



## Sabit fren test sistemlerinde ileri fren hatalarını belirleyebilecek bir arayüzün geliştirilmesi

### Developing of a software for determining advanced brake failures in brakes test bench

Hakan KÖYLÜ<sup>1\*</sup>, Ersin TURAL<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye.  
hkoylu@kocaeli.edu.tr, ersin.tural@kocaeli.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 23.03.2015, Kabul Tarihi/Accepted: 02.02.2016  
\* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2016.90692  
Araştırma Makalesi/Research Article

#### Öz

Günümüzde kullanılan sabit fren test sistemleri, ön aks veya arka aksa ait süspansiyon ve fren ölçümlerini yaparak ölçüm sonuçlarını tek aks üzerinden değerlendirmektedir. Bu fren test sistemlerinin amacı, tek aksın sağ veya sol tekerleklerin fren kuvveti ve amortisör sönümleme katsayısı simetri durumunu, değerlendirmektir. Böylece, bu sistem süspansiyon sistemi, servis ve el fren sistemi performansını ön ve arka aks tekerleklerinin simetrikliğini ayrı ayrı göz önüne alarak değerlendirmektedir. Bu nedenle, ön ve arka aksın sağ ve sol tekerleklerinin uyguladıkları farklı fren ve sönümleme kuvvetlerinin, tüm taşıtın frenleme performansına etkileri ve diğer fren hatalarını test sisteminin mevcut algoritması ile belirlelenememektedir. Bu çalışmada, sabit fren test sistemlerinin ölçüm sonuçlarını kullanarak bu fren hatalarını ortaya çıkarabilecek bir arayüz geliştirilmiştir. Bu arayüz, tek aks ölçüm sonuçlarını kullanarak ön ve arka aks arasındaki fren etkileşimini belirleyen fren ve süspansiyon parametrelerinin elde edilmesini sağlayan algoritmaya sahiptir. Bu algoritma aynı zamanda parametre değişimlerini verilen kurallar ile karşılaştırarak uygun uyarılar verebilmektedir. Algoritmanın performansını belirleyebilmek için üç farklı test taşıtının fren ve süspansiyon testleri, sabit fren test sistemi ile gerçekleştirilmiştir. Fren test sonuçları arayüze aktarılarak, aks etkileşimine dayalı parametreler hesaplanmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, geliştirilen arayüz sayesinde fren ve süspansiyon hatalarının hem aksın hem de tüm taşıtın frenleme performansına etkileri belirlenebilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Fren test sistemi, Fren hatası, Arayüz

#### Abstract

At present time, the brake test bench conducts the braking and suspension tests of front or rear axles and the test results are evaluated through one axle. The purpose of the brake testing system is to determine braking force and damping coefficient dissymmetry of one axle. Thus, this test system evaluates the performance of service brake, hand brake and suspension systems by considering separately front and rear axle dissymmetry. For this reason, the effects of different braking and damping forces applied by right and left wheels of both axles on braking performance of all vehicle are not determined due to available algorithm of the test bench. Also, the other brake failures are not occurred due to the algorithm of brake test system. In this study, the interface has been developed to determine the other effects of dissymmetry and the other brake failures by using the one axle results of brake test bench. The interface has algorithm computing the parameters according to the interaction between front and rear axles by only using measured test results. Also, it gives the warnings by comparing changes in the parameters with braking performance rules. Braking and suspension tests of three different vehicles have been conducted by using brake test bench to determine the performance of the algorithm. Parameters based on the axle interaction have been calculated by transferring brake test results to the interface and the test results have been evaluated. As a result, the effects of brake and suspension failures on braking performance of both axle and vehicle have been determined thanks to the developed interface.

**Keywords:** Brake test system, Brake failure, Interface

## 1 Giriş

Taşıtlarda kaza öncesi ve kaza sonrası sürücü güvenliğini sağlayan birçok güvenlik sistemi bulunmaktadır. Bunlara aktif ve pasif güvenlik sistemleri adı verilmektedir. Bunlardan aktif olanlar kazayı önleyenler, pasif olanlar ise kaza sırasında taşıtta bulunanların güvenliğini sağlayan sistemleridir. Kaza olmadan önce sürücünün ilk müdahale aracı olması nedeniyle en önemli aktif güvenlik sistemi fren sistemidir. Bu nedenle, fren sistemlerinin performansının uygun araçlar ile doğru bir şekilde ölçülmesi gerekmektedir [1]. Starks ve diğ. iyi bir frenleme performansının taşıtın sürüş güvenliği için oldukça önemli olduğunu ve bunun için fren performansının iyi ölçülmesi gerektiğini vurgulamışlardır [2]. Bu şekilde fren hataları ortaya çıkarılabilecek ve frenleme performansının sürekliliği sağlanabilecektir. Fren hata teşhisinin önemini vurgulamak için Limpert fren hatalarının oluşan kazalarının %2'sini teşkil ettiğini ifade etmiştir [3]. Straky ve diğ. fren hatalarının, fren zayıflamasına ve tekerleğin kilitlenmesine neden olduğundan taşıtın dinamiğini de etkilediğini

vurgulamıştır [4]. Fren hatalarının performansa etkileri, fren devresinin herhangi bir noktasında küçük seviyede hidrolik sıvı kaybı, fren devresinde küçük kalıcal çatlaklarda hava ve su girmesi gibi gözle görülemeyen durumlarda da ortaya çıkmaktadır.

Fren sistemlerindeki bu tip hataların, frenleme performansına etkilerini ortaya çıkarmak için birçok parametre göz önüne alınmış ve bu parametrelere göre test metotları ve yazılımlar geliştirilmiştir. Test metotları geliştirmek için genellikle testlerde ölçülen fren kuvveti, fren gücü ve fren momenti gibi fren parametreleri kullanılmaktadır. Kang ve diğ. çalışmalarında frenleme performansındaki değişimi belirlemek için fren disk kalınlığında, fren balatasının sertliğinde, fren disk çapında ve fren balatası ile fren diski arasındaki sürtünme katsayısında meydana gelen değişimlerin fren momentine etkilerini incelemiştir. Bu çalışmada fren momentindeki değişimleri, sabit fren test sisteminde ölçülen fren kuvvetleri ile elde etmişlerdir [5]. Dunlap ve diğ. fren performansındaki değişimleri belirlemek için frenleme anında ortaya çıkan düşük frekanslı fren gürültüsü ile düşük ve yüksek frekanslı fren ötme

esnasındaki değişimleri incelemiştir. Düşük frekanslı gürültünün, fren diski ve fren balata yüzeyindeki bozulmalardan, düşük frekanslı ötme sesinin fren sistemi elemanlarının titreşimlerinden ve yüksek frekanslı ötme sesinin de sabit fren elemanlarının titreşim frekansı ile fren diskinin dönme frekansının çakışması ile ortaya çıktığını ifade etmişlerdir [6]. Matsuzaki ve diğ. fren diskinin boylamsal doğrultudaki titreşim ile fren hatalarını belirlemiştir [7]. Börner ve diğ. çalışmalarında fren ana merkezinin piston geri getirme yayındaki zayıflamanın fren performansına etkilerini belirlemek için model tabanlı bir tahmin sistemi geliştirmiştir. Bunun için fren testinde ölçülen parametrelerin oto spektrumlarını göz önüne almışlardır. Bu metotta kurulan matematiksel model, ideal parametre değerinin belirlenmesi için kullanılmıştır [8]. Jegadeeshwaran, iyi ve kötü şartlarda çalışan fren sisteminden ölçülen titreşim sinyallerine istatistiksel metotlar uygulayıp bunları birbiri ile karşılaştırarak fren sistemi hatlarını ortaya çıkarmışlardır [9].

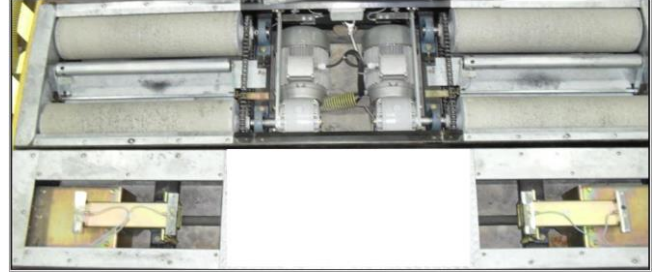
Literatür çalışması, birçok nedenden dolayı frenleme performansında meydana gelen kötüleşmelerin ve buna bağlı olarak fren arızalarının, fren parametreleri arasındaki etkileşim ile çok farklı metotlar kullanılarak ortaya çıkarılabildiğini açık bir şekilde göstermektedir. Aynı zamanda, birçok çalışmada istenilen fren davranışını sabit fren test sistemi ile belirlemek için ek ölçümler gerçekleştirildiği ifade edilmiştir. Bunun nedeni, sabit fren test sistemleri ile verilerin tek akstan ölçülmesi ve aynı zamanda ön ve arka fren parametreleri arasındaki etkileşimin göz ardı edilmesidir. Çünkü sabit fren test sistemleri, ticari amaçlı olarak üretildiğinden bu test cihazlarında detaylı fren analizi düşünülmemiş bu nedenle bu cihazların algoritması, her aksı tek başına ayrı ayrı değerlendirecek şekilde basitleştirilmiştir.

Bu çalışmada sabit fren test sistemlerinde ölçülen ön ve arka aksa ait test verilerini kullanan ve bu veriler arasındaki etkileşim ile tam taşıt fren performansının değerlendirilmesini sağlayan arayüz tasarlanmıştır. Bu arayüz, Microsoft Visual Studio programı kullanılarak geliştirilmiştir. Bu arayüzün en önemli özelliği, fren performansını, ön ve arka aksın fren ve süspansiyon verileri arasındaki etkileşime dayalı olarak tüm taşıtın fren analizinin gerçekleştirilmesini sağlamasıdır. Bu etkileşimi sağlamak için ön ve arka aks fren kuvvetlerinden elde edilen frenleme ivmesinin neden olacağı ön ve arka dinamik aks yükleri hesaplanmış ve bu değerler tutunma katsayısı gibi parametrelere yansıtılmıştır.

