

**FARKLI ABS (ANTI-LOCK BRAKE SYSTEM) FREN SİSTEMLERİNİN
PERFORMANSININ BELİRLENMESİNE YÖNELİK TEST
METODOLOJİSİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

Mesut DÜZGÜN

**DOKTORA TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MART 2009
ANKARA**

Mesut DÜZGÜN tarafından hazırlanan FARKLI ABS (ANTI-LOCK BRAKE SYSTEM) FREN SİSTEMLERİNİN PERFORMANSININ BELİRLENMESİNE YÖNELİK TEST METODOLOJİSİNİN GELİŞTİRİLMESİ adlı bu tezin Doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Duran ALTIPARMAK

Tez Danışmanı, Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Duran ALTIPARMAK

Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi.

Prof. Dr. Atilla KOCA

Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi.

Prof. Dr. Y. Samim ÜNLÜSOY

Makine Mühendisliği Bölümü, O.D.T.Ü.

Prof. Dr. M. Sahir SALMAN

Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi.

Prof. Dr. Tuna BALKAN

Makine Mühendisliği Bölümü, O.D.T.Ü.

Tarih: 28/03/2009

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nail ÜNSAL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Mesut DÜZGÜN

**FARKLI ABS (ANTI-LOCK BRAKE SYSTEM) FREN SİSTEMLERİNİN
PERFORMANSININ BELİRLENMESİNE YÖNELİK TEST
METODOLOJİSİNİN GELİŞTİRİLMESİ
(Doktora Tezi)**

Mesut DÜZGÜN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Mart 2009**

ÖZET

ABS (Anti-lock Brake System) performansını analiz edebilmek için frenleme basınç verilerinin doğru ve tekrarlanabilir bir şekilde elde edilmesi gerekir. Yolda yapılan fren performans testlerinde her zaman aynı şartlarda tekrarlanabilir veri alınması oldukça zordur. Farklı kontrol tekniklerine sahip araçlarda frenleme parametrelerinin değişimlerini incelerken ölçülen değerlerin aynı şartlarda elde edilmesi çok önemlidir. Özellikle farklı zemin şartları ve bölünmüş yol testleri, ABS kontrol tekniğini inceleme açısından büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışmada laboratuvar ortamında oluşturulan, farklı şartların test edilebildiği bir test sistemi ve cihazı geliştirilmiştir. Bu sistem ile ABS donanımlı araçlarda frenleme basınç ve pedal kuvvet verileri alınarak, analizler yapılmış ve fren etkinliği bu veriler ışığında değerlendirilmiştir. Geliştiren test sisteminde 3 farklı aracın ABS performansları test edilmiştir.

Bilim Kodu : 708.3.026
Anahtar Kelimeler : ABS, fren analizi, test metodolojisi, ABS kontrolü
Sayfa Adedi : 252
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Duran ALTIPARMAK

**DEVELOPMENT OF TEST METHODOLOGY TO DETERMINE
DIFFERENT ABS (ANTI-LOCK BRAKE SYSTEM)
PERFORMANCE
(Ph. D. Thesis)**

Mesut DÜZGÜN

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
March 2009**

ABSTRACT

Analysis of ABS (Anti-lock Brake System) performance requires reliable and repeatable recordings of brake pressure data. On road tests, it is very difficult to obtain repeatable test conditions. In the investigation of brake system variables for vehicles with differing brake systems, test procedures require some parameters to be kept constant. In particular, testing of ABS control strategies require the use of different road surfaces and μ -split conditions.

In this study a laboratory test system is developed and prototyped. The test system allows brake tests to be carried out under various realistic and repeatable road and vehicle dynamic conditions. Three vehicles with different ABS are tested and their, ABS performances are evaluated using the data from the developed test system.

