kuvvet ölçer
- Lastik basınç göstergesi
- Manometre
- Kızılötesi termometre
- Kabin içinden dingillere istenilen basınçlarda fren yaptırma düzeneği
- İvme ölçer
- Anemometre

Çizelge 3.1 Tez çalışmasında kullanılan cihazların özellikleri

Cihaz Adı	Marka-Model	Tip
Hız / Mesafe / Mfdd Ölçer	Racelogic	Vbox 3i
Pedal kuvvet ölçer	Kistler	CPFTA1
Lastik basınç göstergesi	PCL	Accura 1
Manometre	SKP	KL4
Kızılötesi termometre	XINTEST	HT-817
İvme ölçer	Datron	DAS2
	KIMO	LV 110
Anemometre	Testo	Testo 400
	Tenmars	TM-404

Çizelge 3.1 verilen cihazlar yapılan testlerde kullanılmıştır. Cihazların teknik özellikleri aşağıdaki başlıklarda açıklanmıştır.

3.1.1 Hız Mesafe Mfdd Ölçer

Hız, mesafe, mfdd (Mean Fully Developed Deceleration) ölçer otomotiv testi ve doğrulaması için veri kaydedicidir. Yapılan testlerde mesafe, ivme, hız gibi kontrollerin yapılmasında ve test verilerinin kaydedilmesinde kullanılmaktadır.



Resim 3.1 Hız, mesafe, mfdd ölçer.



Resim 3.2 Hız, mesafe, mfdd ölçer göstergesi.

3.1.2 Pedal Kuvvet Ölçer

Pedal kuvvet ölçer, fren testlerinde servis frenine bağlanmaktadır ve sürücünün pedala bastığı kuvveti ölçmekte olan fren testi ekipmanı olarak değerlendirmektedir.



Resim 3.3 Pedal kuvvet ölçer.

3.1.3 Lastik Basınç Göstergesi

Lastik basınç göstergesi yapılan testlerde lastiklerin lastik üreticileri tarafından beyan edilen basınç miktarı tarafından şişirildikten sonra basıncı ölçmek için kullanılmaktadır.



Resim 3.4 Lastik basınç göstergesi.

3.1.4 Manometre

Gaz veya sıvı akışkanların basıncını ölçmek için kullanılan manometre, testlerde pnömatik fren sistemli araçlarda tekerleklerle gönderilen kilitlenmeye en yakın basıncın belirlenmesinde ve uygulanma aşamasında kullanılmıştır.



Resim 3.5 Manometre.

3.1.5 Kızılötesi Termometre

Nesnelerin sıcaklığını herhangi bir temas olmadan, uzaktan ve hızlı bir şekilde ölçebilen kızılötesi termometre, testler esnasında disk sıcaklığını ölçmek için kullanılmıştır. Kızılötesi termometre ile fren diski sıcaklıkları test esnasında belirli aralıklarla ölçülmüştür. Fren diski sıcaklığının 100 °C altında olması gerekmektedir (BM/AEK R13 M, N ve O Kategorisi Araçların Frenleri Hususunda Onayı İle İlgili Teknik Düzenleme,15.06.2023).



Resim 3.6 Kızılötesi termometre.

3.1.6 Fren Yaptırma Düzeneği

Pnömatik frenli araçlarda kabin içerisinde dingillerdeki her bir tekerlek için kilitlenmeye en yakın basınçta fren yaptırmak için kullanılmaktadır.



Resim 3.7 Kabin içerisinde dingillere istenilen basınçlarda fren yaptırmaya düzeneği.

3.1.7 İvme Ölçer

Testlerde ivme ölçer olarak Datron marka DAS2 model ivme ölçer (Resim 3.9) ile Hız, mesafe ve mfdd ölçer (Resim 3.1) kullanılmıştır. Bu cihazlarla yapılan ölçümlerde yavaşlama ivme değeri belirlenebilmektedir. Alınan yavaşlama ivme değeri (denklem

3.1) frenleme oranı bulunup, t saniyeleri ters orantıdan bulunabilmektedir. Denklemden eksi (-) işareti yönü göstermiş olup yavaşlamayı belirtmektedir.

$$Z = \frac{-a}{g} \quad (3.1)$$

Denklem (3.1) 'de

Z = Frenleme oranı

a = Yavaşlama ivmesi

g = Yer çekimi ivmesi



Resim 3.8 İvme ölçer.

3.1.8 Anemometre

Yapılan testlerde anemometre ile rüzgar hızı ve dış ortam sıcaklığı ölçülmektedir. Aşağıdaki resimde örnek anemometreler gösterilmiştir.



Resim 3.9 Anemometre.

3.2 ABS Fren Testleri

Günümüzde bilinen Anti-blokaj sistemleri bir ya da birden çok devir algılayıcı, elektrik kumanda birimi ve ayarlayıcılar içermektedirler. Gelecekte olabilecek farklı tasarlanmış bir anti-blokaj sistemi veya bir başka sistemin içine eklenen bir anti-blokaj sistemi belirtilen performansta bir fren etkinliğini sağlayabilmelidir.



Resim 3.10 Test yapılan araçlara ait test pistleri görüşleri.

ABS testleri yapılırken BM AEK R13 ek 13 göre genel bazı şartlara ihtiyaç duyulmaktadır (BM/AEK R13 M, N ve O Kategorisi Araçların Frenleri Hususunda Onayı İle İlgili Teknik Düzenleme 2023);

- ABS uyarı lambası bulunmalı
- Araç durur vaziyette iletilemeyen sensör arızaları araç yürüdüğünde sürücüye iletebilmeli
- Kontak açıldığında modülatörler en az bir çevrim yapmalı (kontak açıldığında gelen ses)
- Römork çekme özelliği olan motorlu araçlarda ilaveten bir ABS uyarı lambası bulunmalı
- ABS arızası durumunda aracın fren sistemi, artık (residual) fren sistemi performansını verebilmeli
- ABS manyetik alanlardan etkilenmemeli (BM AEK R10 Regülasyonuna uygunluk raporu olmalı)
- Arazi tipi araçlar hariç, ABS'yi manuel olarak devre dışı bırakma düzeneği bulunmamalı
- Motor freni, retarder, rejen fren gibi yardımcı freni bulunan araçlarda, bu yardımcı frenin etki ettiği dingile etki eden ABS bulunmalı ve uyumlu çalışmalıdır.



Resim 3.11 Kilitlemeyi belirlemek için boyanan tekerlek örneği.

Kuvvet bağlantı katsayısının belirlenmesi, tekerlekler kilitlenmeden ulaşılabilen azami fren kuvvetinin, frenlenen dingilin üzerindeki dinamik yüke bölünmesiyle bulunmaktadır. Frenler 50 km/h ilk hızında test edilen aracın yalnız bir dingiline uygulanmaktadır. Fren kuvvetleri dingiller arasında azami etkinliğe ulaşacak şekilde dağıtılmaktadır. 40 ile 20 km/h hızları arasında anti-blokaj sistemi devre dışı olarak ayarlanmaktadır. Aracın azami frenleme oranını belirlemek için çeşitli fren basınçlarında pek çok test yapılmaktadır (BM/AEK R13 M, N ve O Kategorisi Araçların Frenleri Hususunda Onayı İle İlgili Teknik Düzenleme 2023).

Her test boyunca, sabit bir giriş kuvveti korunmaktadır ve frenleme oranı aşağıdaki formülü kullanarak aracın hızını 40 km/h'den 20 km/h'e indirmek için gereken zaman (t) referans alınarak belirlenmektedir. Z_{max} , Z'nin azami değeri olarak belirlenmektedir.

$$Z = \frac{0,566}{t} \quad (3.2)$$

Denklem 3.2 de,

Z = Frenleme oranı

t = Zaman aralığı

20 km/h hızın altında tekerlek kilitlenmesi olabilmektedir. t'nin ölçülen en küçük değerinden t_{min} başlayarak, sonra da t_{min} ile $1,05t_{min}$ değerleri dahilinde 3 tane t değeri seçilerek bunların ortalama değeri t_m hesaplanmaktadır.

$$Z_m = \frac{0,566}{t_m} \quad (3.3)$$

Denklem 3.3 de,

Z_m = Ortalama frenleme oranı

t_m = t'nin ortalama değeri

Eğer pratik nedenlerle yukarıda tanımlanan 3 değer elde edilemediği gösterilirse asgari zaman t_{min} kullanılmaktadır.

Fren kuvvetleri, ölçülen frenleme oranı ve sırayla güç aktaran dingil ve güç aktarmayan dingil için statik dingil yükünün 0,015 ve 0,010'una eşit olan frenlenmiş dingilin veya dingillerin yuvarlanma dirençleri kullanılarak hesaplanmaktadır.

K değeri binler basamağına kadar yuvarlanmaktadır. Sonra test diğer dingiller için tekrar edilmektedir.

Ön dingil frenlenmişken kuvvet bağlantı katsayısı aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır;

$$k_f = \frac{Z_m \times P \times g - 0,015 \times F_2}{F_1 + \frac{h}{E} \times Z_m \times P \times g} \quad (3.4)$$

Denklem 3.4 de,

k_f = Ön dingildeki kuvvet bağlantısı katsayısı

Z_m = Ortalama frenleme oranı

P = Toplam ağırlık

g = Yer çekimi ivmesi

F_2 = İkinci dingil yükü

F_1 = Birinci dingil yükü

h = Ağırlık merkezinin yüksekliği

E = Dingil açıklığı

Arka dingil frenlenmişken kuvvet bağlantı katsayısı aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır;

$$k_r = \frac{Z_m \times P \times g - 0,015 \times F_2}{F_1 + \frac{h}{E} \times Z_m \times P \times g} \quad (3.5)$$

Denklem 3.5 de,

k_r = Arka dingildeki kuvvet bağlantısı katsayısı

Z_m = Ortalama frenleme oranı

P = Toplam ağırlık

g = Yer çekimi ivmesi

F2 = İkinci dingil yükü

F1 = Birinci dingil yükü

h = Ağırlık merkezinin yüksekliği

E = Dingil açıklığı

Kuvvet bağlantısı kullanımı (ε) anti-blokaj sistemi aktif değilken azami frenleme oranı (zAL) ve kuvvet bağlantı katsayısının (kM) oranı olarak tanımlanmaktadır.

$$\varepsilon = \frac{zAL}{kM} \quad (3.6)$$

Denklem 3.6 da,

ε = Aracın kullandığı kuvvet bağlantısı

zAL = Anti-blokaj sistem aktifken aracın frenleme oranı

kM = Motorlu aracın k çarpanı

55 km/h'lik bir ilk hızdan Anti-blokaj sistemin tam çalıştırılmasıyla azami frenleme oranı (zAL) ölçülür ve 3 testin ortalamasına dayanmaktadır, aracın hızını 45 km/h'den 15 km/h'e düşürmek için gereken zaman kullanarak aşağıdaki formüle göre hesaplanmaktadır:

$$zAL = \frac{0,849}{t_m} \quad (3.7)$$

Denklem 3.7 de,

zAL = Anti-blokaj sistem aktifken aracın frenleme oranı

t_m = t'nin ortalama değeri

Denklem 3.8 de,

F_{fdyn} = Ön akstaki tekerleklerin dinamik koşullarda ve anti-blokaj sistemi aktifken yol yüzeyinin normal tepkisi