Geliştirilen algoritmanın önemli bir özelliği, herhangi bir ek donanım ihtiyaç duymaması ve sadece mevcut test sisteminin ön ve arka akstan ölçülen fren ve süspansiyon test sonuçlarını kullanmasıdır. Bu algoritmanın diğer bir önemi de yol üzerinde gerçekleştirilen fren testlerine olan ihtiyacı azaltabileceği gibi bu testlerin getireceği maliyeti de düşürebilecektir. Çünkü, bu algoritma sayesinde yol testlerinde elde edilebilecek birçok parametre elde edilebilmektedir.

## 2 Sabit fren test sistemi

Arayüzün algoritmasını tasarlamak için Şekil 1'de görülen CEMB DCA 3 fren ve süspansiyon test sistemi kullanılmıştır. Şekil 1'de görüldüğü gibi bu test sistemi iki farklı test ortamından oluşmaktadır. Bunlar, süspansiyon ve fren test sistemleridir. Böylece, fren kuvveti, fren tesir gücü, tekerlek yükü, yol teması ve tutunma katsayısı gibi fren ve süspansiyon sistemlerinin performans parametreleri birlikte ve eş zamanlı ölçülebilmektedir.



Şekil 1: Fren ile süspansiyon test sisteminin genel görünüşü.

Süspansiyon sisteminin genel özellikleri ve ölçülen parametreler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Süspansiyon test sistemi genel özellikleri ve ölçülen parametreler.

Genel özellikler	
Palet üzerine etkiyecek maks. yük	25000 N
Güç tüketimi	2200 W
Salınım frekans aralığı	3-25 Hz
Düşey salınım genliği	6 mm
Paletlerin toplam ağırlığı	280 kg
Ölçülen parametreler	
Aks Ağırlığı [N]	
Toplam Aks Ağırlığı [N]	
Yol Teması [%]	
Amortisör Sönümlenme Oranı [ ]	

Süspansiyon test sistemi ile Tablo 1'de görüldüğü gibi sağ ve sol lastikler ile yol arasındaki temas ve sağ-sol amortisörlerin sönümlenme oranları ölçülmektedir. Yol teması  $S$  ölçülen minimum düşey yük  $F_{z,min}$  ile tekerleğin statik yükü  $F_{z,st}$  arasındaki oran ile Denklem (1) deki gibi elde edilmektedir [3].

$$S[\%] = \frac{F_{z,min}}{F_{z,st}} \times 100 \quad (1)$$

Buradaki minimum düşey yük, yaysız (aks ve tekerlek) kütleleri rezonansa maruz kaldığı anda ölçülen tekerlek yükünü ifade etmektedir. Sönümlenme oranı ise en yüksek frekansta palete uygulanan referans genliği  $A$ 'nın ölçülen maksimum genlik  $A_{max}$ 'a oranı olarak aşağıdaki gibi ifade edilmektedir [10].

$$\text{Sönümlenme oranı} = \frac{A}{A_{max}} \quad (2)$$

Fren test sisteminin genel özellikleri ve ölçülen parametreler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2: Fren sistemi genel özellikleri ve ölçülen parametreler.

Genel özellikler	
Ölçülebilecek max. aks ağırlığı	25000 N
Maksimum aks ağırlığı	40000 N
Ölçülebilen maksimum fren kuvveti	6000 N
Güç tüketimi	11000 W
Rulo dönme hızı	> 5 km/sa
Rulo yüzeyi aderans değeri	>0.7
Rulo çapı	200 mm
Servis ve el freni için ölçülen parametreler	
Fren disk sıklığı [%]	
Disk ovalliği [%]	
Maksimum fren kuvveti [N]	
Maksimum fren gücü [N ]	
Fren tesir gücü [%]	
Acil fren tesir gücü [%]	
Kullanılan yol teması [%]	

Tablo 1 ve 2'de görülen parametreler, taşıtın tüm tekerlekleri için ayrı ayrı ölçülmekte olup aynı aks tekerleklerin parametreleri eş zamanlı olarak ölçülmektedir.

### 3 Arayüz algoritmasının geliştirilmesi

Arayüz algoritmasını oluşturmak için ilk önce süspansiyon ve fren test sistemi ile ölçülen sonuçlar kullanılmıştır. Bunun için markaları Honda Civic, Renault Safrane ve Toyota Auris olan üç farklı test taşıtı kullanılmıştır. Bu çalışmada, bu taşıtlar sırasıyla Test Taşıtı 1, Test Taşıtı 2 ve Test Taşıtı 3 olarak isimlendirilmektedir. Test taşıtlarına ait süspansiyon ve fren sistemi genel özellikleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3: Test taşıtları genel özellikleri.

	Test taşıtı 1	Test taşıtı 2	Test taşıtı 3
Ön süspansiyon tipi	Macpherson	Macpherson	Macpherson
Arka süspansiyon tipi	Bağımsız	Burulma kırıklı	Burulma kırıklı
Fren devresi	Çapraz	Çapraz	Çapraz
Ön fren sistemi tipi	Diskli	Diskli	Diskli
Arka fren sistemi tipi	Kampanalı	Diskli	Diskli
El fren sistemi tipi	El kumandalı	El kumandalı	El kumandalı

Tablo 3'te görüldüğü gibi tüm test taşıtlarına ait süspansiyon ve fren sistemleri aynı özelliklere sahiptir. Bu test taşıtlarının fren performans karşılaştırmasını uygun hale getirmektedir. Test taşıtları ile yapılan ölçümlerden elde edilen sonuçlar Tablo 4'te

verilmiştir.

Tablo 4'te görüldüğü gibi fren ve süspansiyon test sisteminde elde edilen tüm veriler, aynı aksın sağ-sol tekerlekler uygulanan fren kuvveti ve fren gücü arasındaki dengenin yanında sağ-sol amortisörlerin sönümleme özellikleri arasındaki dengenin belirlenmesini de sağlamaktadır. Bu şekilde, süspansiyon ve frenleme performansı akslara göre belirlenmektedir. Bu test sistemlerinin algoritmaları, ön ve arka aks test sonuçları arasındaki etkileşimi göz ardı ettiğinden dolayı detaylı fren performansı analizi bu test cihazlarında yapılamamaktadır. Bunun için bu çalışmada sabit fren test sistemine entegre edilebilen bir arayüz tasarlanmıştır. Bu arayüz ile sabit fren test sisteminde ölçülen veriler kullanılmakta, bu verileri kullanarak akslar arasındaki etkileşimi belirleyen parametreler hesaplanabilmekte ve bu parametrelerdeki değişime göre kullanıcıya uyarılar verilebilmektedir.

#### 3.1 Arayüzün tasarlanması

Arayüzü oluşturan algoritma üç farklı birimden oluşmaktadır. Bunlar, taşıt veri giriş birimi, veri hesaplama birimi ve uyarı birimleridir.

##### 3.1.1 Veri giriş biriminin tanıtılması

Bunların ilki, Şekil 2'de görüldüğü gibi Tablo 4'te verilmiş olan taşıtın fiziki verileri ile fren ve süspansiyon test sonuçlarının girilmesini sağlamaktadır.

The screenshot shows a software window titled 'Hesaplama' with three tabs: 'Taşıt Veri Girişleri', 'Hesaplama Sonuçları', and 'Uyarılar'. The 'Taşıt Veri Girişleri' tab is active and contains three main sections of input fields:

- Araç Verileri:** Toplam Taşıt Kütlesi [kg], Ön Aks Sol Tek. Üz. Taşıt Kütlesi [kg], Ön Aks Sağ Tek. Üz. Taşıt Küt. [kg], Arka Aks Sol Tek. Üz. Taşıt Küt. [kg], Arka Aks Sağ Tek. Üz. Taşıt Küt. [kg], Dingil Mesafesi [m], Ağırlık Merkezi Yüksekliği [m], Etkin Tek. Yan Çapı [m].
- Fren Test Cihazı İle Ölçülen Değerler:** Servis Freni Fiziki Durum Verileri (Ön Aks Fre. Disk Sık. Farkı [%], Arka Aks Fre. Disk Sık. Farkı [%], Ön Aks Ovalisasyon Değeri [%], Arka Aks Ovalisasyon Değeri [%]), Servis Freni Frenleme Verileri (Ön Aks Max. Fren Kuvveti [N], Ön Aks Sağ-Sol Fren Kuv. Farkı [%], Arka Aks Max. Fren Kuvveti [N], Arka Aks Sağ-Sol Fren Kuv. Farkı [%], Ön Aks Max. Fren Gücü [N], Ön Aks Sağ-Sol Fren Güç Farkı [%], Arka Aks Max. Fren Gücü [N], Arka Aks Sağ-Sol Fren Güç Farkı [%]), Fren Tesir Gücü [%], Acil Fren Tesir Gücü [%].
- Fren Test Cihazı İle Ölçülen El Freni Değerleri:** Max. Fren Kuvveti [N], Sağ-Sol Fr. Kuv. Farkı [%], Max. Fren Gücü, Sağ-Sol Fr. Güç Farkı [%], Kullanılan Yol Teması, Fren Tesir Gücü.

At the bottom right, there are three buttons: 'Hesapla', 'Sil', and 'Çıkış'.

Şekil 2: Tasarlanan arayüzün veri giriş birimi.

Şekil 2’de verilen veri girişi biriminin ilk bölümünde olan toplam taşıt kütlelerinin dışında tüm veriler taşıtın fiziksel verileri ile ölçüm sonuçlarını ifade etmektedir. Toplam taşıt kütleleri, Denklem (6) ile elde edilmiştir.

$$M_T = M_F + M_R \quad (3)$$

$M_F$  ve  $M_R$  sırasıyla ön ve arka aksların ölçülen toplam kütlelerini ifade etmektedir. Ölçülen parametreler aşağıdaki gibidir.