**Science Code : 708.3.026
Key Words : ABS, brake analysis, test methodology, ABS control
Page Number : 252
Adviser : Prof. Dr. Duran ALTIPARMAK**

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren danışmanım çok değerli hocam Prof.Dr. Duran ALTIPARMAK'a, yine kıymetli bilgilerinden faydalandığım hocam Prof.Dr. Atilla KOCA'ya, çalışmalarımızda değerli katkılarını esirgemeyip bizlere zaman ayırarak her daim destek veren O.D.T.Ü. Makine Mühendisliği Öğretim Üyesi Prof.Dr. Y. Samim ÜNLÜSOY hocama, her konuda destek ve görüşlerini aldığım Doç.Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN, arkadaşlarım Arş.Gör. Yakup YILDIZ ve O.D.T.Ü. Bilgisayar Teknolojileri Bölümünde görev yapan Arş.Gör. Yavuz İNAL'a, Gazi Üniversitesi Otomotiv Anabilim Dalı Uzmanı Yılmaz BAYBÖRÜ hocama, çalışma arkadaşım Arş.Gör. Fatih ŞAHİN'e, Teknisyen Feyyaz EKMEKÇİ'ye ve diğer tüm hocalarıma, beni yalnız bırakmayan değerli arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca manevi desteklerini esirgemeyen anne, baba, kardeşlerime, her zaman yanımda olan eşim ve kızım Zeyneb'e ayrıca minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarına proje desteğini veren Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimi nezdinde Gazi Üniversitesi Rektörlüğüne de teşekkürlerimi arz ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xxii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xxiii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	7
2.1. Fren Pedal Kuvvetinin ABS Sistemi Üzerindeki Etkileri	7
2.2. Direksiyon Manevrasının ABS Sistemi Üzerindeki Etkileri	8
2.3. Frenleme Başlangıcındaki Taşıt Hızının ABS Sistemi Üzerindeki Etkileri ..	12
2.4. Tekerlek Hava Basıncının ABS Fren Sistemi Üzerinde Etkileri	15
2.5. ABS Test Sistemleri ve Yapılan Test Çalışmaları	16
2.6. ABS Kontrol Sistemleri, Yeni Yaklaşımlar ve Modeller	20
3. ABS SİSTEMİ, PARÇALARI VE ÇALIŞMA PRENSİPLERİ	29
3.1. Otomobillerde Kullanılan ABS Sistemi, Elemanları ve Çalışması	29
3.1.1. Tekerlek hız sensörü	29
3.1.2. Elektronik kontrol ünitesi (ECU)	31
3.1.3. Hidrolik modülatör (ABS2S ve ABS5)	35
3.2. ABS Çalışma Fonksiyonları	37
3.2.1. Temel kapalı kontrol fonksiyonu	39

Sayfa

3.2.2. Kapalı kontrol fonksiyonundaki bozukluklar	41
3.2.3. Kontrol kalitesini belirleyen kriterler	42
3.3. ABS Sisteminin Otomobillerdeki Dinamik Yapıya Etkileri	43
3.3.1. ABS'li frenlemelerde tekerleklerdeki tutunma kuvveti analizi	43
3.3.2. Tekerlek - zemin etkileşimi	45
3.3.3. Tutunma ve kayma ilişkileri	46
3.3.4. ABS çalışma şartlarının belirlenmesi	49
3.3.5. Fren kontrolü ile savrulma momenti artışının geciktirilmesi.....	51
3.4. Fren Sistemi Tasarımı ve Devre Biçimleri.....	53
4. ABS ÇEŞİTLERİ VE KONTROL FARKLILIKLARI	58
4.1. Kanal Sayılarına Göre ABS Çeşitleri.....	58
4.1.1. Dört (4) kanallı sistem (versiyon 1 , 2)	58
4.1.2. Üç (3) kanallı sistem (versiyon 3).....	59
4.1.3. İki (2) kanallı sistemler (versiyon 4,5,6)	59
4.2. ABS Kontrol Sistemlerinin Tasarımı	60
4.3. ABS'de Uygulanan Kontrol Teknikleri	63
4.3.1. Bağımsız kontrol tekniği.....	63
4.3.2. Select-low (düşük duyarlı) kontrol tekniği	63
4.3.3. Select-high (yüksek duyarlı) kontrol tekniği	63
4.4. ABS'de Kullanılan Farklı Kontrol ve Sistem Çeşitleri	64
4.4.1. ABS 2S / 3 kanal ve 4 kanallı fren sistemi (Bosch).....	64
4.4.2. ABS 2E fren sistemi (Bosch).....	68
4.4.3. ABS 5 fren sistemi (Bosch)	69