Ff = Yol yüzeyinin statik şartlarda ön dingile normal tepkisi

h = Ağırlık merkezinin yüksekliği

E = Dingil açıklığı

zAL = Anti-blokaj sistem aktifken aracın frenleme oranı

P = Toplam ağırlık

g = Yer çekimi ivmesi

$$F_{fdyn} = F_f + \frac{h}{E} + zAL \times P \times g \quad (3.8)$$

Denklem 3.9 da,

Frdyn = Arka akstaki tekerleklerin dinamik koşullarda ve anti-blokaj sistemi aktifken yol yüzeyinin normal tepkisi

Fr = Yol yüzeyinin statik şartlarda arka dingile normal tepkisi

h = Ağırlık merkezinin yüksekliği

E = Dingil açıklığı

zAL = Anti-blokaj sistem aktifken aracın frenleme oranı

P = Toplam ağırlık

g = Yer çekimi ivmesi

$$F_{rdyn} = F_r - \frac{h}{E} + zAL \times P \times g \quad (3.9)$$

Denklem 3.10 da,

km = Motorlu aracın k çarpanı

kf = Ön dingildeki kuvvet bağlantı katsayısı

Ffdyn = Ön akstaki tekerleklerin dinamik koşullarda ve anti-blokaj sistem aktifken yol yüzeyinin normal tepkisi

kr = Arka dingildeki kuvvet bağlantı katsayısı

Frdyn = Arka akstaki tekerlerin dinamik koşullarda ve anti-blokaj sistem aktifken yol yüzeyinin normal tepkisi

P = Toplam ağırlık

g = Yer çekimi ivmesi

$$k_m = \frac{k_f \times F_{fdyn} + k_r \times F_{rdyn}}{P \times g} \quad (3.10)$$

Kategori 1 ya da 2 anti-blokaj sistemi ile donatılmış araçlarda, zAL değeri tüm araca dayanmaktadır, anti-blokaj sistem ayarlamazken, kullanılan kuvvet bağlantısı kullanımı (ϵ) verilen formülle bulunmaktadır.

Kategori 3 bir anti-blokaj sistemiyle donatılmış araçta zAL değeri en az bir doğrudan kumanda edilen tekerleğe sahip her dingil üzerinde ölçülmelidir. Örneğin, anti-blokaj sistemi yalnız arka dingile etki eden iki-dingilli arka tekerlek kullanılan kuvvet bağlantısı kullanımı (ϵ) aşağıdaki formülle bulunabilir:

$$\epsilon_2 = \frac{zAL \times P \times g - 0,010 \times F_1}{k_2 \times (F_2 - \frac{h}{E} \times zAL \times P \times g)} \quad (3.11)$$

Denklem 3.11 de,

ϵ_2 = Aracın kullandığı kuvvet bağlantısı

zAL = Anti-blokaj sistem aktifken aracın frenleme oranı

P = Toplam ağırlık

g = Yer çekimi ivmesi

F1 = Birinci dingil yükü

k2 = Lastik ile yol arasındaki kuvvet bağlantı katsayısı

F2 = İkinci dingil yükü

h = Ağırlık merkezinin yüksekliği

E = Dingil açıklığı

Bu hesaplama en az bir doğrudan kumanda edilen tekerleği olan her dingil için yapılmaktadır.

Eğer $\epsilon > 1,00$ ise kuvvet bağlantı katsayılarının ölçümleri tekrar edilmelidir. % 10'luk bir toleransa izin verilmektedir.

Üç dingilli motorlu araçlarda yalnızca birbirine yakın dingil grubuna dahil olmayan dingil, aracın k değerinin bulunmasında kullanılmaktadır.

Dingil açıklığı 3,80 metreden az ve $h/E > 0,25$ olan N₂ ve N₃ sınıf araçlar için arka dingil kuvvet bağlantı katsayısının bulunmasına gerek yoktur.

$$\frac{h}{E} > 0,25 \quad (3.12)$$

Denklem 3.12 de,

h = Ağırlık merkezinin yüksekliği

E = Dingil açıklığı

Bu durumda kuvvet bağlantısı kullanımı anti-blokaj sistemi aktif değilken azami frenleme oranı ve kuvvet bağlantı katsayısının oranı olarak tanımlanır.

$$\varepsilon = \frac{z_{AL}}{k_f} \quad (3.13)$$

Denklem 3.13 de,

ε = Aracın kullandığı kuvvet bağlantısı

z_{AL} = Anti-blokaj sistem aktifken aracın frenleme oranı

k_f = Ön dingildeki kuvvet bağlantı katsayısı

3.2.1 Enerji Tüketimi Testleri

Anti-blokaj sistemi olan motorlu araçlar performanslarını ana fren sisteminin kumanda düzeneği uzun süre tam olarak uygulandığında korumaktadır. Enerji saklama düzeneği ya da düzeneğindeki ilk enerji seviyesi üretici tarafından belirlenmiş seviyeye getirilmektedir. Bu seviye, araç yüklüken en azından önceden belirlenmiş ana fren sistemi etkinliğinin güvenceye alan seviyedir. Havalı destek donanımlarının enerji saklama düzeneği ayrılmaktadır.

50 km/h değerinden az olmayan bir ilk hızdan, kuvvet bağlantısı 0,3 ya da bu değerden az olan yüzeylerde t zamanı boyunca yüklü aracın frenleri tam olarak uygulandığında, dolaylı kumanda edilen tekerlekler tarafından tüketilen enerji göz önüne alınmaktadır ve tüm doğrudan kumanda edilen tekerlekler anti-blokaj sisteminin kumandası altında kalmaktadır.

Aracın motoru daha sonra durdurulur veya enerji aktarım saklama düzenekleri besleme devreleri kesilmektedir. Ana fren sistemi kumanda düzeneği aracın hareketsizken art arda 4 kere tam olarak çalıştırabilmelidir.

Kumandanın 5. uygulamasında aracın yüklü araç için önceden belirlenmiş en az yardımcı fren sistemi etkinliğinde frenlenmesi gerekmektedir.

Havalı frenle donatılmış römork çekme yetkisi olan motorlu araçlarda test sırasında, besleme devresi kapatılmaktadır ve kumanda devresine 0,5 litrelik bir enerji saklama düzeneği bağlanmaktadır. 5. frende havalı kumanda devresindeki basınç, ilk tam fren basınç değerinin yarısından altına inmemelidir.

Fren testi motor devre dışı, boşta çalışırken ve araç yüklüyken gerçekleştirilir.

$$t = \frac{V_{max}}{7} \quad (3.14)$$

Denklem 3.14 de,

t = Frenleme süresi

V_{max} = Azami hız

t 15 s'den az olmamak şartıyla, t saniye cinsinden olup, V_{max} aracın km/h cinsinden tasarlanmış azami hızını belirtir ve üst sınırı 160 km/h değeridir. t süresi tek bir frenleme evresinde tamamlanamaz ise azami 4 evre olmak üzere yapılmaktadır.

Eğer test birden fazla frenleme uygulamasıyla yapılıyorsa, testlerin arasında taze enerji sağlanmamaktadır. İkinci fren uygulamasından sonra, 1. fren uygulamasının enerji

tüketimi göz önüne alınmaktadır. Bu teste her saniye 4 tam frenden bir tanesi çıkarılarak testte 3. ve 4. fren uygulanabilir olarak alınmaktadır.

Testte eğer, 4. frenin sonunda araç statikken, enerji saklama düzeneğindeki enerji seviyesi, yüklü araç için istenen yardımcı fren etkinliğini verebilecek seviyenin üstündeysse sağlanmış kabul edilmektedir.

Enerji tüketimi testlerinin amacı; uzun süre uygulanan servis freni sonrası bile, ABS fren sisteminin performansını koruyup korumadığının kontrolüdür. Araç azami yüklü ağırlığında ve ABS çalışır durumda yapılmakta olup buton düzeneği kullanılmamaktadır. Dörtlü dağıtıcının tüm çıkışlarına önceden vana takılmaktadır. Araç römork çekebiliyorsa, römork hava besleme hattı körlenerek sarı kapline bir T rekor yardımıyla 0,5 litre hava tüpü ve aynı anda bir manometre takılmaktadır. Test başlangıcında sarı kaplindeki bu basınç not edilmektedir. Testin yapılacağı pistin başlangıcında durulup, tüplerdeki hava basıncı üreticinin belirttiği basınca tahliye edene kadar doldurulmaktadır. Yardımcı ünite tüplerinin musluğu açık bırakılmaktadır, frene ait diğer tüm musluklar kapatılarak o andan itibaren fren tüplerinin beslemesi kesilmektedir. Islak pist üzerinden ($k \leq 3$), vites boşta iken, minimum 50 km/h hızla, “t” saniye boyunca sürücü fren yapmaktadır. “t” süresi, 15 saniyeden az olmamak koşulu ile, aracın azami hızının 7’ye bölünmesiyle tespit edilmektedir. Eğer bu süre, pistin uzunluğunun yetmiyor olmasından dolayı, bir uygulamada tamamlanamıyor ise, 4 defayı aşmamak kaydıyla birkaç defada tamamlanabilmektedir. Fakat bu tekrarlar boyunca, pist haricinde gereksiz fren kullanılmamaktadır. Süre tamamlandıktan sonra düz bir yerde durdurulup (imdat freni bırakılı halde), araç durur vaziyette 4 kez tam fren yaptırmaktadır. Eğer ki süre birkaç defada tamamlanmış ise, birer uygulama düşülmektedir. Örneğin süre 2 defada tamamlanmışsa 3 kez tam fren yapılır, 3 defada tamamlanmış ise 2 kez tam fren yapılmaktadır.

Fren tüplerinde kalan hava not edilerek bu kalan hava ile kuru asfalt üzerinde yüklü araç ikincil fren performansı aranmaktadır. Eğer ikincil fren performansı için gereken minimum hava basıncı önceden belliyse (fren hesabında veya önceki kuru yol testlerinden) ve bu değer, araç durduğu yerde yapılan tam frenlemeler sonrası kalan

havaya eşit veya büyükse, ikincil fren deneyi yapmadan, şartların sağlandığı kabul edilmektedir.

Eğer araç römork çekebiliyorsa ve yukarıda bahsedilen sarı kaplı manometre ve tüp takma işlemleri yapıldıysa, ikincil fren ölçümünün hemen ardından sarı kaplıdaki basınç değeri not edilmektedir. Test sonu ölçülen bu basınç değeri, test başında not edilen değerin yarısından az olmaması gerekmektedir (BM/AEK R13 M,N ve O Kategorisi Araçların Frenleri Hususunda Onayı İle İlgili Teknik Düzenleme,2023,UNECE,15.06.2023).

3.2.2 Adhezyondan Faydalanma

Adhezyon tutunma demektir. Adhezyondan faydalanmanın amacı teorik minimum ötesindeki durma mesafesi gerçek artışının hesaba katılmasıdır. Adhezyondan faydalanma değeri olan “ε” un 0,75’ten büyük veya eşit, 1,1’den küçük olduğu durumlarda ABS sistemi uygundur denilmektedir.

Kuvvet bağlantısı kullanımı, kuvvet bağlantısı katsayısı 0,3 ya da daha az olan yol yüzeylerinde ve 0,8 civarında (kuru yol) 50 km/h değerindeki bir ilk hızla ölçülmektedir. Farklı fren sıcaklıklarının etkilerini etkisizleştirmek için, k değerinden önce zAL değerinin bulunması gerekmektedir.