Tablo 4: Test taşıtları genel özellikleri

	SÜSPANSİYON SİSTEMİ		
	Test taşıtı 1	Test taşıtı 2	Test taşıtı 3
Ön Aks Ağırlığı	661 kg	1022 kg	898 kg
Arka Aks Ağırlığı	426 kg	597 kg	514 kg
Toplam Aks Ağırlığı	1087 kg	1619 kg	1412 kg
Ön Aks Yol Teması	%60	%76	%76
Arka Aks Yol Teması	%63	%65	%58
FREN SİSTEMİ			
Ön Aks Maks. Fren Kuvveti	4705 N	6144 N	4415 N
Arka Aks Maks. Fren Kuvveti	2300 N	1960 N	3912 N
Ön Aks Maks. Fren Gücü	4705 N	5769 N	4415 N
Arka Aks Maks. Fren Gücü	1072 N	1960 N	2066 N
Fren Tesir Gücü	%66	%51	%61
Acil Fren Tesir Gücü	%31	%23	%30
EL FRENİ			
Maks. Fren Kuvveti	2122 N	2347 N	2456 N
Maks. Fren Gücü	1723 N	2212 N	2338 N
Fren Tesir Gücü	%20	%15	%18
SÜSPANSİYON SİSTEMİ PERFORMANSI			
Ön Aks Sağ-Sol Yol Teması Farkı	%41	%8	%0
Arka Aks Sağ-Sol Yol Teması Farkı	%18	%1	%5
FREN SİSTEMİ PERFORMANSI			
Ön Aks Sağ-Sol Fren Kuv. Farkı	%18	%12	%7
Arka Aks Sağ-Sol Fren Kuv. Farkı	%12	%26	%2
Ön Aks Sağ-Sol Fren Gücü Farkı	%18	%12	%10
Arka Aks Sağ-Sol Fren Gücü Farkı	%14	%25	%6
EL FRENİ PERFORMANSI			
Maks. Fren Kuvveti Farkı	%15	%35	%6
Maks. Fren Gücü	%22	%41	%13
FREN DİSK SIKILIĞI			
Ön Aks Sağ - Sol ve Farkı	1359N-1263N %10	1602N-1884N %15	1286N-1219N %5
Arka Aks Sağ - Sol ve Farkı	1135N-1024N %7	1014N-764N %25	1414N-1444N %2
OVALİZASYON			
Ön Aks Sağ - Sol	%0 - %1	%1 - %2	%3 - %1
Arka Aks Sağ - Sol	%2 - %1	%5 - %4	%2 - %2

### 3.1.2 Hesaplama biriminin tanıtılması

Ara yüz algoritmasını oluşturan birimlerin ikincisi, ön ve arka aks arasındaki etkileşimleri belirleyen verilerin hesaplanmasını ve sonuç değerlerinin gösterilmesini sağlayan hesaplama sonuç birimidir. Bu birimde hesaplanan veriler Şekil 3’te görülmektedir.

### 3.1.2.1 Hesaplama biriminde elde edilen parametreler

Hesaplanan parametreler, tek aksın frenleme performansını belirleyenler ile akslar arasındaki etkileşime göre performans belirleyenler olmak üzere iki farklı gruba ayrılmıştır. Bu çalışmada, bu parametrelerin ilkinde tek aks fren parametreleri diğerine de aks etkileşimli fren parametreleri adı verilmiştir.

#### a) Tek aks fren parametreleri

Tek aks fren parametreleri, sabit fren test cihazında ölçülen değerlerden oluşmaktadır. Bunlardan ön ve arka aksın toplam kütleleri, süspansiyon testinde ölçülen değerler kullanılarak denklem (4) ve (5) ile elde edilmektedir [3].

$$M_F = M_{FR} + M_{FL} \quad (4)$$

$$M_R = M_{RR} + M_{RL} \quad (5)$$

$M_{FR}$ , sağ ön aks taşıt kütleleri,  $M_{FL}$ , sol ön aks taşıt kütleleri,  $M_{RR}$ , sağ ön aks taşıt kütleleri ve  $M_{RL}$ , sol ön aks taşıt kütlelerini ifade etmektedir. Ön ve arka aks için sağ-sol kütle farkı, denklem (6) ve (7) ile elde edilmektedir [3].

$$\Delta M_F = M_{FR} - M_{FL} \quad (6)$$

$$\Delta M_R = M_{RR} - M_{RL} \quad (7)$$

Kütle farkı bilgileri, sağ ve sol tekerlek üzerinde yük farklarının sınırlar içerisinde olup olmadığını belirlemesini sağlamaktadır. Ön ve arka aks statik yükleri, denklem (8) ve (9) ile elde edilmektedir [3].

$$F_{ZF} = M_F g \quad (8)$$

$$F_{ZR} = M_R g \quad (9)$$

$F_{ZF}$  ve  $F_{ZR}$  yük değişimi olmaksızın araç hareketsiz haldeyken veya sabit hızda giderken ön ve arka akslara binen yük miktarını ifade etmektedir. Ön ve arka aksın statik yük oranları, denklem (10) ve (11) ile elde edilmektedir [3].

$$\psi_R = \frac{F_{ZR}}{M_T g} \quad (10)$$

$$\psi_F = (1 - \psi_R) = \frac{F_{ZF}}{M_T g} \quad (11)$$

$l$ , aks aralığı olduğuna göre ön ve arka aksların ağırlık merkezine mesafeleri aşağıdaki gibi denklem (12) ve (13) ile elde edilmektedir [3].

$$l_F = \psi_R l \quad (12)$$

$$l_R = \psi_F l \quad (13)$$

#### b) Aks etkileşimli fren parametreleri

Aks etkileşimli fren parametreleri ölçülen ön ve arka akstan ölçülen değerler arasındaki ilişkilerden oluşmaktadır. Ön ve arka fren kuvvetleri arasındaki etkileşimden faydalanılarak frenleme ivmesi, aşağıdaki gibi elde edilmektedir [3].

$$a = \frac{F_{XF} + F_{XR}}{M_T g} \quad (14)$$

$F_{XF}$  ve  $F_{XR}$  ön ve arka tekerlekte ölçülen frenleme kuvvetlerini ifade etmektedir. Ön ve arka aksa etkiyen dinamik yükler,

denklem (15) ve (16) ile elde edilmektedir [3].

$$F_{Z_{din,f}} = \left(1 - F_{Z_R} + \frac{h}{l}a\right) F_{ZF} \quad (15)$$

$$F_{Z_{din,r}} = \left(F_{Z_R} - \frac{h}{l}a\right) F_{ZR} \quad (16)$$

Ön ve arka aksa etkiyen dinamik yükler, aynı fren ivmesi ile elde edilmiştir. Bunun için ön aks fren testinde ölçülen fren kuvveti ile arka aks fren testinde uygulanan ön aks fren kuvveti aynı olacak şekilde fren pedalına basılmıştır. Bu husus, aynı fren şartlarının elde edilmesi için oldukça önemlidir.

Dinamik aks yük oranı, ön ve arka aksa etkiyen dinamik yüklerin taşıtın toplam ağırlığına oranı kullanılarak denklem (17) ve (18) ile elde edilmektedir [3].

$$F_{z_{o,f}} = \frac{F_{Z_{din,f}}}{F_{ZF}} \quad (17)$$

$$F_{z_{o,r}} = \frac{F_{Z_{din,r}}}{F_{ZR}} \quad (18)$$

Verilen frenleme ivmesi ile ortaya çıkacak yük transferi sonucunda akslarda değişen yük miktarlarının oranını ifade etmektedir.

Arka ve ön aks için fren kuvvet dağılımları denklem (19) ve (20) ile aşağıdaki gibi elde edilmektedir [3].

$$\Phi_r = \frac{F_{XR}}{F_{XF} + F_{XR}} \quad (19)$$

$$\Phi_f = (1 - \Phi_r) \quad (20)$$

Ön ve arka aks için fren kuvvet dağılım oranları denklem (21) ve (22) ile elde edilmektedir [3].

$$\Phi_{O,r} = \Phi_r 100 \quad (21)$$

$$\Phi_{O,f} = \Phi_f 100 \quad (22)$$

Bu parametreler, toplam fren kuvvetinin ön ve arka aksa dağılım oranını ifade eder. Ön ve arka aks tekerleklerinin frenleme anında kullandığı tutunma katsayıları ise denklem (23) ve (24) ile elde edilmektedir [3].

$$\mu_f = \frac{F_{XF}}{F_{Z_{din,f}}} \quad (23)$$

$$\mu_r = \frac{F_{XR}}{F_{Z_{din,r}}} \quad (24)$$

Frenleme anında kullanılan tutunma katsayısının, ölçülen fren kuvvetine bağlı olduğu denklem (23) ve (24)'te açıkça görülmektedir. Dinamik aks yüklerinin etkisinde uygulanan ön ve arka aks dinamik frenleme kuvvetleri sırasıyla, denklem (25) ve (26) ile elde edilmiştir [3].

$$F_{X_{din,f}} = F_{Z_{din,f}} \mu_f \quad (25)$$

$$F_{X_{din,r}} = F_{Z_{din,r}} \mu_r \quad (26)$$

Taşıtın ağırlığına göre üretilen toplam fren kuvveti değişimi frenleme oranı ile elde edilmiş ve frenleme oranını hesaplamak için denklem (27) kullanılmıştır [3].

$$z = \frac{a}{g} \quad (27)$$

Hesaplanan Değerler - 1		Hesaplanan Değerler - 2	
H/L Oranı	0	Fren Kuvvet Dağılım Oranı [%]	0 0
Ön Aks Toplam Taşıt Kütlesi [kg]	0	Ön Aksın Kullandığı Tutunma Katsayısı	0
Ön Aks Sağ-Sol Kütlev Farkı [kg]	0	Arka Aksın Kullandığı Tutunma Katsayısı	0
Arka Aks Toplam Taşıt Kütlesi [kg]	0	Ön Aks Din. Frenleme Kuvveti [N]	0
Arka Aks Sağ-Sol Kütlev Farkı [kg]	0	Ön Aks Fren Kuvveti Artış Oranı [%]	0
Arka Aksın Statik Yükü [N]	0	Arka Aks Din. Frenleme Kuvveti	0
Ön Aksın Statik Yükü [N]	0	Arka Aks Fren Kuvveti Azalma Oranı [%]	0
Toplam Taşıt Ağırlığı [N]	0	Frenleme Oranı	0
Statik Aks Yük Dağılım Oranı [%]	0 0	Kritik Frenleme Oranı	0
Ön Aksın Ağırlık Merkezine Mesafesi [m]	0	Arka Aks Olmadan Ön Aks ile Fr. İvmesi [g]	0
Arka Aksın Ağırlık Merkezine Mesafesi [m]	0	Ön Aks Olmadan Arka Aks ile Fr. İvmesi [g]	0
Frenleme İvmesi [g]	0	Ön Aks Frenleme Verimi	0
Dinamik Aks Yük Oranı [%]	0 0	Arka Aks Frenleme Verimi	0
		Direksiyon Hakimiyetine Göre Fren oranı	0
		Dinamik Kararlılığa Göre Fren Oranı	0

Şekil 3: Arayüzün hesaplama birimi.