Sayfa

4.4.4. Çekiş kontrol sistemi (TCS) ve elektronik stabilite programı (ESP) ile birlikte ABS sistemleri (Bosch)	71
4.4.5. MK2 fren sistemi (Teves)	74
4.4.6. MK4 fren sistemi ile çekiş kontrol sistemi (TCS)	76
4.4.7. MK20 fren sistemi (Teves)	77
4.4.8. Pompasız ABS sistemi (Denso)	78
5. ABS PERFORMANS TEST YÖNTEMLERİ	80
5.1. Yol Testleri ve Şartlarının Belirlenmesi	80
5.1.1. Veri toplama sistemleri	84
5.1.2. Pedal kuvvet sensörü	85
5.1.3. Pedal kuvvet uygulayıcısı	85
5.1.4. İvme sensörü veya gyro (jiroskop) sistemleri	86
5.1.5. Araç ve tekerlek hız sensörleri	86
5.1.6. Direksiyon açısı sensörü	88
5.1.7. Tekerlek tork ölçüm sistemleri	89
5.2. Mevcut Laboratuar ABS Test Cihazları	90
6. ABS PERFORMANS TESTLERİ VE DEĞERLENDİRME SÜRECİ	100
6.1. ABS Sistemi Performansını Belirlemeye Yönelik Değerlendirme Kriterleri	100
6.2. ABS Sistemi Performansının Artırılması İçin Tasarım Kriterleri	101
6.2.1. Hidrolik modülatör ve selenoid valflerin orifis boyutları	101
6.2.2. Fren pedalı titreşim hissinin en az seviyede tutulması	102
6.2.3. Pompa performansında boyutlandırmanın önemi	102
6.2.4. Düşük basınç akümülatörü için boyutlandırma	103

Sayfa

6.3. ABS Performans Testlerinin Gerekliliği	103
6.3.1. Dinamometre testleri ile performans değerlendirmeleri.....	104
6.3.2. Yol testleri ile performans değerlendirmeleri.....	104
6.3.3. Test değerlendirme yöntemleri	107
6.4. ABS Testlerinde Aracın Durma Mesafesine Etki Eden Faktörler	111
7. GELİŞTİRİLEN ABS TEST SİSTEMİ VE METODU	114
7.1. Geliştirilen Yeni ABS Test Sistemi.....	114
7.1.1. Yol şartlarının sağlandığı test simülatörü	116
7.1.2. Veri ölçüm ve analiz sistemi.....	122
7.2. Test Prosedürü ve Test Sisteminde Dikkat Edilecek Hususlar	128
7.2.1. Test işlemine hazırlık.....	129
7.2.2. Kayma, hız ve pedal kuvveti değişkenlerinin uygulanması	132
7.2.3. Frenleme esnasındaki kayan tekerlek tercihleri.....	134
7.3. Test Sisteminde Kullanılan Araçlar	135
7.4. Araçlara Test Sistemlerin Yerleştirilmesi	136
7.4.1. Renault Safrane test aracı	137
7.4.2. Renault Megane test aracı.....	139
7.4.3. Honda Civic test aracı.....	140
8. TEST SONUÇLARININ TARTIŞILMASI	142
8.1. Test Parametrelerinin Seçimini Etkileyen Faktörler	142
8.2. Testlerinin Uygulanması	144
8.3. Renault Marka Safrane (1996) Model Araç ABS Testleri	146

Sayfa

8.3.1. Safrane sol ön ve sağ ön tekerleklerde birlikte kayma testleri (A).....	146
8.3.2. Safrane sol ön tekerlekte kayma testleri (B).....	149
8.3.3. Safrane sağ ön tekerlekte kayma testleri (B2)	152
8.3.4. Safrane sol ön/sol arka birlikte, sol ön/sağ arka birlikte, sol veya sağ arka tekerleklerde ayrı ayrı kayma testleri (C).....	152
8.3.5. Safrane sol ön/sol arka veya sol ön/sağ arka tekerleklerde birlikte 5 m/s ² ivme, %35 kayma testleri (D)	155
8.3.6. Safrane sol ön/sol arka veya sol ön/sağ arka tekerleklerde 100 km/h ve 8m/s ² 'de kayma testleri (E).....	158
8.3.7. Safrane maksimum pedal kuvvetlerinde bütün tekerleklerde kayma testleri (F)	160
8.4. Renault Marka Megane (1999) Model Araç ABS Testleri	161
8.4.1. Megane sol ön ve sağ ön tekerleklerde kayma testleri (1).....	161
8.4.2. Megane sol ön/sol arka veya sol ön/sağ arka tekerleklerde birlikte kayma testleri (2).....	163
8.4.3. Megane sol ön tekerlekte kayma testleri (3).....	166
8.4.4. Megane sağ ön tekerlekte kayma testleri (4)	169
8.4.5. Megane sol arka veya sağ arka tekerlekte ayrı ayrı kayma testleri (5)	169
8.4.6. Megane sol ön/sol arka veya sol ön/sağ arka tekerleklerde birlikte kayma testleri (6).....	170
8.4.7. Megane sol ön/sol arka veya sol ön/sağ arka tekerleklerde %25 kayma testleri(7).....	172
8.4.8. Megane düşük pedal kuvvetlerinde sol arka veya sağ arka tekerlekte ayrı ayrı kayma testleri (8).....	172
8.4.9. Megane maksimum pedal kuvvetlerindeki kayma testleri (9).....	173
8.5. Honda Marka Civic (2001) Model Araç ABS Testleri	174