Anti-blokaj sistemi tarafından kuvvet bağlantısının kullanımı kategori 1 veya 2 Anti-blokaj sistemi ile donatılmış tam araçlar üzerinde denetlenmektedir. Kategori 3 Anti-blokaj sistemi ile donatılmış araçlarda, en azından bir doğrudan kumanda edilen tekerleğin dingili/dingilleri bu şartı sağlamaktadır.

“ε” değeri, kuvvet bağlantı katsayısı $k \leq 0,3$ olan yüzeyde (ıslak pist) ve $k \leq 0,8$ olan yüzeyde (kuru asfalt) ölçülmektedir. Araç azami yüklü ağırlığında ve araç yüksüz ağırlığında her iki durumda ölçüm yapılmaktadır. “t” süresi virgülden sonra 3 hane ölçülür. Frenlemeler boyunca sabit ve kararlı bir fren pedal kuvveti sağlanmalıdır. Blokajı dışarıdan gözlemlenmeleri için tekerlekler Resim 3.11’de gösterildiği gibi sprey

boya ile işaretlenmektedir. Telsizle veya telefonla, blokaj tespiti için, gözlemcilerle iletişim kurulmaktadır.

Ölçülecek “t” süreleri kuru asfalt üzerinde ABS devrede olacak şekilde (sürücü fren yapacak), 55 km/h hızla giderken, Vbox cihazı ile tetikleme başlangıcı $V=45$ km/h, tetikleme sonu $V=15$ km/h olacak şekilde 3 adet t (saniye) ölçümü alınmaktadır. Sonra ıslak pist üzerinde, ABS devrede (sürücü fren yapacak), 55km/h hızla giderken, tetikleme başlangıcı $V=55$ km/h, tetikleme sonu $V=15$ km/h olacak şekilde 3 adet t (saniye) ölçümü alınmaktadır. Daha sonra aracın yarısı ıslak pist, diğer yarısı kuru asfalt üzerinde, ABS devrede (sürücü fren yapacak), 55 km/h hızla giderken, tetikleme başlangıcı $V=45$ km/h, tetikleme sonu $V=15$ km/h olacak şekilde 3 adet t (saniye) ölçümü alınmaktadır.

Öncelikle ıslak pistten başlayarak, hangi dingil frenlenecekse düzenek o dingile bağlanır ve yalnızca o dingil frenlenerek, ıslak pist üzerinde optimum fren pedal kuvveti belirlenmektedir. Optimum fren pedal kuvveti kilitlenmeye en yakın olan pedal kuvvetidir.

Optimum pedal kuvveti bulunduğunda, ıslak pist üzerinde bu basınçla, 50 km/h hızla giderken, tetikleme başlangıcı $V=40$ km/h, tetikleme sonu 20 km/h olacak şekilde, optimum pedal kuvvetinde minimum 5 adet t (saniye) ölçümü alınmaktadır.

Araç üç dingilli ise ve arka iki dingil süspansiyon ile birbirine bağlıysa yalnızca ön dingil değerleri ölçülmektedir. Araç dört dingilli, 2+2 dingil düzeninde ve ön iki dingil aynı frenleme hattında ise, ön iki dingil beraber tek bir ön dingilmiş gibi frenlenmektedir.

3.2.3 Zmals Değerinin Kontrolü

Zmals değeri yüklü ve yüksüz araç için ayrı ayrı kontrol edilmektedir. Aracın yarısı ıslak pistte, diğer yarısı kuru asfaltta iken ölçülmüş olan t değerleri kullanılmaktadır. Kütle, dingil mesafesi gibi değerler hesaplamaya dahil edilmektedir. Hesaplama 45

km/h-15 km/h arasında aracın bir tekerleği ıslak pistte, diğer tekerleği kuru pistte olacak şekilde 3 değer alınmaktadır ve bir zAL değerı hesaplanmaktadır. Bu değer aşağıdaki formülasyondaki şartları sağlaması gerekmektedir (BM/AEK R13 M, N ve O Kategorisi Araçların Frenleri Hususunda Onayı İle İlgili Teknik Düzenleme 2023).

$$Z_{mals} \geq 0,75 \frac{4k_L + k_H}{5} \quad (3.15)$$

Denklem 3.15 de,

Z_{mals} = bölünmüş yüzeyde motorlu aracın zAL değerı

k_L = Düşük sürtünme katsayılı yüzeyin katsayısı

k_H = Yüksek sürtünme katsayılı yüzeyin katsayısı

$$Z_{mals} \geq k_L \quad (3.16)$$

Denklem 3.16 da,

Z_{mals} = bölünmüş yüzeyde motorlu aracın zAL değerı

k_L = Düşük sürtünme katsayılı yüzeyin katsayısı

3.2.4 Düşük Sürtünmeli Yüzeylerde Kuvvet Bağlantı Katsayısı

40 km/h civarı için kaymaya karşılık gelen % 0 ile % 100 kayma arası kuvvet bağlantı katsayısı değerleri k_{peak} ve k_{lock} değerleri tayin edilmesi gerekmektedir.

$$R = \frac{k_{peak}}{k_{lock}} \quad (3.17)$$

Denklem 3.17 de,

R = k_{peak} değerinin k_{lock} değerine oranı

k_{peak} = kaymaya bağlı olarak kuvvet bağlantı kullanımını eğrisinin azami değerı

k_{lock} = %100 kayma durumunda kuvvet bağlantısı değerı

R değeri onda birlik basamağa kadar yuvarlanmaktadır. Kullanılan yüzeyin oranı R; 1,0 ile 2,0 arasında olması gerekmektedir. k katsayısı hesaplanırken frenlenen aksın frenleme esnasındaki dinamik yüküne karşılık gelen frenleme kuvveti ile hesaplanmaktadır. Her bir aksı ayrı ayrı frenleterek ölçülmesi sağlanmaktadır. k testlerinde ABS soketi devre dışıdır.

40 km/h'den 20 km/h'e düşme süresi t saniye olarak ölçülmektedir. Testler yapılırken diskler veya kampanalar soğuk olması gerekmektedir. Disklerin veya kampanaların 100°C'nin altında olması gerekmektedir.

t_{min} ile 1,05 t_{min} arasında üç adet değer alınıp bu değerlerin aritmetik ortalaması alınmaktadır.

3.2.5 İlave Kontroller

İlave kontroller araç yüklü ve yüksüzken, motor devre dışıyken gerçekleştirilmektedir. 40 km/h ile ve aşağıdaki uygun yüksek hız değerinde ani fren yapıldığında, üzerinde sensör olan tekerleklerin kilitlenmemesi gerekmektedir.

Kuru asfalttan ıslak piste geçiş sırasında, aşağıdaki tablodaki uygun hızlarda frenleme yapıldığında üzerinde sensör olan tekerleklerin kilitlenmemesi gerekmektedir. Islak pistten kuru asfalta geçiş sırasında, 50 km/h hızla frenleme yapıldığında üzerinde sensör olan tekerleklerin kilitlenmemesi gerekmektedir. Yarı yarıya farklı yüzeylerde iken, 50 km/h frenleme yapıldığında üzerinde sensör olan tekerleklerin kilitlenmemesi gerekmektedir. 15 km/h ve altı hızlarda blokaj olmasına müsaade edilmektedir. Yarı yarıya farklı yüzey deneyi sırasında ilk iki saniye içinde direksiyon döndürme açısı 120 dereceyi, araç durana kadar 240 dereceyi geçmemesi gerekmektedir. Ayrıca başlangıçta bir yüzeyde olan tekerlek, araç durana kadar diğer yüzeye geçmemesi gerekmektedir. Bir dingil, $kH \geq 0,5$ olan yüksek kuvvet bağlantı katsayılı (kH) bir yüzeyden $kH/kL \geq 2$ düşük kuvvet bağlantı katsayılı (kL) bir yüzeye geçerken kumanda düzeneğine tam uygulama kuvveti uygulandığında, doğrudan kumanda edilen tekerlekler kilitlenmemesi gerekmektedir. Aracın hızı ve frene basma anı o şekilde seçilmesi gerekmekte, yüksek

ve düşük hızlarda yüksek kuvvet bağlantı katsayılı yolda anti-blokaj sistemi tam ayarlamalı ve bir yüzeyden diğer yüzeye geçişlerde belirtilen şartlarda yapılması gerekmektedir.

Çizelge 3.2 Araçların ilave kontrollerinde kategorilere göre hızlar.

	Araç Kategorisi	Azami test hızı
Yüksek yapışma yüzeyi	N ₂ ve N ₃ sınıf hariç tüm hariç tüm sınıflar yüklü	0,8 V _{max} ≤ 120 km/h
	N ₂ , N ₃ yüklü	0,8 V _{max} ≤ 80 km/h
Düşük yapışma yüzeyi	M ₁ , N ₁	0,8 V _{max} ≤ 120 km/h
	M ₂ , M ₃	0,8 V _{max} ≤ 80 km/h
	N ₂ hariç yarı-römork çekicileri	
	N ₃ ve yarı-römork çekicileri	0,8 V _{max} ≤ 70 km/h
	N ₂	

Bir aracın $kH \geq 0,5$ ve $kH/kL \geq 2$ şartlarını sağlayan düşük kuvvet (kL) bağlantılı yolda yüksek kuvvet (kH) bağlantı katsayılı bir yola geçerken kumanda düzeneğine uygulanan tam kuvvet, aracın frenleme ivmesi kabul edilen bir zaman aralığı içinde yükselmeli ve araç izlediği yoldan sapmaması gerekmektedir. Aracın hızı ve frene basma anı o şekilde seçilmelidir ki, anti-blokaj sistemi düşük kuvvet bağlantı katsayılı yolda tam ayarlamalı ve bir yüzeyden diğer yüzeye geçiş yaklaşık 50 km/h hız değerinde yapılmalıdır. Kategori 1 ve kategori 2 Anti-blokaj sistemiyle donatılmış motorlu araçların sağ ve sol tekerlekleri $kH \geq 0,5$ ve $kH/kL \geq 2$ şartlarını sağlayan biri yüksek (kH) diğeri düşük (kL) kuvvet bağlantı katsayılı yüzeylerdeyken, 50 km/h'lik bir hızla giderken kumanda düzeneğine tam kuvvet uygulandığında doğrudan kumanda edilen tekerlekler kilitlenmemesi gerekmektedir (BM/AEK R13 M,N ve O Kategorisi Araçların Frenleri Hususunda Onayı İle İlgili Teknik Düzenleme,2023,UNECE,15.06.2023).

3.3. A Test Aracı

COG (Centre of gravity) ağırlık merkezi anlamına gelmektedir. Test aracı 2 akslı azami hızı 100 km/h olan %100 elektrikli bir araçtır. Lastik ölçüleri 225/75 R16C'dir. A aracı hidrolik fren sistemine sahiptir.

Testler yapılırken 45-15 km/h, 40-20 km/h hızlarda yüksek ve düşük sürtünmede araç yüklü ve yüksüz olarak 3 t saniye değerleri hesaplamalarda kullanılmaktadır. Testlerde alınan t saniye değerlerinin kendi aralarında en fazla ve en az olacak şekilde 1,05 farkı olması gerekmektedir.