Frenleme oranının sınır değerini elde edebilmek için denklem (28) kullanılmıştır [3].

$$z_{kritik} = \frac{l(\frac{l_f}{l} - \Phi_r)}{h} \quad (28)$$

Denklem (28)'de  $h$ , taşıtın ağırlık merkezinin yüksekliğini ifade etmektedir. Arka aks fren sisteminin arızalanması durumunda ön aks fren sisteminin sağlayacağı fren ivmesi denklem (29) ile elde edilmiştir [3].

$$a_F = \frac{(1 - \psi)\mu_f}{1 - \frac{h}{l}\mu_f} \quad (29)$$

$$a_R = \frac{\psi\mu_r}{1 + \frac{h}{l}\mu_r} \quad (30)$$

Frenleme anında ön ve arka aks tekerlekleri ile yol arasındaki tutunmanın ne kadarının fren ivmesine dönüştürüldüğünü hesaplamak için ön ve arka fren verimlerini ifade eden denklem (31) ve (32) kullanılmıştır [3].

$$e_f = \frac{(1 - \psi)}{(1 - \Phi - \frac{h}{l}\mu_f)} \quad (31)$$

$$e_r = \frac{\psi}{(\Phi + \frac{h}{l}\mu_r)} \quad (32)$$

Frenleme anında direksiyon hâkimiyeti, denklem (33) kullanılarak belirlenmiştir [3].

$$e_d = \frac{\mu_f(\frac{l_R}{l})}{(1 - \Phi - \frac{h}{l}\mu_f)} \quad (33)$$

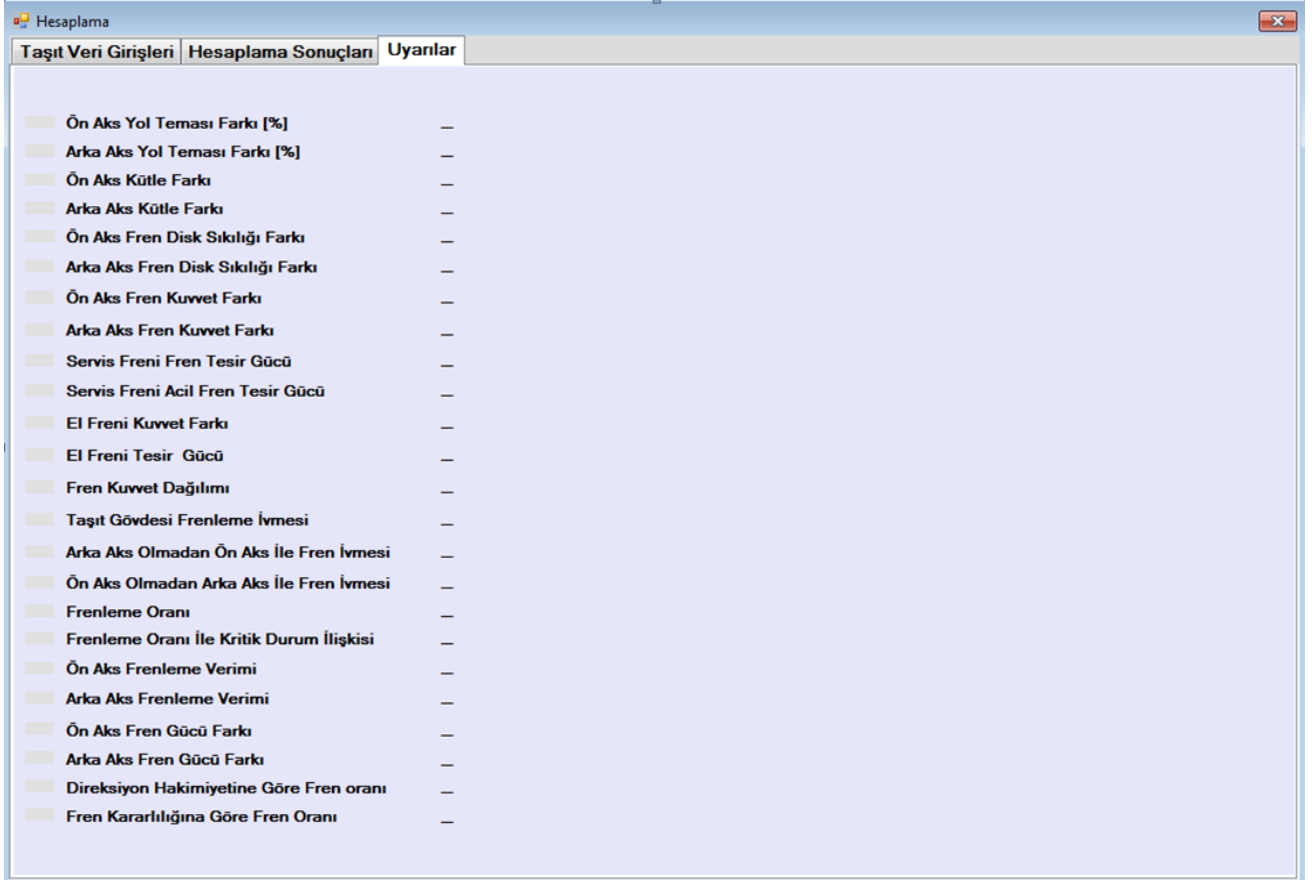
Denklem (33)'e göre direksiyon hâkimiyeti, ön aks tekerleklerinin kullandığı tutunma katsayısı ve frenleme oranına bağlı olarak elde edilmektedir. Frenleme anında taşıtın dinamik kararlılığı ise aşağıdaki gibi denklem (34) kullanılarak belirlenmiştir [3].

$$e_k = \frac{\mu_r(\frac{l_F}{l})}{(\Phi + \frac{h}{l}\mu_r)} \quad (34)$$

Denklem (34)'ye göre frenleme anında fren kararlılığı, arka aksın frenleme kapasitesine bağlı olarak elde edilmektedir.

### 3.1.3 Uyarılar biriminin tanıtılması

Arayüzün son kısmı olan uyarılar bölümü, Şekil 4'te görülmektedir. Bu bölümde aks etkileşimli parametrelerin yanında sabit fren test cihazında ölçülen tek aks parametreleri için de uyarılar bulunmaktadır.



Şekil 4: Arayüzün uyarılar birimi.

Bu birimde bulunan uyarılar, tek aksa ve aks etkileşimine göre kural tabanlı olarak tasarlanmıştır. Tek aksa dayalı servis, el freni ve amortisör için uygulanan kurallar, fren test cihazı firması tarafından uygulanan ve Tablo 5 ile verilen sınır değerlerine göre elde edilmiştir.

Tablo 5: Fren ve amortisör testi sınır değerleri.

Araç Kategorileri	8'den az koltuk ve yolcu taşıyan taşıtlar (Binek Taşıtlar)
İşletme Fren Kuvveti Sapması	>%30
El Fren Kuvveti Sapması	>%50
Fren Disk Sıklığı Farkı	>%50
Fren Tesir Gücü Sapması	>%30
Frenleme Oranı	>%50
Yol Teması Sapması	>%15
Kütle Farkı	>200 N (20 kg)

Ön ve arka aks etkileşimli kurallar da Limpert R. [3] tarafından yapılmış çalışmaların sonuçlarına göre tasarlanmıştır. Böylece, tasarlanan arayüz algoritmasının uyarı kuralları Ek 1'de verilmiştir.

### 3.2 Arayüz sonuçları ve tartışma

Test Taşıtı 1'in sonuçları Tablo 6'da görülmektedir. Tablo 4'te görülen Test Taşıtı 1'in sabit fren test cihazından elde edilen sonuçlarına göre ön ve arka aksın sağ ve sol tekerleklerin fren kuvvetleri birbirine uyumlu iken ön aksın fren disk sıklıkları arasında uyumsuzluk bulunmaktadır. Süspansiyon test bölümünde elde edilen ölçüm sonuçları, ön ve arka aksa ait sağ ve sol amortisörlerin sönümleme kapasiteleri arasında uyumsuzluk olduğunu göstermektedir. Bu hatalar ile ilgili arayüz tarafından verilen uyarılar Şekil 5(a)'da verilmiştir.