Sayfa

8.5.1. Civic sol ön ve sağ ön tekerleklerde birlikte kayma testleri (I)	175
8.5.2. Civic sol ön tekerlekte kayma testleri (II)	177
8.5.3. Civic sağ ön tekerlekte kayma testleri (III)	178
8.5.4. Civic düşük pedal kuvvetinde 5m/s^2 ivmede sol ön ve sağ ön tekerleklerde ayrı ayrı kayma testleri (IV-V)	178
8.5.5. Civic sol arka veya sağ arka tekerlekte ayrı ayrı kayma testleri (VI).....	179
8.5.6. Civic düşük pedal kuvvetinde sol ön ve sağ arka tekerleklerde %35 kayma testleri (VII)	181
9. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	184
9.1. Geliştirilen Test Sisteminin Değerlendirilmesi	184
9.2. Farklı ABS Donanımlarına Sahip Araç Testlerinin Değerlendirilmesi.....	187
9.3. Öneriler.....	190
KAYNAKLAR	192
EKLER.....	197
EK-1 Hız Kontrol Cihazı Parametreleri ve Özellikleri.....	198
EK-2 Basınç Sensörleri Teknik Bilgileri	202
EK-3 Veri Toplama Kartı Teknik Bilgileri.....	203
EK-4 Test Matrisleri	204
EK-5 Test Sonuçlarının Ek Grafikleri	237
ÖZGEÇMİŞ	251

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1.	Testlerde kullanılan taşıt üzerine kurulan sistem 17
Şekil 2.2.	Farklı zeminlerde yapılan testlerde elde edilen yanal ve doğrusal tutunma- kayma karakteristikleri 18
Şekil 2.3.	Farklı zemin şartlarında ABS’li ve ABS’siz frenleme esansında elde edilen kayma açıları ve yanal tutunma eğrileri 18
Şekil 2.4.	Manevra yeterlilik testlerinde kullanılan test ekipmanları ve veri toplama kartları 19
Şekil 2.5.	Araç hızı, tekerlek hızı ve pedal kuvveti ölçüm ekipmanları..... 19
Şekil 2.6.	Testlerde kullanılan araçlarda süspansiyonlarda yüklü şartları oluşturmak için yapılan simülasyonlar..... 20
Şekil 2.7.	Tekerleğin kuru asfaltta oluşturduğu karakteristiklere, tahmin yolu ile geliştirilen tutunma-kayma eğrisi..... 20
Şekil 2.8.	Genelleştirilmiş tahmin kontrol sistemi ile yapılan simülasyon sonucunda elde edilen tekerlek taşıt hız değişimleri 21
Şekil 2.9.	Simülasyon sonuç eğrisine göre kayma eğrisinin değişimi 22
Şekil 2.10.	Simülasyon zamanında, yanal kayma (F_y) miktarının, doğrusal kayma (F_x) miktarına oranının değişimi 22
Şekil 2.11.	Simülink ile yapılmış ABS Fuzzy kontrol modeli 24
Şekil 2.12.	ABS Fuzzy kontrol modeli hız değişimleri..... 24
Şekil 2.13.	Simülink ile yapılmış ABS kayma modu kontrol modeli 25
Şekil 2.14.	ABS kayma modu kontrol modeli hız değişimleri..... 25
Şekil 2.15.	Simülink ile yapılmış ABS fuzzy kayma modu kontrolü 26
Şekil 2.16.	ABS fuzzy kayma modu kontrolü hız değişimleri 26
Şekil 2.17.	NHTSA ve USDOT’da yapılan ABS performans testlerinde elde edilen frenleme torku ve hız değişimleri 28