Çizelge 3.3’de A test aracının özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.3 A test aracının özellikleri.

Araç Özellikleri	A aracı	Birimler
Azami hız	100	km/h
COG yerden yüksekliği	1,126	m
Azami yüklü kütlesi	8500	kg
Ön aks yüklü kütlesi	2640	kg
Arka aks yüklü kütlesi	5840	kg
Araç yüksüz kütlesi	4880	kg
Ön aks yüksüz kütlesi	1980	kg
Arka aks yüksüz kütlesi	2900	kg
Fren sistemi	Hidrolik	
Aks sayısı	2	
Akslar arası mesafe	5,130	m
Yakıt türü	%100 Elektrikli	
Araç kategorisi	M3	
Lastik ölçüleri	225/75 R16C	
Ön aks yuvarlanma direnç katsayısı	0,010	
Arka aks yuvarlanma direnç katsayısı	0,015	
Yer çekimi ivmesi	9,80665	m/s ²
Araç yüklü ağırlığı	83160	N
Ön aks yüklü ağırlığı	25890	N
Arka aks yüklü ağırlığı	57272	N
Araç yüksüz ağırlığı	47856	N
Ön aks yüksüz ağırlığı	19417	N
Arka aks yüksüz ağırlığı	28439	N

Çizelge 3.4 A aracı yüksüz test sonuçları.

Hız Aralığı (km/h)	Test No	t (s)	Ortalama t (s)	ABS Durumu	Zemin Durumu	Aks
45-15	1	1,42	1,41	Devrede	Kuru Zemin	Tüm Akslar Devrede
	2	1,41				
	3	1,4				
	1	6,3	6,277	Devrede	Islak Zemin	Tüm Akslar Devrede
	2	6,27				
	3	6,26				
40-20	1	9,33	9,2	Devre Dışı	Islak Zemin	Ön Aks
	2	9,13				
	3	9,14				
	1	7,05	7,153	Devre Dışı	Islak Zemin	Arka Aks
	2	7,06				
	3	7,35				
	1	1,71	1,727	Devre Dışı	Kuru Zemin	Ön Aks
	2	1,74				
	3	1,73				
	1	1,82	1,85	Devre Dışı	Kuru Zemin	Arka Aks
	2	1,85				
	3	1,88				

Çizelge 3.4 de 45-15 km/h hızda ve 40-20 km/h hızda A aracının yüksüz test sonuçları gösterilmektedir. 45-15 km/h hızda yüksek sürtünmede gerçekleştirilen testlerde aritmetik ortalaması 1,41 olarak alınmaktadır. 45-15 km/h hızda düşük sürtünmede gerçekleştirilen testlerde süreler 6,277 olarak aritmetik ortalaması alınmıştır. Ölçümler ABS devrede kuru zemin ve ıslak zemin üzerinde vites boшта gerçekleştirilmiştir. 40-20 km/h hızda ön aks düşük sürtünmede gerçekleştirilen testlerde 9,2 olarak aritmetik ortalaması alınmaktadır. Arka aks düşük sürtünmede gerçekleştirilen testlerde 7,153 olarak aritmetik ortalaması kullanılmıştır. Ön aks yüksek sürtünmede gerçekleştirilen testlerde 1,727 olarak aritmetik ortalaması alınmıştır. Arka aks yüksek sürtünmede gerçekleştirilen testlerde 1,85 olarak aritmetik ortalaması kullanılmıştır. Ölçümler ABS devrede değilken kuru zemin ve ıslak zemin üzerinde vites boшта gerçekleştirmiştir.

Araç hidrolik frenli olduğu için kilitlemeye en yakın pedal kuvvetlerinde testler gerçekleştirilmiştir.

Test aracı elektrikli olduğu için ve dolayısıyla rejen frene sahip olduğu için maksimum hızın %30, %55 ve %80'inde yüklü ve yüksüz şekilde ABS devredeyken ıslak zeminde davranış kontrolleri yapılmıştır. Ayrıca 50 km/h'den araç durana kadar kuru zeminden ıslak zemine, 50 km/h'den araç durana kadar ıslak zeminden 1,5 metre kala kuru zemine geçerken davranış testleri gerçekleştirilmektedir. 50 km/h'den araç durana kadar ön aks ön tekerlek girdiği gibi yarısı ıslak yarısı kuru zeminde direksiyon davranışı izlenmiştir. 50 km/h'den araç durana kadar yarısı ıslak yarısı kuru zeminde diğer yön için de aynı şekilde davranış kontrolü yapılmıştır. Son olarak 70 km/h da kuru zeminden ıslak zemine, ıslak zeminden kuru zemine, yarısı ıslak zeminde yarısı kuru zeminde bir yönde ve yarısı ıslak ve yarısı kuru zeminde diğer yönde davranış kontrolleri yapılmıştır.

Çizelge 3.5 de 45-15 km/h hızda ve 40-20 km/h hızda A aracının yüklü test sonuçları sunulmuştur.

45-15 km/h hızda düşük sürtünmede gerçekleştirilen testlerde 5,597 olarak aritmetik ortalaması alınmıştır. Yüksek sürtünmede gerçekleştirilen testlerde 2,01 olarak aritmetik ortalaması kullanılmıştır. Ölçümler ABS devrede ıslak zemin ve kuru zemin üzerinde vites boшта gerçekleştirilmiştir. Tekerleklerin bir tanesi ıslak zeminde bir tanesi kuru zeminde olacak gerçekleştirilen testlerde 3,807 olarak aritmetik ortalaması alınmıştır. Zmals hesaplanırken araç μ split testlerinde alınan 45-15 km/h de alınan t saniyeleri kullanılmaktadır.

40-20 km/h hızda ön aks yüksek sürtünmede gerçekleştirilen testlerde 2,473 olarak, arka aks yüksek sürtünmede gerçekleştirilen testlerde 2,60 olarak aritmetik ortalamaları alınmıştır. Ön aks düşük sürtünmede gerçekleştirilen testlerde 10,427 olarak, arka aks düşük sürtünmede gerçekleştirilen testlerde 4,96 olarak aritmetik ortalamaları kullanılmıştır. Ölçümler ABS devrede değilken ıslak zemin ve kuru zemin üzerinde vites boшта ve araç hidrolik frenli olduğu için kilitlemeye en yakın pedal kuvvetlerinde testler gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3. 5 A aracı yüklü test sonuçları.

Hız Aralığı (km/h)	Test No	t (s)	Ortalama t (s)	ABS Durumu	Zemin Durumu	Aks
45-15	1	1,97	2,01	Devrede	Kuru Zemin	Tüm Akslar Devrede
	2	2,04				
	3	2,02				
	1	5,65	5,597	Devrede	Islak Zemin	Tüm Akslar Devrede
	2	5,47				
	3	5,67				
	1	3,71	3,807	Devrede	μ Split	Tüm Akslar Devrede
	2	3,88				
	3	3,83				
40-20	1	10,36	10,427	Devre Dışı	Islak Zemin	Ön Aks
	2	10,43				
	3	10,49				
	1	5,01	4,96	Devre Dışı	Islak Zemin	Arka Aks
	2	5,01				
	3	4,86				
	1	2,46	2,473	Devre Dışı	Kuru Zemin	Ön Aks
	2	2,49				
	3	2,47				
	1	2,59	2,6	Devre Dışı	Kuru Zemin	Arka Aks
	2	2,61				
	3	2,6				

3.4. B Test Aracı

B test aracı 2 akslı azami hızı 90 km/h olan dizel bir araçtır. Lastik ölçüleri 275/70 R22,5'dur. Çizelge 3.6 da B test aracının özellikleri görülmektedir.

Testler yapılırken 45-15 km/h, 40-20 km/h hızlarda yüksek ve düşük sürtünmede araç yüklü ve yüksüz olarak 3 t saniye değerleri hesaplamalarda kullanılmaktadır. Testlerde

alınan t saniye değerlerinin kendi aralarında en fazla ve en az olacak şekilde 1,05 farkı olması gerekmektedir.

Çizelge 3.6 B test aracının özellikleri.

Araç Özellikleri	B aracı	Birimler
Azami hız	90	km/h
COG yerden yüksekliği	1,190	m
Azami yüklü kütlesi	19000	kg
Ön aks yüklü kütlesi	7250	kg
Arka aks yüklü kütlesi	11750	kg
Araç yüksüz kütlesi	11150	kg
Ön aks yüksüz kütlesi	3700	kg
Arka aks yüksüz kütlesi	7450	kg
Fren sistemi	Pnömatik	
Aks sayısı	2	
Akslar arası mesafe	5,900	m
Yakıt türü	Motorin	
Araç kategorisi	M3	
Lastik ölçüleri	275/70 R22,5	
Ön aks yuvarlanma direnç katsayısı	0,010	
Arka aks yuvarlanma direnç katsayısı	0,015	
Yer çekimi ivmesi	9,80665	m/s ²
Araç yüklü ağırlığı	186326,350	N
Ön aks yüklü ağırlığı	71098,213	N
Arka aks yüklü ağırlığı	115228,138	N
Araç yüksüz ağırlığı	109344,148	N
Ön aks yüksüz ağırlığı	36284,605	N
Arka aks yüksüz ağırlığı	73059,543	N

Çizelge 3.7 de 45-15 km/h hızda ve 40-20 km/h hızda B aracının yüksüz test sonuçları gösterilmiştir.

45-15 km/h hızda yüksek sürtünmede gerçekleştirilen testlerde aritmetik ortalaması 1,253 olarak alınmıştır. Düşük sürtünmede gerçekleştirilen testlerde süreler 3,19 olarak aritmetik ortalaması kullanılmıştır. Ölçümler ABS devrede ve ıslak zemin ve kuru zemin üzerinde vites boşa gerçekleştirilmiştir.

40-20 km/h hızda ön aks düşük sürtünmede gerçekleştirilen testlerde 5,657 olarak, arka aks düşük sürtünmede gerçekleştirilen testlerde 3,42 olarak aritmetik ortalamaları alınmıştır. Ön aks yüksek sürtünmede gerçekleştirilen testlerde 1,793 olarak, arka aks yüksek sürtünmede gerçekleştirilen testlerde 1,36 olarak aritmetik ortalamaları kullanılmıştır. Ölçümler ABS devrede değilken kuru zemin ve ıslak zemin üzerinde vites boşa ve araç pnömatik frenli olduğu için kilitlemeye en yakın tekerlek basınçlarında gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.7 B test aracı yüksüz test sonuçları.

Hız Aralığı (km/h)	Test No	t (s)	Ortalama t (s)	ABS Durumu	Zemin Durumu	Aks
45-15	1	1,25	1,253	Devrede	Kuru Zemin	Tüm Akslar Devrede
	2	1,24				
	3	1,27				
	1	3,2	3,19	Devrede	Islak Zemin	Tüm Akslar Devrede
	2	3,19				
	3	3,18				
40-20	1	5,56	5,657	Devre Dışı	Islak Zemin	Ön Aks
	2	5,75				
	3	5,66				
	1	3,43	3,42	Devre Dışı	Islak Zemin	Arka Aks
	2	3,42				
	3	3,41				
	1	1,8	1,793	Devre Dışı	Kuru Zemin	Ön Aks
	2	1,76				
	3	1,82				
	1	1,37	1,36	Devre Dışı	Kuru Zemin	Arka Aks
	2	1,32				
	3	1,39				

Çizelge 3.8 B test aracı yüklü test sonuçları.