Tablo 6'da görüldüğü gibi Test Taşıtı 1, ölçülen frenleme kuvveti ile 0.664 g'lık frenleme ivmesi kazanmaktadır. Bu ivme ile taşıtın ön aksındaki yük %7 artarken arka aksın yükü %7 azalmaktadır. Bu yük değişimi ile ön tekerleklerin yol temasının %72'sini ve arka aksının %56'sını kullanmaktadır. Bu yol teması ile fren sistemi fren kuvvetinin %32'sini arka aksa ve %68'ini ön aksa dağıtmaktadır. Bu kuvvet ve yük dağılımı sayesinde ön tekerleklerin fren kuvveti %11.567 artarken arka tekerleklerinki %18.442 azalmaktadır.

Tablo 6'ya göre elde edilen bu dinamik yük ve fren kuvveti değişimleri, kritik frenleme oranından daha yüksek frenleme oranına neden olmaktadır. Aynı zamanda, ön frenleme veriminin gereğinden fazla yükselmesine neden olurken arka aksın frenleme verimini uygun değerde tutmaktadır. Buna ek olarak dinamik yük ve fren kuvvetindeki bu değişimler, taşıtın fren kararlılığını ve direksiyon hâkimiyetini belirleyen fren oranlarının kritik frenleme oranını aşmasına sebep olmaktadır.

Böylece, frenleme oranındaki artış, toplam frenleme kuvvetinin taşıt ağırlığına göre yüksek kalmasından kaynaklanmaktadır. Bunun en önemli nedenleri, ön frenleme veriminin yüksek kalması nedeniyle denklem (34)'e göre ön aksa gelen dinamik yük ile ön tekerleklerin yola tutunmasının gereğinden fazla olması veya arka aksa fren kuvveti dağılımının yeterli olmamasıdır. Arka aksdaki bu durum, arka tekerleklerin çabuk kilitlenmesine ve buna bağlı olarak fren kararlılığını belirleyen fren oranının artışı ile fren kararlılığının kötüleşmesine neden olmaktadır. Ön fren sisteminde arıza meydana geldiğinde yetersiz frenleme ivmesi nedeniyle fren kararlılığındaki kötüleşme daha ciddi hale gelebilir.

Tablo 6: Test taşıtı 1'in hesaplanan fren parametreleri.

Hesaplama Sonuçları	
H/L Oranı	0.107
Ön Aks Toplam Taşıt Kütle [kg]	662
Ön Aks Sağ-Sol Kütle Farkı [kg]	10
Arka Aks Toplam Taşıt Kütle [kg]	413
Arka Aks Sağ-Sol Kütle Farkı [kg]	45
Ön Aksın Statik Yükü [N]	6494.22
Arka Aksın Statik Yükü [N]	4051.53
Toplam Taşıt Ağırlığı [N]	10555.6
Statik Aks Yük Dağılım Oranı [%]	61.617
Ön Aksın Ağırlık Merkezine Mesafesi [m]	1.008
Arka Aksın Ağırlık Merkezine Mesafesi [m]	1.617
Frenleme İvmesi [g]	0.664
Dinamik Aks Yük Oranı [%]	68.696
Fren Kuvvet Dağılım Oranı [%]	37.166
Ön Aksın Kullandığı Tutunma Katsayısı	0.724
Arka Aksın Kullandığı Tutunma Katsayısı	0.568
Ön Aks Dinamik Frenleme Kuvveti [N]	5253.45
Ön Aks Fren Kuvveti Artış Oranı [%]	11.657
Arka Aks Dinamik Frenleme Kuvveti [N]	1875.82
Arka Aks Fren Kuvveti Artış Oranı [%]	18.442
Frenleme Oranı	0.675
Kritik Frenleme Oranı	0.52
Arka Aks Olmadan Ön Aks ile Frenleme İvmesi [g]	0.484
Ön Aks Olmadan Arka Aks ile Frenleme İvmesi [g]	0.205
Ön Aks Frenleme İvmesi [g]	1.037
Arka Aks Frenleme İvmesi [g]	0.987
Direksiyon Hâkimiyetine Göre Fren Oranı	0.751
Dinamik Kararlılığa Göre Fren Oranı	0.56

Aynı zamanda, uyumsuz arka amortisörler, fren kararlılığındaki bu kötüleşmeye katkı sağlamaktadır. Bunun yanında ön aks tekerleklerinin yola tutunmasının yüksek olmasına rağmen ön aks amortisör uyumsuzluğu ve ön tekerleklerin fren disk sıklığı dengesizliği frenleme anında direksiyon hâkimiyetinin kötüleşmesine neden olabileceği açıktır. Bu durumlar ile ilgili arayüz tarafından verilen uyarılar Şekil 5(b)'de verilmiştir.

Sonuç olarak, bu test taşıtının frenleme performansında ortaya çıkabilecek kötüleşmeler, fren disk sıklıklarının iyileştirilmesi, amortisör sönümleme özelliklerinin düzeltilmesi ve arka aksın ön aksa yük transferini kontrol eden taşıt sistemi elemanları veya arka fren kuvveti değişimini aks yüküne göre düzenleyen limitörün kontrol edilmesi ile düzeltilebilir. Aynı zamanda, yetersiz frenleme ivmesine sahip arka frenleme sisteminin tüm elemanlarının kontrol edilmesi ile fren kararlılığındaki kötüleşme önenebilir.

Test Taşıtı 2'nin sonuçları Tablo 7'de verilmiştir. Test Taşıtı 2'nin Tablo 7'de verilen sabit fren test sistemi ölçüm sonuçlarına göre ön ve arka aksın sağ ve sol fren disk sıklıklarında uyumsuzluk bulunmaktadır. Buna karşın süspansiyon ölçüm sonuçları, ön ve arka aksın sağ ve sol amortisörlerin sönümleme kapasiteleri arasında uyumsuzluk bulunmadığını göstermektedir. Bu sonuçların arayüz uyarıları Şekil 6(a)'da verilmiştir.

Uyarı İkonu	Uyarı Açıklaması
Ön Aks Yol Teması Farkı [%]	Ön Amortisör Uyumu Kötü. Araç önden sağa-sola çekebilir. Ön Sağ ve Sol Amortisörleri Kontrol Ediniz.
Arka Aks Yol Teması Farkı [%]	Arka Amortisör Uyumu Kötü. Araç arkadan sağa-sola çekebilir. Savrulma riski var. Amortisörleri Kontrol Ediniz.
Ön Aks Kütle Farkı	Ön Aks Uyumu Kötü. Aks Yüklerini Kontrol Ediniz
Arka Aks Kütle Farkı	Aka Aks Kütle Uyumu İyi
Ön Aks Fren Disk Sıklığı Farkı	Ön Aks Fren Disk Sıklığı Uyumu Kritik
Arka Aks Fren Disk Sıklığı Farkı	Arka Aks Fren Disk Sıklığı Uyumu İyi.
Ön Aks Fren Kuvvet Farkı	Ön Aks Fren Kuvveti Uyumu İyi
Arka Aks Fren Kuvvet Farkı	Arka Aks Fren Kuvveti Uyumu İyi
Servis Freni Fren Tesir Gücü	Taşıtın Fren Tesir Gücü İyi. Frenleme Etkisi Çok Hızlı Oluşuyor.
Servis Freni Acil Fren Tesir Gücü	Taşıtın Acil Fren Tesir Gücü İyi. Ani Frenlemelerde Frenleme Etkisi Çok Hızlı Oluşuyor.
Ön Aks Fren Gücü Farkı	Ön Aks Fren Gücü Farkı İyi. Tekerleklerin Fren Kuvveti Oluşum Hızı Uyumlu.
Arka Aks Fren Gücü Farkı	Arka Aks Fren Gücü Farkı İyi. Tekerleklerin Fren Kuvveti Oluşum Hızı Uyumlu
Ei Freni Kuvvet Farkı	Ei Freni Kuvvet Uyumu İyi.
Ei Freni Tesir Gücü	Ei Freni Tesir Gücü İyi.
Fren Kuvvet Dağılımı	Fren Kuvvet Dağılımı Çok İyi. Ön Tekerlekler Arka Tekerleklerden Daha Önce Kilitlenir.
Arka Aks Olmadan Ön Aks İle Fren İvmesi	Arızalı Arka Fren İle Ön Aksın Frenleme İvmesi Taşıtı Yavaşlatmak İçin Yeterlidir.
Ön Aks Olmadan Arka Aks İle Fren İvmesi	Arızalı Ön Fren İle Arka Aksın Frenleme İvmesi Kötü. Arka Aks İle Taşıtın Fren Mesafesi Artabilir.
Frenleme Oranı İle Kritik Durum İlişkisi	Frenleme Oranı Yüksek. Frenleme Anında Fren Gücü Yüksek Olan Aks Tekerlekleri Kilitlenebilir. Fren Güç Bilgilerini Kontrol Ediniz
Ön Aks Frenleme Verimi	Frenleme Verimi Kötü. Tutunmanın Frenleme İvmesine Katkısı Azalmaktadır.
Arka Aks Frenleme Verimi	Frenleme Verimi Çok İyi. Yüksek Fren Basınçlarında İlk Önce Arka Aks Tekerlekleri Kilitlenir. Tehlikeli Durum !!!
Direksiyon Hakimiyetine Göre Fren oranı	Frenleme Anında Direksiyon Hakimiyeti Kötü. Tehlikeli Durum !!!
Fren Kararlılığına Göre Fren Oranı	Frenleme Anında Taşıtın Dinamik Kararlılığı Kötü Taşıtın Savrulma İhtimali Yüksek. Tehlikeli durum!!!

Şekil 5: Test taşıtı 1'in uyarı çıktıları.

Tablo 7: Test Taşıtı 2'nin hesaplanan fren parametreleri.