Şekil		Sayfa
Şekil 2.18.	Testlerde elde edilen basınç değişimleri ve taşıt tekerlek hız değişimleri	28
Şekil 3.1.	İndüktif devir sensörü.....	30
Şekil 3.2.	Aktif çok kutuplu tekerlek hız sensörü	30
Şekil 3.3.	Hall-effect sensör	31
Şekil 3.4.	Bosch 4- kanallı sistemin elektronik kontrol ünitesi (ECU)	32
Şekil 3.5.	ABS 2S fren sistemi	35
Şekil 3.6.	ABS 5 fren sistemi	36
Şekil 3.7.	2/2 solenoid valfler	37
Şekil 3.8.	Çeşitli yol ve kayma şartlarında ABS çalışma aralıkları.....	38
Şekil 3.9.	Frenlenmiş tekerlekte oluşan kuvvetler.....	39
Şekil 3.10.	Tutunma / kayma eğrisi.....	41
Şekil 3.11.	ABS kontrol döngüsü	42
Şekil 3.12.	100 km/h hızda bir taşıtta frenleme esnasında frenleme kuvveti, tekerlek yükü ve tekerlek hız değişimleri	44
Şekil 3.13.	Dinamik tekerleğin serbest cisim diyagramı	46
Şekil 3.14.	Tekerlek kayma oranı ve ivmesinin zamana bağlı değişimleri.....	51
Şekil 3.15.	Sürtünme katsayısındaki büyük değişiklik sonucu araçta savrulma	52
Şekil 3.16.	Savrulmanın artmasına sebep olan fren basıncı/ direksiyon açısı eğrileri (GMA)	53
Şekil 3.17.	Fren kuvveti dağılım diyagramı	54
Şekil 3.18.	Fren devre çeşitleri	56
Şekil 4.1.	ABS sistem çeşitleri	58

Şekil		Sayfa
Şekil 4.2.	Kapalı kontrol sistemi	61
Şekil 4.3.	Açık kontrol sistemi	61
Şekil 4.4.	Üç (3) kanallı hidrolik modülatörün fonksiyon diyagramı	65
Şekil 4.5.	Dört (4) kanallı hidrolik modülatörün fonksiyon diyagramı.....	65
Şekil 4.6.	Yüksek tutunma şartlarında ABS kontrol çevrimi	66
Şekil 4.7.	ABS2E hidrolik sistemi (X fren kuvvet dağıtımı için)	68
Şekil 4.8.	ABS5 hidrolik sistemi (X fren kuvvet dağıtımı için)	71
Şekil 4.9.	ABS/TCS sistem elemanları.....	72
Şekil 4.10.	ABS ve ESP için hidrolik sistem ABS TCS 5 sistemi	73
Şekil 4.11.	ABS/TCS 5 sistemi için X fren dağıtım sistemi devresi.....	74
Şekil 4.12.	ABS MK (Teves) şematik diyagramı.....	75
Şekil 4.13.	ABS/TCS MK 4 (Teves) şematik diyagramı	77
Şekil 4.14.	ABS MK 20 (Teves) şematik diyagramı.....	77
Şekil 4.15.	Pompasız ABS (Denso) şematik diyagramı	79
Şekil 5.1.	ABS performans testlerinin yapıldığı özel bir pist.	81
Şekil 5.2.	Hafif ticari araçlarda ABS etkinliği testlerinin yapıldığı pist özellikleri	82
Şekil 5.3.	NHTSA’da yapılan manevra ve bölünmüş yol testlerinin yapıldığı alanlar	82
Şekil 5.4.	Manevra ve farklı zeminlerde frenlemeli geçiş testlerinin yapıldığı alan	83
Şekil 5.5.	U.S Army Aberdeen test merkezinde ıslak zemin test alanı	83
Şekil 5.6.	ABS performans testlerinde kullanılan veri toplama sistemi.....	84
Şekil 5.7.	Fren pedal kuvvet sensörü.....	85