Hız Aralığı (km/h)	Test No	t (saniye)	Ortalama t (saniye)	ABS Durumu	Zemin Durumu	Aks
45-15	1	1,34	1,363	Devrede	Kuru Zemin	Tüm Akslar Devrede
	2	1,35				
	3	1,4				
	1	3,58	3,6	Devrede	Islak Zemin	Tüm Akslar Devrede
	2	3,56				
	3	3,66				
	1	2,76	2,787	Devrede	μ Split	Tüm Akslar Devrede
	2	2,8				
	3	2,8				
40-20	1	5,77	5,64	Devre Dışı	Islak Zemin	Ön Aks
	2	5,58				
	3	5,57				
	1	4,26	4,26	Devre Dışı	Islak Zemin	Arka Aks
	2	4,26				
	3	4,26				
	1	1,83	1,82	Devre Dışı	Kuru Zemin	Ön Aks
	2	1,83				
	3	1,8				
	1	1,89	1,87	Devre Dışı	Kuru Zemin	Arka Aks
	2	1,89				
	3	1,83				

Test aracı ilave kontrollerde maksimum hızın %30, %55 ve %80'inde yüklü ve yüksüz şekilde ABS devredeyken ıslak zeminde davranış kontrolleri yapılmıştır. Ayrıca 50 km/h'den araç durana kadar kuru zeminden ıslak zemine, 50 km/h'den araç durana kadar ıslak zeminden 1,5 metre kala kuru zemine geçerken davranış testleri gerçekleştirilmektedir. 50 km/h'den araç durana kadar ön aks ön tekerler girdiği gibi yarısı ıslak yarısı kuru zeminde direksiyon davranışı incelenmiştir. 50 km/h'den araç durana kadar yarısı ıslak yarısı kuru zeminde diğer yön için de aynı şekilde davranış kontrolü yapılmıştır. Son olarak 70 km/h da kuru zeminden ıslak zemine, ıslak

zeminden kuru zemine, yarısı ıslak zeminde yarısı kuru zeminde bir yönde ve yarısı ıslak ve yarısı kuru zeminde diğer yönde davranış kontrolleri gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.8 de 45-15 km/h hızda ve 40-20 km/h hızda B aracının yüklü test sonuçları sunulmuştur. 45-15 km/h hızda düşük sürtünmede gerçekleştirilen testlerde 3,6 olarak, yüksek sürtünmede gerçekleştirilen testlerde 1,363 olarak aritmetik ortalamaları alınmıştır. Ölçümler ABS devrede ve kuru beton zemin üzerinde vites boşta gerçekleştirilmiştir.

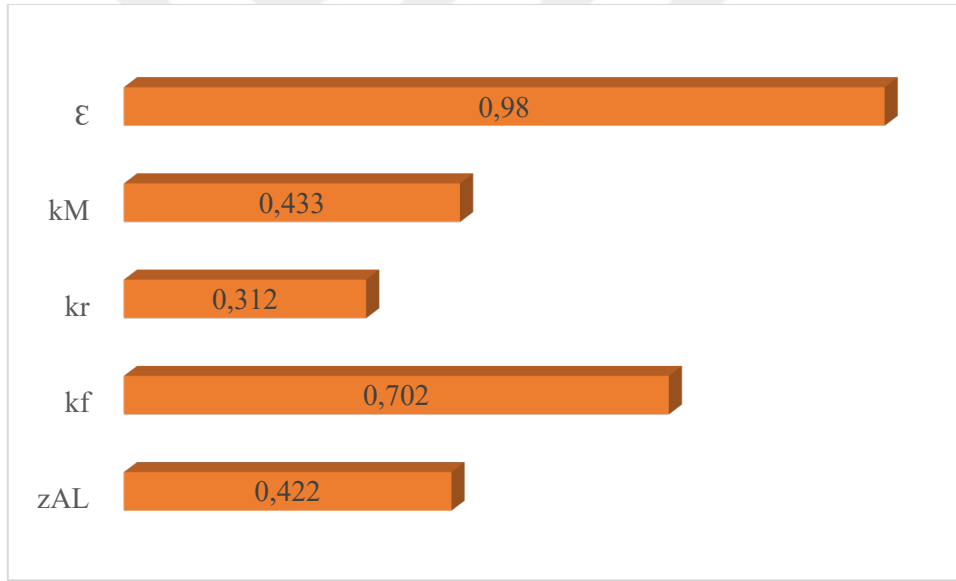
45-15 km/h hızda tekerleklerin biri ıslak zeminde diğeri kuru zeminde olarak gerçekleştirilen testlerde 2,787 olarak aritmetik ortalaması alınmıştır. Zmals hesaplanırken araç split testlerinde alınan 45-15 km/h de alınan t saniyeleri kullanılmaktadır. 40-20 km/h hızda ön aks yüksek sürtünmede gerçekleştirilen testlerde 1,82 olarak, arka aks yüksek sürtünmede gerçekleştirilen testlerde 1,87 olarak aritmetik ortalamaları alınmıştır. Ön aks düşük sürtünmede gerçekleştirilen testlerde 5,64 olarak, arka aks düşük sürtünmede gerçekleştirilen testlerde 4,26 olarak aritmetik ortalamaları kullanılmıştır. Ölçümler ABS devrede değilken ıslak zemin ve kuru zemin üzerinde vites boşta, araç pnömatik frenli olduğu için kilitlemeye en yakın basınçlarında gerçekleştirilmiştir.

4. BULGULAR

4.1 A Test Aracının Yüklü Kuru Zemin Sonuçlarının İncelenmesi

Şekil 4.1’de yüklü araç kuru zemin sonuçları görülmektedir. Ön dingildeki kuvvet bağlantısı katsayısı k_f 0,702’dir. Arka dingildeki kuvvet bağlantısı k_r 0,312’dir. Anti-blokaj sistem aktifken aracın frenleme oranı zAL 0,422’dir. Aracın k değeri kM 0,433’dür. Aracın kullandığı kuvvet bağlantısı (ϵ) 0,98’dir.

k_f hesabı için denklem (3.4) k_r için denklem (3.5) kullanılmıştır. zAL hesabı için denklem (3.7) kM hesabı için denklem (3.10) kullanılmıştır. ϵ hesabı için denklem (3.13) göz önüne alınmıştır.

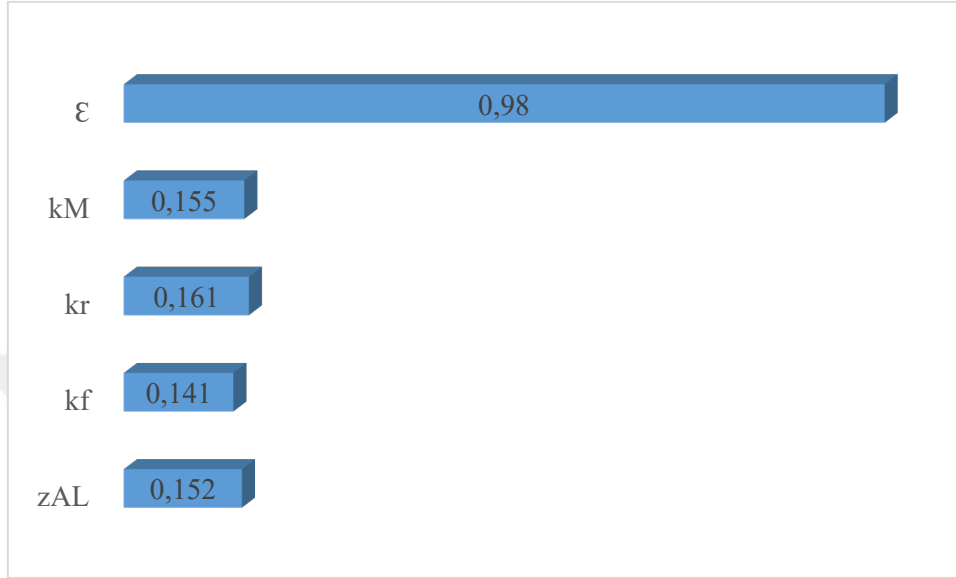


Şekil 4.1 A test aracının yüklü kuru zemin sonuçları.

4.2 A Test Aracının Yüklü Islak Zemin Sonuçlarının İncelenmesi

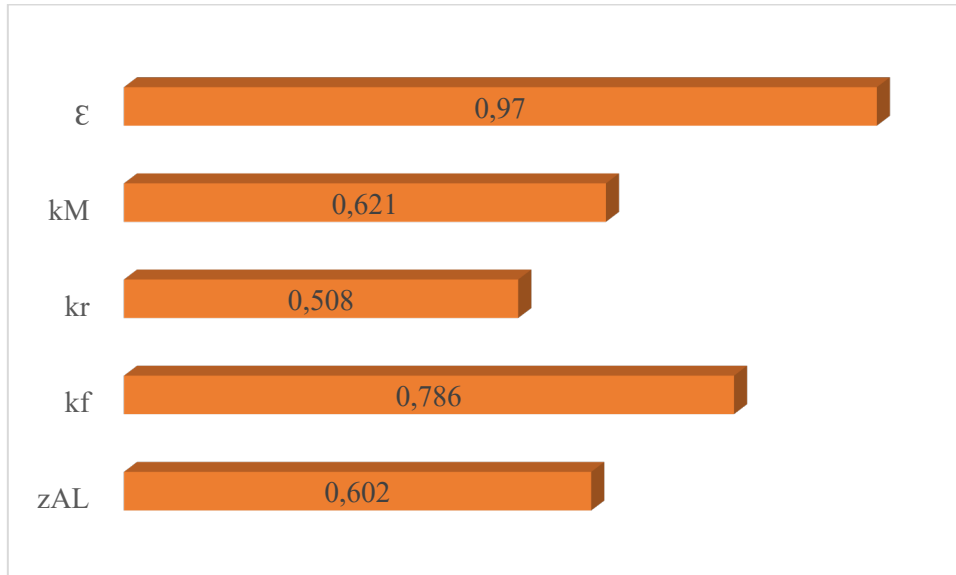
Şekil 4.2’de yüklü araç ıslak zemin sonuçları görülmektedir. Ön dingildeki kuvvet bağlantısı katsayısı k_f 0,141, Arka dingildeki kuvvet bağlantısı k_r 0,161’dir. Anti-blokaj sistem ayarlıyorken aracın frenleme oranı zAL 0,152’dir. Aracın k değeri kM 0,155’dir. Aracın kullandığı kuvvet bağlantısı ϵ 0,98’dir.

kf hesabı için denklem (3.4), kr hesabı için denklem (3.5) kullanılmıştır. zAL hesabı için denklem (3.7), kM hesabı için denklem (3.10) kullanılmıştır. ϵ hesabı için denklem (3.13) göz önüne alınmıştır.



Şekil 4.2 A test aracının yüklü ıslak zemin sonuçları.