Hesaplama Sonuçları	
H/L Oranı	0.107
Ön Aks Toplam Taşıt Kütleli [kg]	1022
Ön Aks Sağ-Sol Kütle Farkı [kg]	62
Arka Aks Toplam Taşıt Kütleli [kg]	597
Arka Aks Sağ-Sol Kütle Farkı [kg]	5
Ön Aksın Statik Yüğü [N]	10025.82
Arka Aksın Statik Yüğü [N]	5856.57
Toplam Taşıt Ağırlığı [N]	15882.39
Statik Aks Yük Dağılım Oranı [%]	36.875
Ön Aksın Ağırlık Merkezine Mesafesi [m]	1.106
Arka Aksın Ağırlık Merkezine Mesafesi [m]	1.894
Frenleme İvmesi [g]	0.51
Dinamik Aks Yük Oranı [%]	68.568
Fren Kuvvet Dağılım Oranı [%]	75.814
Ön Aksın Kullandığı Tutunma Katsayısı	0.613
Arka Aksın Kullandığı Tutunma Katsayısı	0.335
Ön Aks Dinamik Frenleme Kuvveti [N]	6673.736

Tablo 7: Test Taşıtı 2'nin hesaplanan fren parametreleri (devamı).

Hesaplama Sonuçları	
Ön Aks Fren Kuvveti Artış Oranı [%]	8.622
Arka Aks Dinamik Frenleme Kuvveti [N]	1670.705
Arka Aks Fren Kuvveti Artış Oranı [%]	14.76
Frenleme Oranı	0.525
Kritik Frenleme Oranı	1.19
Arka Aks Olmadan Ön Aks ile Frenleme İvmesi [g]	0.414
Ön Aks Olmadan Arka Aks ile Frenleme İvmesi [g]	0.119
Ön Aks Frenleme İvmesi [g]	0.911
Arka Aks Frenleme İvmesi [g]	1.329
Direksiyon Hakimiyetine Göre Fren Oranı	0.558
Dinamik Kararlılığa Göre Fren Oranı	0.445

Tablo 7'de hesaplanan değerler incelendiğinde, Test Taşıtı 2, ölçülen frenleme kuvveti ile 0.51 g'lık frenleme ivmesi kazanmaktadır. Bu ivme ile taşıtın ön aksındaki yük %5 artarken arka aksın yükü %5 azalmaktadır. Bu yük değişimi ile ön tekerleklerin yol temasının %61'ini ve arka aksının

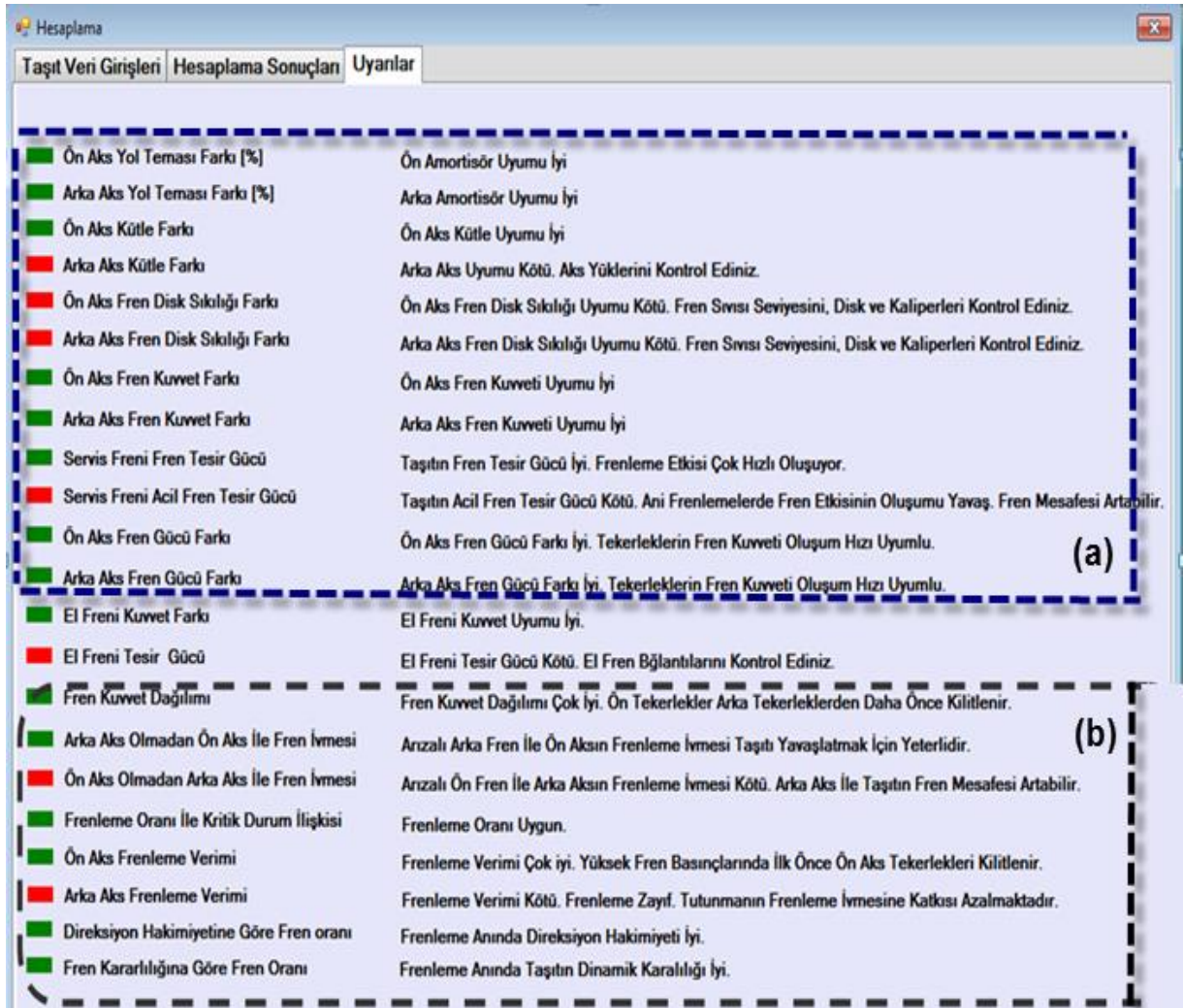


%39'unu kullanmaktadır. Bu yol teması ile fren sistemi fren kuvvetinin %25'ini arka aksa ve %75'ini ön aksa dağıtmaktadır. Bu kuvvet ve yük dağılımı sayesinde ön tekerleklerin fren kuvveti %8.6 oranında artarken arka tekerleklerinki %14.76 oranında azalmaktadır. Tablo 7'de görüldüğü üzere elde edilen fren kuvveti değişimleri, kritik frenleme oranından daha düşük frenleme oranı sağlarken arka aks fren veriminin kötüleşmesine neden olmaktadır. Buna karşın taşıtın fren kararlılığını ve direksiyon hâkimiyetini belirleyen fren oranları, kritik frenleme oranının altında kalarak uygun fren kararlılığı ve direksiyon hâkimiyeti elde edilebilmektedir.

Bu test taşıtı, düşük fren oranı sayesinde taşıt ağırlığına göre uygun fren kuvveti uygularken arka aks tekerleklerin yol teması ile elde edebildiği etkin fren ivmesi düşük değerde kalmıştır. Bunun nedeni, arka aks tekerleklerinin yola temasının oldukça düşük kalması veya istenilen fren disk sıklıklarının elde edilememesidir. Aynı zamanda, limitör valfinin oranlama değeri de arka fren veriminin yetersiz olmasına sebep olmaktadır.

Tüm bunlara rağmen, taşıtın frenleme anında direksiyon hâkimiyetinin korunması ve özellikle arka aksın kötü fren değerlerine karşın fren kararlılığının korunması oldukça dikkat çekici bir sonuçtur. Bu durum, arka aks tekerleklerine uygulanan fren kuvvetinin yol temasına göre düşük kaldığını göstermektedir. Bu şekilde frenleme momenti, sürtünme momentinden daha düşük kaldığından tekerlek kilitlenmemektedir. Ancak frenlemenin yetersiz kalması, fren mesafesinde artışa neden olacaktır. Bunun yanında ön fren disk sıklığı uyumsuzluğunun direksiyon hâkimiyetini kaybettirecek kadar yüksek olmadığı %15'lik uyumsuzluk oranı ile kendini açık bir şekilde göstermektedir. Bu durumlar ile ilgili arayüz tarafından verilen uyarılar Şekil 6(b)'de verilmiştir.

Sonuç olarak, Test Taşıtı 2'nin frenleme performansındaki kötüleşmelerin, sadece arka aksın frenlemesini etkileyen sistemlerden kaynaklandığı ortaya çıkarılmıştır. Bunun yanında, Test Taşıtı 2'nin frenleme anında direksiyon hâkimiyetini daha uzun koruması için ön aksın tekerleklerinin fren disk sıklıkları uyumlu hale getirilmelidir.



Şekil 6. Test taşıtı 2'nin uyarı çıktıları

Test Taşıtı 3'ün sonuçları Tablo 8'de görülmektedir. Tablo 8'de verilen fren test sonuçlarına göre ön ve arka aksın sağ ve sol fren disk sıklıkları arasında uyumsuzluk bulunmamaktadır. Bunun yanında süspansiyon ölçüm sonuçları, ön ve arka aksın sağ ve sol amortisörlerin sönümlenme kapasiteleri arasında da uyumsuzluk bulunmadığını da göstermektedir.