Şekil	Sayfa
Şekil 5.8. Pedal kuvvet uygulayıcısı.....	86
Şekil 5.9. İvme ve jiroskop moment ölçüm sistemleri	86
Şekil 5.10. İnfrared alıcı göz ve encoder yöntemi ile tekerlek hız ölçümü	87
Şekil 5.11. Radar yöntemi ve optik hız ölçüm sistemleri.....	87
Şekil 5.12. Araç üzerindeki 5. tekerlek montajı	88
Şekil 5.13. ABS testlerinde kullanılan direksiyon açısı ölçüm sistemleri ve sensörü.....	89
Şekil 5.14. Piezo elektrik tabanlı ölçüm yapan tekerlek tork ölçüm sistemi.....	89
Şekil 5.15. Motor ile test cihazı tahrik sistemi arasındaki elemanların bağlantı şeması	92
Şekil 5.16. Kayma elemanı olarak adlandırılan sistemin cihaz üzerindeki yeri..	93
Şekil 5.17. Test cihazı üzerinde aracın ABS kontrolü.....	94
Şekil 5.18. Cihazın kontrol panelinden alınan tekerlek hız değişimleri.....	95
Şekil 5.19. Farklı tekerlek hızlarında oluşan frenleme kuvvetleri değişimi.....	96
Şekil 5.20. Tamburlu fren test cihazı elemanları.....	97
Şekil 5.21. Fren dinamometresi tekerlek ölçüm ünitesi	98
Şekil 5.22. Fren test hattı üzerine aracın alınması ve tamburlarda araç hareketi	99
Şekil 6.1. Araç içerisine yerleştirilmiş veri toplama üniteleri ve test sistemi	106
Şekil 6.2. ABS fren sisteminin atlama (jump), bölünmüş yoldaki veri değişimleri.....	108
Şekil 6.3. Değişik kontrol teknikleri için bulunan durma mesafeleri.....	112
Şekil 7.1. Geliştirilen test sistemi (1.kısım veri ölçüm, 2.kısım yol simülatör sistemi)	116
Şekil 7.2. Yol simülatör sisteminin araca monte edilmiş şematik gösterimi.....	117

Şekil	Sayfa
Şekil 7.3.	Hız kontrollü simülatör motorları ve indüktif sensör bağlantısı 118
Şekil 7.4.	Yol simülatörü (hız kontrol cihazları, simülatör motorları, sensörler ve kayma kontrol paneli) 118
Şekil 7.5.	Hız kontrol (invertör) cihazları ve kayma kontrol paneli..... 119
Şekil 7.6.	Test sisteminde kullanılan ön tekerlek kontrollerini gerçekleştiren hız kontrol cihazları (invertör çifti) 120
Şekil 7.7.	Kayma kontrol paneli ve örnek kayma değer butonları (%15, 25, 35) 120
Şekil 7.8.	5 adet basınç sensörü ve hidrolik bağlantıları bulunan basınç akümülatörü..... 122
Şekil 7.9.	Basınç sensörlerinden gelen basınç sinyalleri 123
Şekil 7.10.	Hidrolik modülatöre basınç ölçüm sisteminin monte edilmiş hali 123
Şekil 7.11.	Pedal kuvvet sensörü, ADAM 3016 modül ve araç üzerindeki görünüşü 124
Şekil 7.12.	ADAM 3016'nın ağırlık kontrolü ile kalibrasyon ayarı..... 125
Şekil 7.13.	Hız sensörleri ara bağlantı konnektörleri 125
Şekil 7.14.	Nİ 6216 USB bağlantılı veri toplama kartı 126
Şekil 7.15.	Veri toplama kartı, bilgisayar sisteminin araçtaki bağlantısı 127
Şekil 7.16.	LabWIEV Signal Express programında verilerin işlenmiş grafik hali 127
Şekil 7.17.	Araç tekerleklerinin pozisyonları ve kayma uygulanan tekerlekler 134
Şekil 7.18.	Test araçları (Renault Megane , Safrane, Honda Civic) 136
Şekil 7.19.	ABS test sisteminin araca monte edilmesi 136
Şekil 7.20.	Renault Safrane test aracındaki Bosch ABS 2E model şeması 137
Şekil 7.21.	Bosch ABS 2E versiyonunun araç üzerindeki yerleşimi 138