4.3 A Test Aracının Yüksüz Kuru Zemin Sonuçlarının İncelenmesi

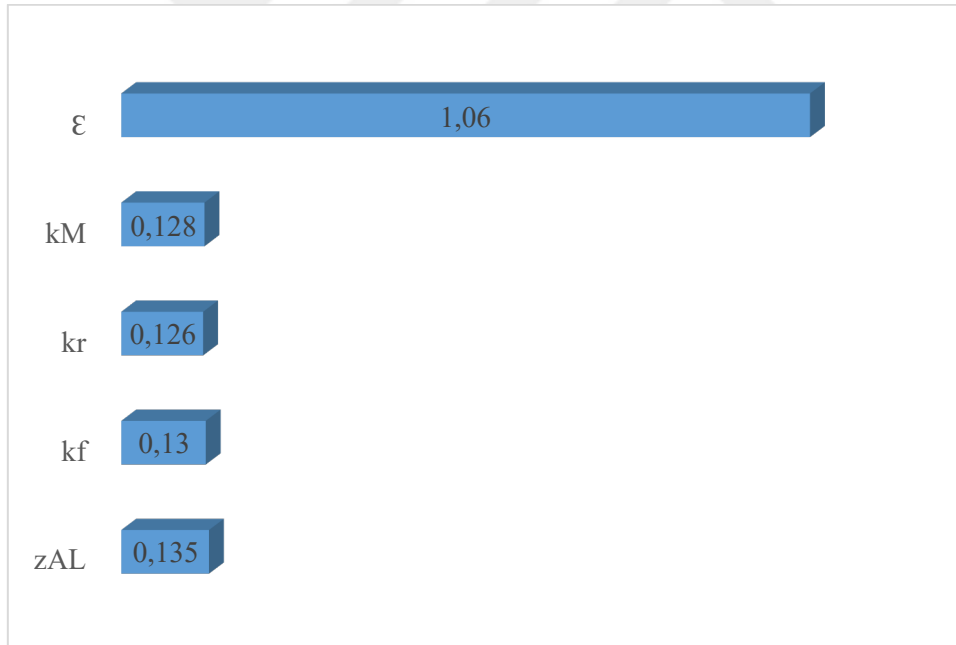


Şekil 4.3 A test aracının yüksüz kuru zemin sonuçları.

Şekil 4.3’de yüksüz araç kuru zemin sonuçları görülmektedir. Ön dingildeki kuvvet bağlantısı katsayısı k_f 0,786 arka dingildeki kuvvet bağlantısı k_r 0,508’dir. Anti-blokaj sistem aktifken aracın frenleme oranı zAL 0,602’dir. Aracın k değeri kM 0,621’dür. Aracın kullandığı kuvvet bağlantısı ϵ 0,97’dir. k_f hesabı için denklem (3.4), k_r hesabı için denklem (3.5) kullanılmıştır. zAL hesabı için denklem (3.7), kM hesabı için denklem (3.10) kullanılmalıdır. ϵ hesabı için denklem (3.13) ele alınmıştır.

4.4 A Test Aracının Yüksüz Islak Zemin Sonuçlarının İncelenmesi

Şekil 4.4’de yüksüz araç ıslak zemin sonuçları ele alınmıştır. Ön dingildeki kuvvet bağlantısı katsayısı k_f 0,13, arka dingildeki kuvvet bağlantısı k_r 0,126’dır. Anti-blokaj sistem aktifken aracın frenleme oranı zAL 0,135’dir. Aracın k değeri kM 0,128’dir. Aracın kullandığı kuvvet bağlantısı ϵ 1,06’dır.



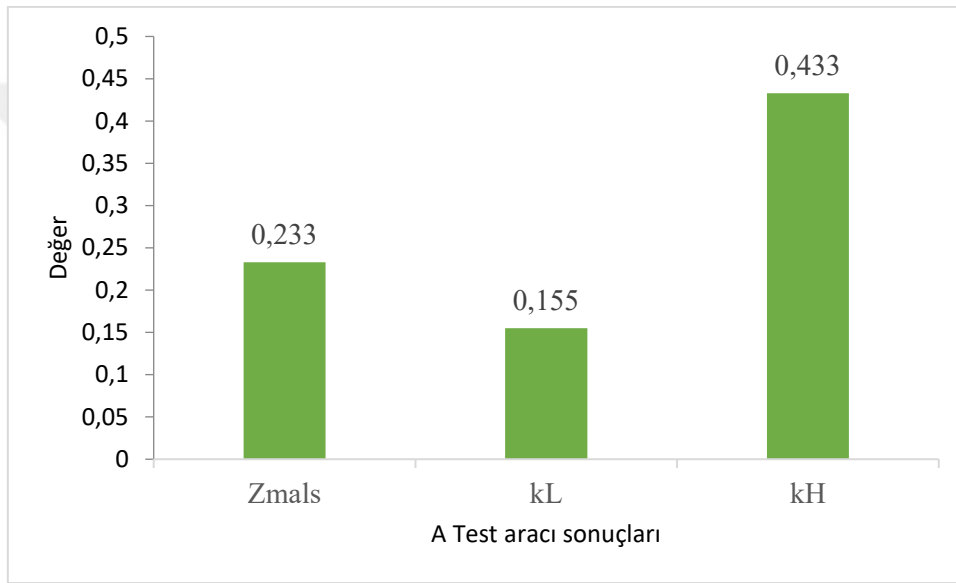
Şekil 4.4 A test aracı yüksüz araç ıslak zemin sonuçları.

k_f hesabı için denklem (3.4), k_r hesabı için denklem (3.5) kullanılmıştır. zAL hesabı için denklem (3.7), kM hesabı için denklem (3.10) göz önüne alınmıştır. ϵ hesabı için denklem (3.13) kullanılmıştır.

4.5 A Test Aracının Zmals Sonucunun İncelenmesi

Şekil 4.5’de yüklü araç Zmals sonuçları incelenmiştir. Burada Zmals 0,233, yüklü aracın ıslak zemin düşük sürtünme değeri kL 0,155, kuru zemin yüksek sürtünme değeri kH 0,433’dür.

Zmals değeri incelenirken denklem (3.15) ve denklem (3.16) kullanılmıştır. kH değeri kuru zemindeki km değeridir. kL değeri ıslak zemindeki km değeridir.

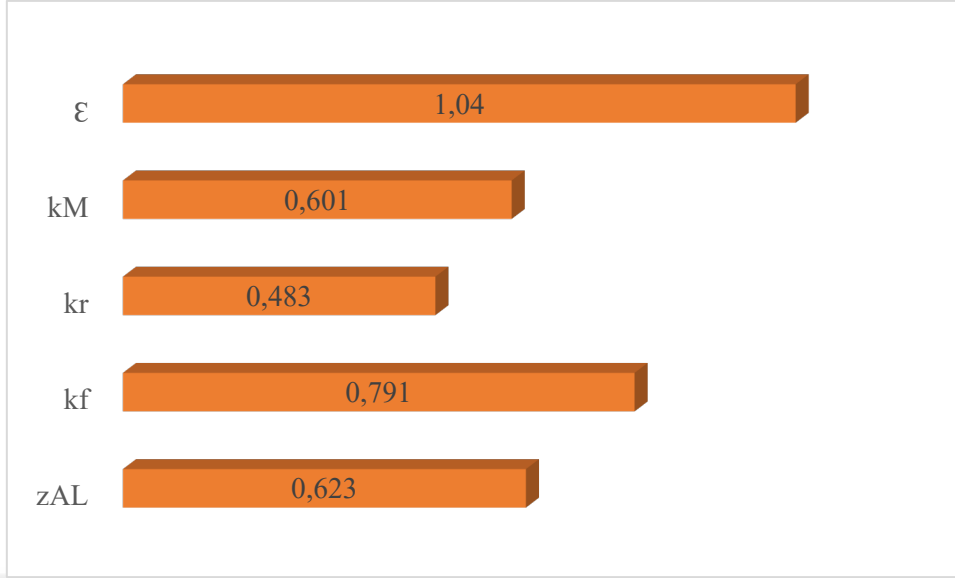


Şekil 4.5 A test aracının Zmals, kL ve kH sonuçları.

4.6 B Test Aracının Yüklü Kuru Zemin Sonuçlarının İncelenmesi

Şekil 4.6’da yüklü araç kuru zemin sonuçları görülmektedir. Ön dingildeki kuvvet bağlantısı katsayısı kf 0,791, arka dingildeki kuvvet bağlantısı kr 0,483’dür. Anti-blokaj sistem aktifken aracın frenleme oranı zAL 0,623’dür. Aracın k değeri kM 0,601’dir. Aracın kullandığı kuvvet bağlantısı ϵ 1,04’dür.

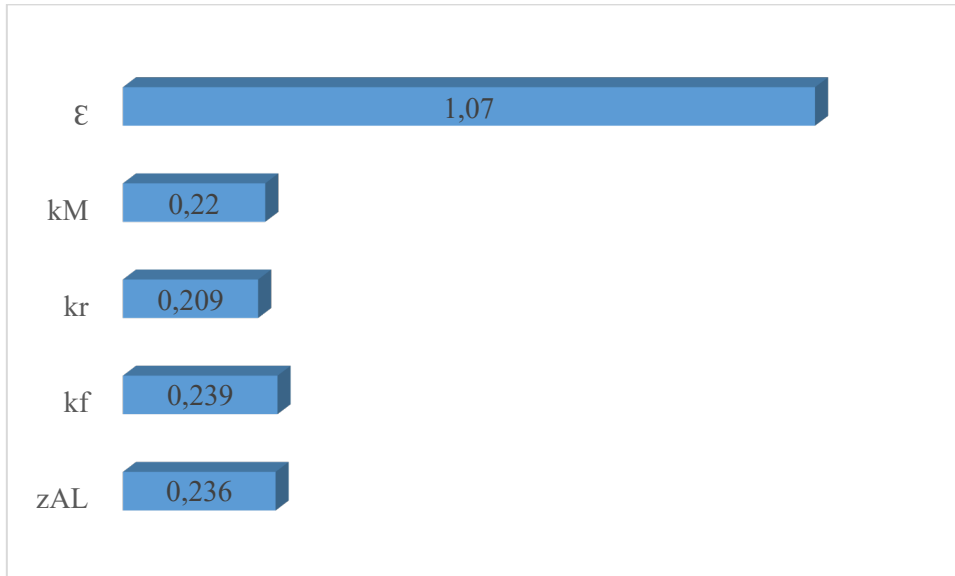
kf hesabı için denklem (3.4), kr hesabı için denklem (3.5) kullanılmıştır. zAL hesabı için denklem (3.7), kM için denklem (3.10) kullanılmıştır. ϵ hesabı için denklem (3.13) göz önüne alınmıştır.



Şekil 4.6 B test aracının yüklü kuru zemin sonuçları.

4.7 B Test Aracının Yüklü Islak Zemin Sonuçlarının İncelenmesi

Şekil 4.7’de yüklü araç ıslak zemin sonuçları görülmektedir. Ön dingildeki kuvvet bağlantısı katsayısı kf 0,239, arka dingildeki kuvvet bağlantısı kr 0,209’dur. Anti-blokaj sistem aktifken aracın frenleme oranı zAL 0,236’dır. Aracın k değeri kM 0,22’dir. Aracın kullandığı kuvvet bağlantısı ϵ 1,07’dir.