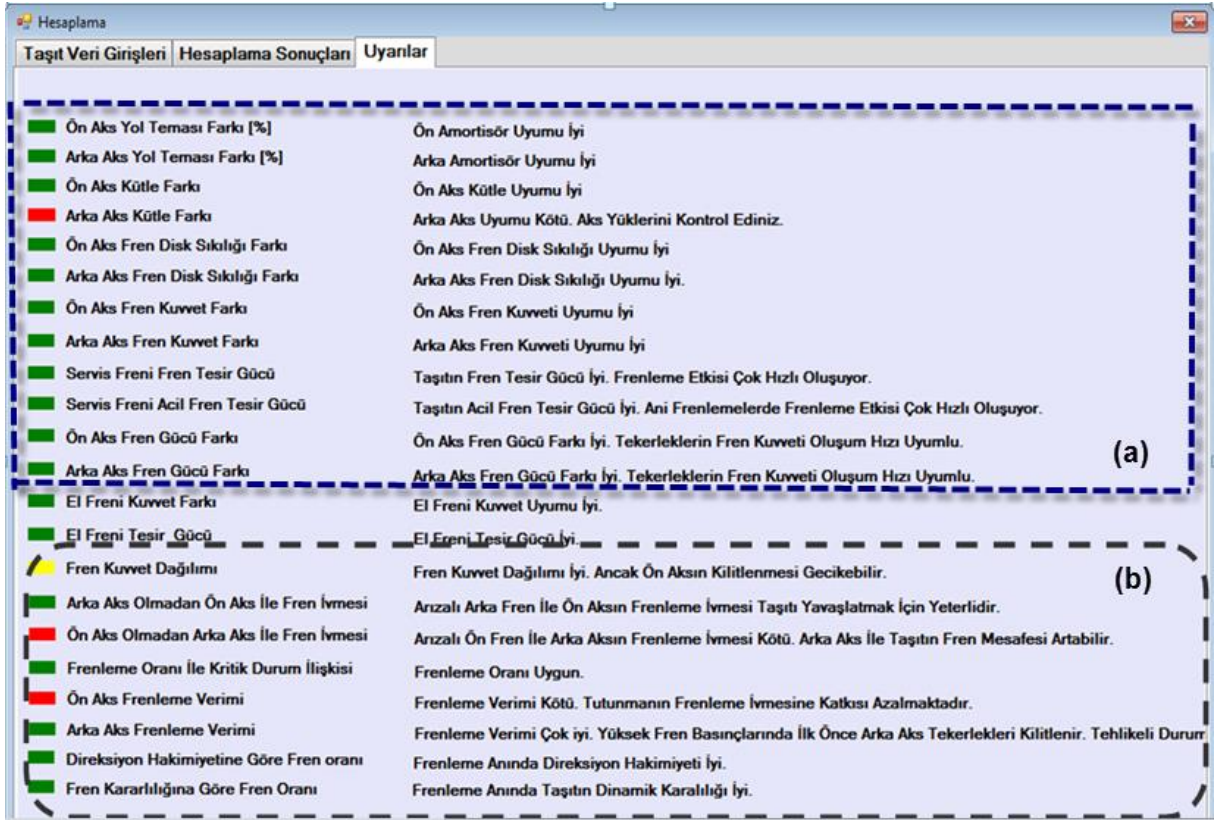
Tablo 8: Test Taşıtı 3'ün Hesaplanan Fren Parametreleri

Hesaplama Sonuçları		
H/L Oranı	0.136	
Ön Aks Toplam Taşıt Kütle [kg]	898	
Ön Aks Sağ-Sol Kütle Farkı [kg]	68	
Arka Aks Toplam Taşıt Kütle [kg]	514	
Arka Aks Sağ-Sol Kütle Farkı [kg]	4	
Ön Aksın Statik Yüğü [N]	8809.38	
Arka Aksın Statik Yüğü [N]	5042.34	
Toplam Taşıt Ağırlığı [N]	13851.7	
Statik Aks Yük Dağılım Oranı [%]	63.598	36.402
Ön Aksın Ağırlık Merkezine Mesafesi [m]	0.936	
Arka Aksın Ağırlık Merkezine Mesafesi [m]	1.634	
Frenleme İvmesi [g]	0.601	
Dinamik Aks Yük Oranı [%]	71.785	28.215
Fren Kuvvet Dağılım Oranı [%]	53.02	46.98
Ön Aksın Kullandığı Tutunma Katsayısı	0.501	
Arka Aksın Kullandığı Tutunma Katsayısı	0.776	
Ön Aks Dinamik Frenleme Kuvveti [N]	4983.34	

Tablo 8: Test Taşıtı 3'ün Hesaplanan Fren Parametreleri (devamı).

Hesaplama Sonuçları	
Ön Aks Fren Kuvveti Artış Oranı [%]	12.873
Arka Aks Dinamik Frenleme Kuvveti [N]	3032.19
Arka Aks Fren Kuvveti Artış Oranı [%]	22.49
Frenleme Oranı	0.579
Kritik Frenleme Oranı	0.777
Arka Aks Olmadan Ön Aks ile Frenleme İvmesi [g]	0.342
Ön Aks Olmadan Arka Aks ile Frenleme İvmesi [g]	0.255
Ön Aks Frenleme İvmesi [g]	1.377
Arka Aks Frenleme İvmesi [g]	0.633
Direksiyon Hakimiyetine Göre Fren Oranı	0.69
Dinamik Kararlılığa Göre Fren Oranı	0.491

Bu sonuçlar ile ilgili uyarılar Şekil 7(a)'de verilmiştir. Tablo 8'de verilen hesaplanan değerler incelendiğinde, test taşıtı 3, ölçülen frenleme kuvveti ile 0.601 g'lık frenleme ivmesi kazanmaktadır. Bu ivme ile taşıtın ön aksındaki yük %8 artarken arka aksın yükü %8 azalmaktadır. Bu yük değişimi ile ön tekerleklerin yol temasının %50'sini ve arka aksınkinin %77'sini kullanmaktadır. Bu yol teması ile fren sistemi, fren kuvvetinin %47'sini arka aksa ve %53'ünü ön aksa dağıtmaktadır. Bu kuvvet ve yük dağılımı sayesinde ön tekerleklerin fren kuvveti %12.87 oranında artarken arka tekerleklerinki %22.49 oranında azalmaktadır.



Şekil 7: Test taşıtı 3'ün uyarı çıktıları.

Tablo 8'de görüldüğü gibi elde edilen bu fren kuvveti değişimleri, kritik frenleme oranından daha düşük frenleme oranı sağlarken ön aksın fren veriminin kötüleşmesine neden olmaktadır. Buna karşın, taşıtın fren karallılığını ve direksiyon hâkimiyetini belirleyen fren oranları, kritik frenleme oranının altında kalarak uygun fren kararlılığı ve direksiyon hâkimiyeti elde edilebilmektedir.

Bu test taşıtı, düşük fren oranı ve arka fren verimi sayesinde taşıt ağırlığına uygun fren kuvveti ve arka aks tekerleklerine tutunmaya uygun frenleme ivmesi sağlamaktadır. Buna karşın yüksek ön aks verimi nedeniyle ön aks tekerleklerinin tutunmasına uygun fren kuvveti uygulanamamaktadır. Bu nedenle, taşıtın frenleme ivmesinde azalma meydana gelmektedir. Aynı zamanda, ön aks tekerleklerine uygulanan fren kuvveti, yol temasına göre daha düşük kaldığından frenleme momenti, sürtünme momentinden daha düşük kalmakta ve bunun sonucunda ön tekerleklerde kilitlenme yaşanmayacağından frenleme anında direksiyon hâkimiyetinde kötüleşme gözlenmemektedir. Ayrıca, ön tekerleklerin yol temasının arka tekerleklerinkine göre oldukça düşük kalması, dikkate değer bir durumdur. Bu sonuçların arayüz uyarıları Şekil 7(b)'de verilmiştir.

Sonuç olarak, Test Taşıtı 3, diğer test taşıtlarına göre en iyi frenleme performansını sağlamaktadır. Bu performansı daha iyi hale getirmek için ön fren sistemi elemanlarının ve yol teması sağlayan süspansiyon sistemi elemanlarının kontrol edilmesi gerekmektedir. Özellikle yol temasının iyileştirilmesi ile tekerleklerle uygulanan frenleme kuvvetini yola iletme oranı oldukça artacaktır.

#### 4 Sonuçlar

Bu çalışmada, sabit fren test sisteminde kullanılmak üzere ön ve arka aks tekerleklerinin fren etkileşimine dayalı ileri fren analizi yapılmasını sağlayarak fren hatalarını ortaya çıkarabilen arayüz tasarlanması amaçlanmıştır. Arayüz, üç ana bölümden oluşmaktadır. İlk bölüm, taşıt verileri ile fren ve süspansiyon test sistemlerinde ölçülen verilerin girilmesini sağlamaktadır. İkinci bölümde ileri fren analizi sağlayacak parametreler, taşıt verileri ile sabit fren test sisteminde ölçülen veriler kullanılarak hesaplanmıştır. Son bölümde, diğer bölümlerde girilen ve hesaplanan veriler belirli kurallara göre karşılaştırılarak elde edilen sonuçlar, sözel ifadeler ile gösterilmiştir. Arayüz ile sabit fren test sisteminde elde edilen fren hatalarının yanında bu test sistemlerinde elde edilemeyen fren hataları da ortaya çıkarılmıştır. Aynı zamanda, tasarlanan arayüz, süspansiyon elemanı arızalarının fren performansına etkilerinin belirlenmesini de sağlamaktadır.

#### 5 Teşekkür

Bu çalışmada bana yardımcı olan mezun öğrencilerimiz Uğur SİLİBULDU ve Murat TÜRKMEN'e teşekkür ederim.

#### 6 Kaynaklar

- [1] Breuer B, Bill KH. *Brake Technology Handbook*. 1<sup>st</sup> ed. Warrendale, USA, SAE International, 2008.
- [2] Starks HJH, Lister RD. "Experimental Investigations on the Braking Performance of Motor Vehicles". *Institution of Mechanical Engineers*, 8(1), 31-56, 1954.
- [3] Limpert R. *Brake Design and Safety*. 2<sup>nd</sup> ed. Warrendale, USA, SAE Inc., 1999.