Şekil	Sayfa
Şekil 7.22.	Renault Safrane için hidrolik modölatör bağlantı şekli..... 138
Şekil 7.23.	Renault Megane test aracındaki Bosch ABS 5 model şeması..... 139
Şekil 7.24.	Renault Megane için hidrolik modölatör bağlantı şekli 140
Şekil 7.25.	Honda Civic test aracındaki Bosch ABS 5.3 model şeması..... 141
Şekil 7.26.	Honda Civic için hidrolik modölatör bağlantı şekli 141
Şekil 8.1.	Safrane test aracında sol ve sağ ön tekerleklerin kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme başlangıcı) 147
Şekil 8.2.	Safrane test aracında sol ve sağ ön tekerleklerin kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme bitimi) 148
Şekil 8.3.	Safrane test aracında sol ve sağ ön tekerleklerin kayması esnasındaki pedal kuvveti değişimi..... 149
Şekil 8.4.	Safrane test aracında sol ön tekerleğin kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme başlangıcı) 150
Şekil 8.5.	Safrane test aracında sol ön tekerleğin kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme bitimi) 151
Şekil 8.6.	Safrane test aracında sol ön tekerleğin kayması esnasındaki pedal kuvveti değişimi 152
Şekil 8.7.	Safrane test aracında sol arka veya sağ arka tekerleklerin ayrı ayrı kayması ve sol ön, sol arka veya sol ön, sağ arka tekerleklerin çapraz kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme başlangıcı) 153
Şekil 8.8.	Safrane test aracında sol arka veya sağ arka tekerleklerin ayrı ayrı kayması ve sol ön, sol arka veya sol ön, sağ arka tekerleklerin çapraz kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme bitimi) 154
Şekil 8.9.	Safrane test aracında sol arka veya sağ arka tekerleklerin ayrı ayrı kayması ve sol ön, sol arka veya sol ön, sağ arka tekerleklerin çapraz kayması esnasındaki pedal kuvveti değişimleri..... 155

Şekil	Sayfa
Şekil 8.10. Safrane test aracında sol ön, sol arka veya sol ön, sağ arka tekerleklerin çapraz kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme başlangıcı)	156
Şekil 8.11. Safrane test aracında sol ön, sol arka veya sol ön, sağ arka tekerleklerin çapraz kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme bitimi)	157
Şekil 8.12. Safrane test aracında sol ön, sol arka veya sol ön, sağ arka tekerleklerin çapraz kayması esnasında oluşan pedal kuvveti değişimleri.....	158
Şekil 8.13. Safrane test aracında yüksek hız ve yavaşlama ivmesinde sol ön, sol arka veya sol ön, sağ arka tekerleklerin çapraz kayması esnasında oluşan ABS kontrolü	159
Şekil 8.14. Safrane test aracında yüksek hız ve yavaşlama ivmesinde sol ön, sol arka veya sol ön, sağ arka tekerleklerin çapraz kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme başlangıcı)	160
Şekil 8.15. Megane test arcında sol ve sağ ön tekerleklerin kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme başlangıcı)	161
Şekil 8.16. Megane test aracında sol ve sağ ön tekerleklerin kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme bitimi)	162
Şekil 8.17. Megane test aracında sol ve sağ ön tekerleklerin kayması esnasında oluşan pedal kuvveti değişimleri	163
Şekil 8.18. Megane test aracında sol ön, sol arka veya sol ön, sağ arka tekerleklerin çapraz kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme başlangıcı)	164
Şekil 8.19. Megane test aracında sol ön, sol arka veya sol ön, sağ arka tekerleklerin çapraz kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme bitimi)	165
Şekil 8.20. Megane test aracında sol ön, sol arka veya sol ön, sağ arka tekerleklerin çapraz kayması esnasındaki pedal kuvveti değişimleri.....	166
Şekil 8.21. Megane test aracında sol ön tekerleğin kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme başlangıcı)	167