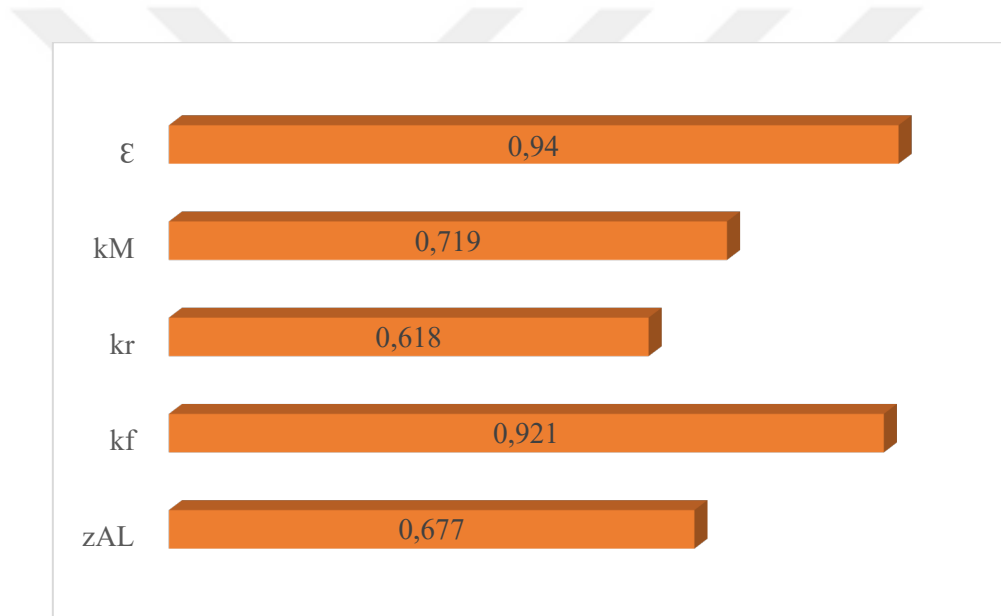


Şekil 4.7 B test aracının yüklü ıslak zemin sonuçları.

kf hesabı için denklem (3.4), kr hesabı için denklem (3.5) kullanılmıştır. zAL hesabı için denklem (3.7), kM hesabı için denklem (3.10) kullanılmıştır. ϵ hesabı için denklem (3.13) göz önüne alınmıştır.

4.8 B Test Aracının Yüksüz Kuru Zemin Sonuçlarının İncelenmesi

Şekil 4.8’de yüksüz araç kuru zemin sonuçları görülmektedir. Ön dingildeki kuvvet bağlantısı katsayısı kf 0,921, arka dingildeki kuvvet bağlantısı kr 0,618’dir. Anti-blokaj sistem aktifken aracın frenleme oranı zAL 0,677’dir. Aracın k değeri kM 0,719’dur. Aracın kullandığı kuvvet bağlantısı ϵ 0,94’dür.



Şekil 4.8 B test aracının yüksüz kuru zemin sonuçları.

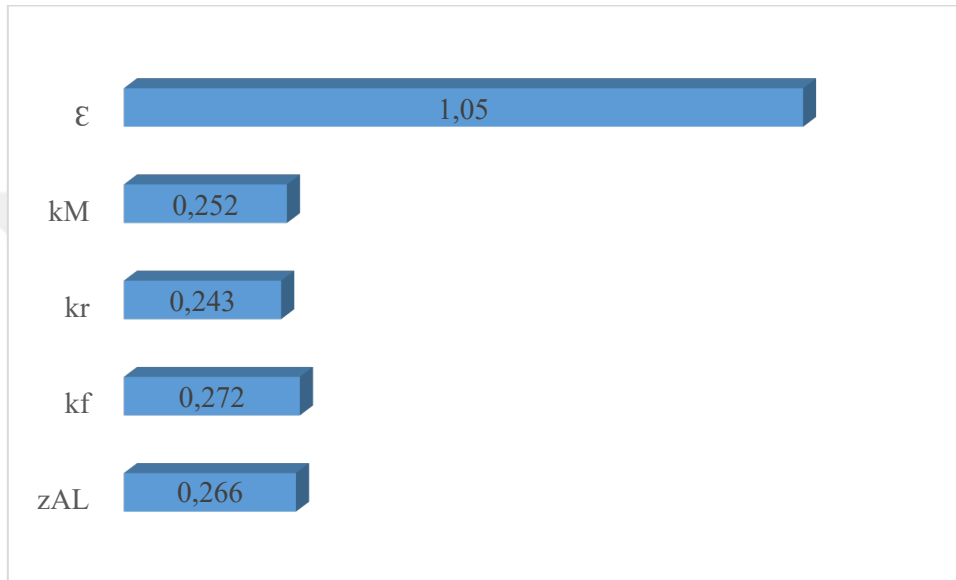
kf hesabı için denklem (3.4), kr hesabı için denklem (3.5) kullanılmıştır. zAL hesabı için denklem (3.7), kM hesabı için denklem (3.10) kullanılmıştır. ϵ hesabı için denklem (3.13) ele alınmıştır.

4.9 B Test Aracının Yüksüz Islak Zemin Sonuçlarının İncelenmesi

Şekil 4.9’da yüksüz araç ıslak zemin sonuçları görülmektedir. Ön dingildeki kuvvet bağlantısı katsayısı kf 0,272, arka dingildeki kuvvet bağlantısı kr 0,243’dür. Anti-blokaj

sistem aktifken aracın frenleme oranı zAL 0,266'dır. Aracın k değeri kM 0,252'dir. Aracın kullandığı kuvvet bağlantısı ε 1,05'dir.

k_f hesabı için denklem (3.4), k_r hesabı için denklem (3.5) kullanılmıştır. zAL hesabı için denklem (3.7), kM hesabı için denklem (3.10) kullanılmalıdır. ε hesabı için denklem (3.13) göz önüne alınmıştır.

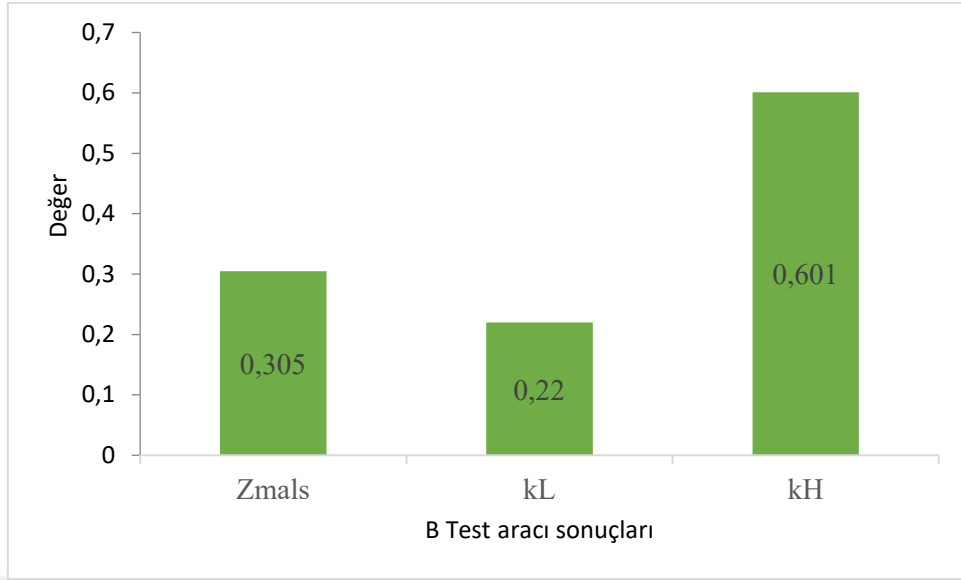


Şekil 4.9 B test aracı yüksüz araç ıslak zemin sonuçları.

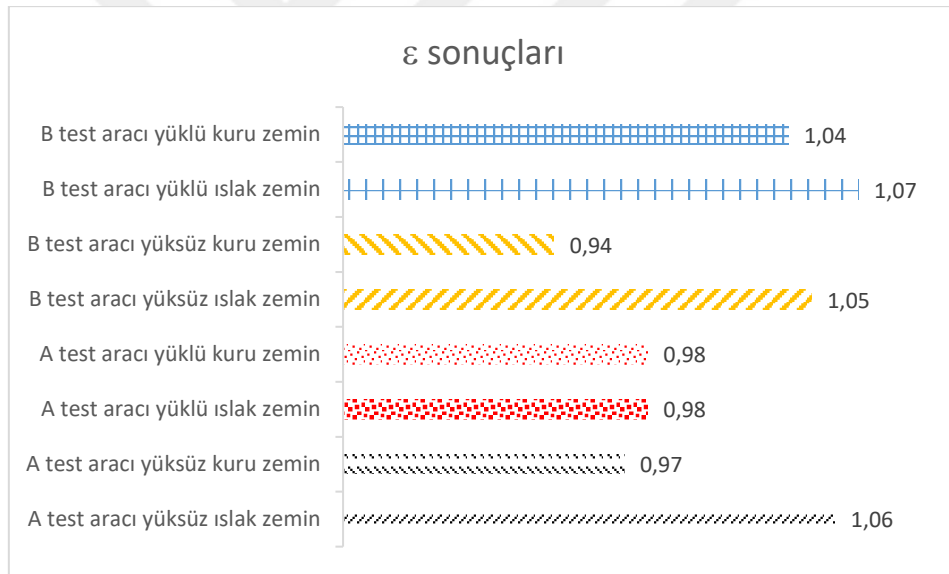
4.10 B Test Aracının Zmals Sonucunun İncelenmesi

Şekil 4.10'da yüklü araç Zmals sonuçları incelenmiştir. Burada Zmals 0,305, yüklü aracın ıslak zemin düşük sürtünme değeri kL 0,22'dir. Kuru zemin yüksek sürtünme değeri kH 0,601'dir. Zmals değeri incelenirken denklem (3.15) ve denklem (3.16) kullanılmıştır. kH değeri kuru zemindeki kM değeridir. kL değeri ıslak zemindeki km değeridir.

Şekil 4.11 de A test aracı ile B test aracının ε sonuçları gösterilmiştir. A test aracı ile B test araçlarının ε değerleri azami yüklü ağırlıklarda ve araç yüksüz ağırlıklarında alınmıştır. Ayrıca Zmals değerleri araçların azami yüklü ağırlıklarında yapılmıştır.



Şekil 4.10 B test aracının Zmals, kL ve kH sonuçları.



Şekil 4.11 A ve B test aracının ϵ sonuçlarının karşılaştırılması.

Çizelge 4.1 de A ve B test araçlarının ϵ değişimleri görülmektedir. A test aracının kuru zemin yüklü ve yüksüz ϵ değerlerinin yüzde değişimi 0,01 dir. Islak zemin yüklü ve yüksüz ϵ değerlerinin yüzde değişimi 0,075 dir. B test aracının ϵ değişimleri, kuru zemin yüklü ve yüksüz ϵ değerlerinin yüzde değişimi 0,096 dır. Islak zemin yüklü ve yüksüz ϵ değerlerinin yüzde değişimi 0,0186 dır. A aracı için en fazla değişim ıslak zeminde, B aracı için de en fazla değişim kuru zemindedir. A aracında kayda değer bir

değişim olmamakla birlikte B aracında taşıtın ağırlığının ve boyutlarının büyük olması nedeniyle değişimin daha çok olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.1 Test araçlarının ε değişimleri

Test Araçları	ε	Değişim (%)
A test aracı yüklü kuru zemin	0,98	0,01
A Test aracı yüksüz kuru zemin	0,97	
A Test aracı yüklü ıslak zemin	0,98	0,075
A Test aracı yüksüz ıslak zemin	1,06	
B test aracı yüklü kuru zemin	1,04	0,096
B test aracı yüksüz kuru zemin	0,94	
B test aracı yüklü ıslak zemin	1,07	0,0186
B test aracı yüksüz ıslak zemin	1,05	

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada, elektrikli bir araç ile dizel bir aracın ABS test sonuçları ele alınmıştır. Test ve değerlendirmeler ile araç üzerindeki ABS performanslarının incelemesi yapılmıştır.