- [4] Straky H, Kochem M, Schmitt J, Isermann R. "Influences of Braking System Faults on Vehicle Dynamics". *Control Engineering Practice*, 11(3), 337-343, 2003.
- [5] Kang J, Choi S. "Brake Dynamometer Model Predicting Brake Torque Variation Due to Disc Thickness Variation". *Journal of Automobile Engineering*, 221(1), 49-55, 2007.
- [6] Dunlap KB, Riehle MA, Longhouse RE. "An Investigate Overview of Automotive Disc Brake Noise". *International Congress and Exposition*, Detroit, Michigan, 1-4 March 1999.
- [7] Matsuzaki M, Izumihara T. "Brake Noise Caused by Longitudinal Vibration of the Disc Rotor". *SAE Paper*, No: 930804, 1993.
- [8] Börner M, Straky H, Weispfenning T, Isermann R. "Model Based Fault Detection of Vehicle Suspension and Hydraulic Brake Systems". *Mechatronics*, 12(8), 999-1010, 2002.
- [9] Jegadeeshwaran R, Sugumaran V. "Influences Method and Apparatus for Fault Diagnosis of Automobile Brake System Using Vibration Signals". *Recent Patents on Signal Processing*, 3(1), 2-11, 2013.
- [10] Bosch R. *Driving Safety Systems*. 2<sup>nd</sup> ed. Warrendale, USA, SAE Inc., 1999.

#### Ek A: Algoritma kuralları

No	Kural
1	Eğer (Yol teması farkı < %15) ise "Ön Amortisör Uyumu İyi";
	eğer (Yol teması farkı = %15) ise "Ön Amortisör Uyumu Kritik. Ön Sağ ve Sol Amortisörleri Kontrol Edip Karşılaştırınız.";
	eğer (Yol teması farkı > %15) ise "Ön Amortisör Uyumu Kötü. Araç önden sağa-sola çekebilir. Ön Sağ ve Sol Amortisörleri Kontrol Ediniz.";
2	Eğer (Sağ-sol aks kütle farkı < 200 N) ise "Kütle Uyumu İyi";
	eğer (Sağ-sol aks kütle farkı = 200 N) ise "Kütle Uyumu Kritik";
	eğer (Sağ-sol aks kütle farkı > 200 N) ise "Kütle Uyumu Kötü. Aks Yüklerini Kontrol Ediniz.";
3	Eğer (Fren disk sıklığı < %10) ise "Fren Disk Sıklığı Uyumu İyi";
	eğer (Fren disk sıklığı = %10) ise "Fren Disk Sıklığı Uyumu Kritik";
	eğer (Fren disk sıklığı > %10) ise "Fren Disk Sıklığı Uyumu Kötü. Fren Sıvısı Seviyesini, Disk ve Kaliperleri Kontrol Ediniz.";

No	Kural
4	<p>Eğer (Fren kuvvet farkı &lt; %30) ise "Fren Kuvveti Uyumu İyi";</p> <p>eğer (Fren kuvvet farkı = %30) ise "Fren Kuvveti Uyumu Kritik. Sağ ve Sol Fren Elemanlarını Kontrol Edip Karşılaştırınız.";</p> <p>eğer (Fren kuvvet farkı &gt; %30) ise "Fren Kuvveti Uyumu Kötü. Araç Frenleme Anında Sağa-Sola Çekebilir.";</p>
5	<p>Eğer (Fren tesir gücünü &lt; %30) ise "Fren Tesir Gücü Kötü. Frenleme Etkisinin Oluşumu Yavaş. Fren Mesafesi Artabilir. Fren Sistemini Kontrol Ediniz.";</p> <p>eğer (Fren tesir gücünü = %30) ise "Fren Tesir Gücü Kritik. Küçük Arızalarda Frenleme Etkisi Oluşum Hızı Azalabilir.";</p> <p>eğer (Fren tesir gücünü &gt; %30) ise "Fren Tesir Gücü İyi";</p>
6	<p>Eğer (Fren gücü farkı &lt; %30) ise "Fren Gücü Uyumu İyi. Tekerleklerin Fren Kuvveti Oluşum Hızı Uyumlu.";</p> <p>eğer (Fren gücü farkı = %30) ise "Fren Gücü Uyumu Kritik. Küçük Arızalarda Frenleme Dengesi Bozulabilir. Tekerleklerden Birinin Fren Etkisi Oluşumu Yavaşlayabilir.";</p> <p>eğer (Fren gücü farkı &gt; %30) ise "Fren Gücü Uyumu Kötü. Taşıt Gövdesi Gücü Yüksek Olan Tekerlek Tarafına Çekebilir.";</p>
7	<p>Eğer (Acil fren tesir gücü &lt; %25) ise "Acil Fren Tesir Gücü Kötü. Ani Frenlemede Fren Etkisinin Oluşum Hızı Yavaş.";</p> <p>eğer (Acil fren tesir gücü = %25) ise "Acil Fren Tesir Gücü Kritik. Ani Frenlemede Küçük Arızalarda Frenleme Etkisinin Oluşumu Hızı Yavaşlayabilir.";</p> <p>eğer (Acil fren tesir gücü &gt; %25) ise "Acil Fren Tesir Gücü İyi. Ani Frenleme Etkisi Çok Hızlı.";</p>
8	<p>Eğer (Frenleme oranı &lt; kritik frenleme oranı) ise "Frenleme Oranı Uygun";</p> <p>eğer (Frenleme oranı = kritik frenleme oranı) ise "Frenleme Oranı Kritik";</p> <p>eğer (Frenleme oranı &gt; kritik frenleme oranı) ise "Frenleme Oranı Çok Yüksek. Frenleme Anında Fren Gücü Yüksek Olan Aks Tekerlekleri Kilitlenebilir. Fren Güç Bilgilerini Kontrol Ediniz.";</p>

9	<p>Eğer (Frenleme ivmesi &lt; 0.58g) ise "Fren Kuvveti Uyumu İyi";</p> <p>eğer (0.58g &lt; Frenleme ivmesi ≤ 0.61g) ise "Fren Kuvveti Uyumu Kritik. Sağ ve Sol Fren Elemanlarını Kontrol Edip Karşılaştırınız.";</p> <p>eğer (Frenleme ivmesi ≥ 0.61g) ise "Fren Kuvveti Uyumu Kötü. Araç Frenleme Anında Sağa-Sola Çekebilir.";</p>
10	<p>Eğer (Sadece ön aks ile fren ivmesi &lt; 0.28g) ise "Sadece Ön Aks ile Frenleme İvmesi Kötü. Ön Aks ile Taşıttın Durma Mesafesi Uzar.";</p> <p>eğer (0.28g &lt; Sadece ön aks ile fren ivmesi ≤ 0.31g) ise "Sadece Ön Aks ile Frenleme İvmesi Kritik. Ön Aks ile Taşıttın Yavaşlaması Kötülebilir.";</p> <p>eğer (Sadece ön aks ile fren ivmesi &gt; 0.31g) ise "Sadece Ön Aks ile Frenleme İvmesi İyi";</p>
11	<p>Eğer (Sadece arka aks ile fren ivmesi &lt; 0.28g) ise "Sadece Arka Aks ile Frenleme İvmesi Kötü";</p> <p>eğer (0.28g ≤ Sadece arka aks ile fren ivmesi ≤ 0.30g) ise "Sadece Arka Aks ile Frenleme İvmesi Kritik";</p> <p>eğer (Sadece arka aks ile fren ivmesi &gt; 0.30g) ise "Sadece Arka Aks ile Frenleme İvmesi İyi";</p>

No	Kural
12	<p>Eğer (0.80 ≥ Ön fren kuvvet dağılımı ≥ 0.64) ise "Fren Kuvvet Dağılımı Çok İyi";</p> <p>eğer (0.36 ≥ Arka fren kuvvet dağılımı ≥ 0.20 ) ise "Ön Tekerlekler Arka Tekerleklerden Daha Önce Kilitlenir";</p> <p>eğer (0.64 &gt; Ön fren kuvvet dağılımı ≥ 0.50) ise "Fren Kuvvet Dağılımı İyi";</p> <p>eğer (0.50 ≥ Arka fren kuvvet dağılımı ≥ 0.36) ise "Ön Aksın Kilitlenmesi Gecikebilir";</p> <p>eğer (0.50 &gt; Ön fren kuvvet dağılımı ≥ 0.35) ise "Fren Kuvvet Dağılımı Kötü";</p> <p>eğer (0.65 ≥ Arka fren kuvvet dağılımı &gt; 0.50) ise "Arka Aks Tekerlekleri Ön Aksinkinden Daha Önce Kilitlenir";</p>

---

	Eğer (Aks frenleme verimi < 1) ise "Frenleme Verimi Çok İyi. Yüksek Fren Basınçlarında İlk Önce Ön Aks Tekerlekleri Kilitlenir.";
13	eğer (Aks frenleme verimi = 1) ise "Frenleme Verimi Kritik. Tutunmanın Azalması Durumunda Kilitlenme Olabilir.";
	eğer (Aks frenleme verimi > 1) ise "Frenleme Verimi Kötü. Tutunmanın Frenleme İvmesine Katkısı Azalmaktadır.";
<hr/>	
	Eğer (Direksiyon hâkimiyetine göre elde edilen frenleme oranı < kritik frenleme oranı) ise "Frenleme Anında Direksiyon Hakimiyeti Kötü ";
14	eğer (Direksiyon hâkimiyetine göre elde edilen frenleme oranı = kritik frenleme oranı) ise "Frenleme Anında Direksiyon Hakimiyeti Kritik";
	eğer (Direksiyon hâkimiyetine göre elde edilen frenleme oranı > kritik frenleme oranı ) ise "Frenleme Anında Direksiyon Hakimiyeti İyi ";

---

---

No	Kural
	Eğer (Dinamik kararlılığa göre elde edilen frenleme oranı < kritik frenleme oranı) ise " Frenleme Anında Direksiyon Hakimiyeti Kötü";
15	eğer (Dinamik kararlılığa göre elde edilen frenleme oranı = kritik frenleme oranı) ise " Frenleme Anında Direksiyon Hakimiyeti Kritik";
	eğer (Dinamik kararlılığa göre elde edilen frenleme oranı > kritik frenleme oranı ) ise " Frenleme Anında Direksiyon Hakimiyeti İyi";

---