Çalışmadaki temel amaç ABS testlerinin test metodolojisi ile ilgili bilgiler verip, BM AEK R13 regülasyonuna göre yapılan deneylerin fren sistemine olan etkilerini incelemektir.

Yapılan değerlendirmeler BM AEK R13 regülasyonuna göre, ABS fren performansları ile ilgili regülasyonun ek 13'üne göre belirlenebilmektedir. Yapılan deneyler araç üreticilerin tip onayı için gerekli olan fren testlerini araç üzerinde uygulamak ve aynı zamanda fren komponent üreticilerinin komponent deneylerinde de yapılan çalışmada komponentin araç üzerindeki karakteristiklerle uyumluluğunu belirlemektir.

Durma mesafesi fren sistemindeki performansını etkileyen tüm faktörleri etkilemektedir. Frenleme esnasında frenleme kuvveti yüklü ve yüksüz olarak yapılan deneylerde değişim gözlenmiştir.

Yapılan deneylerde frenleme mesafesi ABS deneylerinde t saniyelerine göre belirlenmektedir. Deneylerde kullanılan araçlar azami yüklü ağırlığı yükseltilecek ve elektrikli bir araca ikinci aşama tadilatı yapılan otobüs sınıfında bir araç ile M₃ kategori dizel bir otobüstür. Yapılan tip onay testlerinde ikinci aşama olarak değerlendirilen A aracı azami yüklü ağırlığı arttırdığı ve aynı zamanda elektrikli bir araca dönüştürüldüğü için, B aracı ise yeni bir tip onayına ihtiyaç olduğu için fren testleri gerçekleştirilmiştir.

A test aracında pedal kuvvetlerinin sürücünün kilitlenmeye en yakın optimum pedal kuvvetinde gerçekleşmesi testler esnasında sürücünün sürüş kabiliyetinin de önemini ortaya koymaktadır. Optimum pedal kuvveti belirlenirken kilitlenmeye en yakın pedal kuvveti tüm akslar için belirlenmiştir ve bu pedal kuvveti referans alınarak deneyler gerçekleştirilmiştir.

B test aracında Resim 3.7 de gösterilen kabin içerisinde dingillere istenilen basınçlarda fren yaptırma düzeneği kullanılmış olup, testler her bir tekerleğe kilitlenmeye en yakın basınçları belirleyerek gerçekleştirilmiştir.

Yapılan ABS deneylerinde ϵ 0,75 ile 1,1 arasında olması regülasyon gereği zorunludur. Aynı zamanda ϵ 'un 1'e yakın olması veya 1 olması çok dengeli frenlemenin olduğunu göstermektedir. Deneylerde kullanılan A test aracında yüksüz ve yüklü testlerde ϵ değerleri alınmış olup, ϵ yüksüz araç ıslak pistte 1,06 gelmiş olup, yüksüz araç kuru pistte 0,97 olarak elde edilmiştir. ϵ sınır değerinin 1,1 olması sebebiyle araç deneyleri başarı ile tamamlamıştır. Yüklü araç test sonuçları incelendiğinde yüklü araç ϵ değeri ıslak ve kuru pistte 0,98 sağlanmıştır.

Testlerde kullanılan B aracı ϵ değeri incelendiğinde yüklü araç ıslak pistte 1,07 olarak elde edilmiş, yüklü araç kuru pistte 1,04 olarak bulunmuştur. Yüksüz araç test sonuçları incelendiğinde yüksüz araç ϵ değeri ıslak pistte 1,05 gelmiş olup, kuru zeminde 0,94 olarak belirlenmiştir.

Testlerde gerçekleştirilen ve aynı zamanda yapılan çalışmada çizelge ve bulgulardaki grafiklerde belirtilen ıslak zemin ifadesi düşük sürtünmeli yüzeyi, kuru zemin ifadesi ise yüksek sürtünmeli yüzeyi ifade etmektedir.

A test aracı ve B test aracı için gerçekleştirilen μ split testlerinde Z_{mals} değerlerinin kontrolü sadece yüklü vaziyette gerçekleştirilmiştir. ABS testlerinde ϵ 0,75 ile 1,1 arasında olmasının yanı sıra Z_{mals} kontrolünün de (3.15) ve (3.16) denklemlerindeki bağıntıları karşılaması gerekmektedir. Z_{mals} değeri bölünmüş yüzeydeki frenleme oranını ifade etmektedir.

A aracı için Z_{mals} kontrolü yapıldığında, Z_{mals} yapılan testlerde 0,233 elde edilmiştir. Z_{mals} için (3.15) denkleminde k_L düşük sürtünme katsayılı yüzeyin katsayısı 0,155 hesaplanmış olup, yüksek sürtünme katsayılı yüzeyin katsayısı 0,433 olarak belirlenmiştir. Denklem (3.16) da gösterildiği gibi Z_{mals} 'in k_L 'den büyük olma zorunluluğu vardır. Z_{mals} her iki denklemde de gerekliliği karşılamaktadır.

B aracı için Z_{mals} kontrolü yapıldığında, Z_{mals} yapılan testlerde 0,305 olarak elde edilmiştir. Z_{mals} için (3.15) denkleminde k_L düşük sürtünme katsayılı yüzeyin katsayısı 0,22 hesaplanmış olup, yüksek sürtünme katsayılı yüzeyin katsayısı 0,601 belirlenmiştir. Denklem (3.16) da gösterildiği gibi Z_{mals} 'in k_L 'den büyük olma zorunluluğu vardır. Z_{mals} her iki denklemde de gerekliliği karşılamaktadır.

Yapılan çalışma ABS'nin frenleme oranına olan önemini de vurgulamaktadır. ABS deneylerinde frenleme kuvvetinin çok fazla veya frenleme kuvvetinin çok az olması istenmemektedir.

ABS deneylerinde ölçülen değerler regülasyonlar da belirtilen bir aralık içerisinde olması frenleme kuvveti açısından önem arz etmektedir. Yapılan testlerde görüldüğü gibi ölçülen ABS değerleri üreticiye fren onayı verilebileceğini göstermektedir. ϵ 'un 0,75 ile 1,1 arasında olması üreticilere fren onayı verilebileceğini kanıtlamaktadır. Homologasyon da asıl amaç, sürüş güvenliği olduğundan dolayı üreticiye deney sonuçları aynı zamanda uygun frenlemenin sonuçlarını da göstererek güvenli frenlemenin olduğunu göstermektedir.

6. KAYNAKLAR

- Altıparmak D, Koca A, 2001, Taşıtlarda Tekerlek Kilitlenmesi ve Kaymasının Durma Mesafesi ve Kararlılığa Etkisi. Teknoloji Dergisi, Sayı 1-2, 47-58.
- Anonim, 2003, VOSA Technical Services September 2003, Swansea
- Anonim, 2010, Sonradan ABS Takılmış Minibüslere Fren Test Raporu Verilmesi, Frenteknik, İstanbul.
- Bayrakçeken H, Düzgün M, 2005, Taşıtlarda Fren Verimi ve Frenleme Mesafesi Analizi, Politeknik Dergisi, 8, 153-160.
- Belirli Motorlu Araç Sınıflarının ve Römorklarının Frenleme Düzenekleri İle İlgili Tip Onayı Yönetmeliği, Ankara, 2005, Resmi Gazete, 9 Şubat 2005, 25722.
- BM/AEK R121 Motorlu Araçların El Kontrolleri İkaz ve Göstergelerinin Yeri ve Tanımlanması Konusunda Tip Onayı Yönetmeliği, 2006, UNECE, 18.01.2006
- BM/AEK R13 M,N ve O Kategorisi Araçların Frenleri Hususunda Onayı İle İlgili Teknik Düzenleme,2023,UNECE,15.06.2023
- Dousti M, 2010, ABS Fren Dinamiği İçin Çoklu Model Geçişli Kontrolcü Ve Gözlemci Tasarımı, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 136s, Ankara.
- Düzgün M, 2009, Farklı ABS (Anti-Lock Brake System) Fren Sistemlerinin Performansının Belirlenmesine Yönelik Test Metodolojisinin Geliştirilmesi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 277s, Ankara
- Eken Ö, 2011, Ticari Araçlarda Frenleme Dinamiği ECE Regülasyonlar Kapsamında Test Ayrıntıları, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 104s, İstanbul.
- Güler A, 2002, Araç İmalatında Homologasyon Kavramı ve Türkiye'deki Uygulaması, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 197s, İstanbul.
- Koylu H, Tural E, 2021, Experimental study on braking and stability performance

during low speed braking with ABS under critical road conditions, Engineering Science and Technology an International Journal, 24, 1224-1238.

Kurt M, Marshek, Jerry F. Cuderman II, Mark J. Johnson, 2002, Performance of Anti-Lock Braking System Equipped Passenger Vehicles – Part I: Braking as a Function of Brake Pedal Application Force SAE World Congress, Technical Paper Series 2002-01-0306 Detroit, Michigan, 4-7.

Lambourn R.F, 1994, Braking and Cornering Effects with and without Anti-Lock Brakes, Accident Reconstruction: Technology and Animation IV Society of Automotive Engineers SAE, (940723):155-162.

Lök A, 1980, Üçüncü Dingil Fren Projesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Bitirme Ödevi, 44s, İstanbul.

McKinlay A J, 2007, The phenomenon of vehicle park brake rollaway, The University of Leeds School of Mechanical Engineering, Doctor thesis, 250s, Leeds.

Öncel Y, 2020, Fren Diskinin FEA(SEA) Analizi, İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 88s, İstanbul.

Sugai M, Yamaguchi Y, Miyashita M, Unemo T, Asano K, 1999, New Control Technique For Maximizing Braking Force On Antilock Braking System, Vehicle System Dynamics, 32-299-312.

Tural E, 2016, Lastik Basıncının ABS Fren Performansına Etkisinin İncelenmesi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 118s, Kocaeli.

Yasui Y, Nitta, H, Yoshida T, Hosome T, Kawamura K, 2000, Experimental Approach for Evaluating Tire Characteristics and ABS Performance, Society of Automotive Engineers SAE 200 World Congress, Detroit, Michigan SAE Technical Paper Series 2000-01-0110:3-12.

Yavuzaslan N, 2006, Otomobillerde Fren Sistemleri ve İncelenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 169s, İstanbul.

İnternet Kaynakları

- 1- <http://www.otoguncel.com/teknik-bilgiler/ana-servisayak-freninedir/> , 25.11.2023
- 2- https://tr.wikipedia.org/wiki/Disk_fren , 25.11.2023
- 3- https://tr.wikipedia.org/wiki/Kampanal%C4%B1_fren , 25.11.2023
- 4- <https://www.theengineerspost.com/braking-system/> , 26.11.2023
- 5- <https://tr.wikipedia.org/wiki/Homologasyon> , 25.11.2023
- 6- <https://www.turkloydu.org/tr-tr/sertifikasyon/malzeme-ve-urun-sertifikasyonu>, 25.11.2023