Şekil	Sayfa
Şekil 8.22. Megane test aracında sol ön tekerleğin kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme bitimi)	168
Şekil 8.23. Megane test aracında sol ön tekerleğin kayması esnasındaki pedal kuvveti değişimleri	168
Şekil 8.24. Megane test aracında sol arka veya sağ arka tekerleklerin ayrı ayrı kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme bitimi)	169
Şekil 8.25. Megane test aracında sol ön, sol arka veya sol ön, sağ arka tekerleklerin çapraz kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme başlangıcı)	170
Şekil 8.26. Megane test aracında sol ön, sol arka veya sol ön, sağ arka tekerleklerin çapraz kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme bitimi)	171
Şekil 8.27. Megane test aracında sol ön, sol arka veya sol ön, sağ arka tekerleklerin çapraz kayması esnasındaki pedal kuvveti değişimleri	172
Şekil 8.28. Megane test aracındaki sol arka veya sağ arka tekerleklerin ayrı ayrı kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme başlangıcı)	173
Şekil 8.29. Megane test aracında sol arka veya sağ arka tekerleklerin ayrı ayrı kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme başlangıcı EBD etkisi)	174
Şekil 8.30. Civic test aracında sol ve sağ ön tekerleklerin kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme başlangıcı)	175
Şekil 8.31. Civic test aracında sol ve sağ ön tekerleklerin kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme bitimi)	176
Şekil 8.32. Civic test aracında sol ve sağ ön tekerleklerin kayması esnasındaki pedal kuvveti değişimleri.....	177
Şekil 8.33. Civic test aracında sol ön tekerleğin kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme başlangıcı)	178
Şekil 8.34. Civic test aracında sol ön tekerleğin kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme başlangıcı)	179

Şekil	Sayfa
Şekil 8.35. Civic test arcında sol arka veya sağ arka tekerleklerin ayrı ayrı kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme başlangıcı)	180
Şekil 8.36. Civic test aracında sol arka veya sağ arka tekerleklerin ayrı ayrı kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme bitimi)	181
Şekil 8.37. Civic test aracında sol ön, sol arka tekerleklerin birlikte kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme başlangıcı)	182
Şekil 8.38. Civic test aracında sol ön, sol arka tekerleklerin birlikte kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme bitimi)	183

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Lastiklerin yol üzerindeki tutunma katsayıları (μ_{ro})	48
Çizelge 7.1. Hız kontrol cihazlarındaki test hızlarının ve ivme değişimlerinin örnek hesaplanmış frekansları, değişim süreleri	121
Çizelge 7.2. Test matrisinden seçilmiş bir test grubu.....	133
Çizelge 8.1. Test matrisinde benzer sonuçları gösteren test grupları	145

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
a_y	Yavaşlama ivmesi, m/s^2
e	Tekerlek basınç merkezi ile geometrik merkez arasındaki mesafe m
f_{ro}	Yuvarlanma direnci
F	Ortalama fren kuvveti, N
F_b	Frenleme torku, Nm
F_{net}	Tutunmaya bağımlı net tahrik kuvveti, N
F_s	Yanal kuvvet, N
F_t	Tekerlek tahrik kuvveti, N
F_w	Uygulanan tahrik kuvveti N
G	Taşıt ağırlığı, N
m	Kütle, kg
M_a	Aks torku Nm
r_w	Tekerlek dinamik yarıçapı m
R_{ro}	Yuvarlanma direnci N
V	Son hız, m/s
V_0	Frenleme başlangıcındaki hız, m/s
V_s	Frenleme sonundaki hız, m/s
V_w	Tekerlek çevresel hızı, m/s
W	Tekerleğe gelen tepki kuvveti N
λ	Kayma, %
μ	Sürtünme katsayısı
μ_{HF}	Ön tekerlek – yol tutunma katsayısı
μ_{max}	Tutunma katsayısı maksimum değeri
μ_{ro}	Toplam yuvarlanma tutunma katsayısı
μ_t	Tutunma katsayısı

Simgeler	Açıklama
U_0	Besleme gerilimi V
U_s	Sensör gerilimi V
α	Kayma açısı ($^{\circ}$)
ω	Açısal hız rad/s
θ	Kayma yapan tekerleğin açısal hızı rad/s
θ_0	Serbest hareket eden tekerleğin açısal hızı rad/s

Kısaltmalar	Açıklama
ABS	Anti-lock Brake System
ASR	Anti Spin Regulations
AV	Giriş Valfi
CAN	Controller Area Network
DVP	Design Verification Plan
EBD	Elektronik Brake Force Distrubitions
ECU	Electronic Control Unit
ESP	Electronic Stability Programme
ETC	Electronic Traction Control
EV	Çıkış Valfi
FLC	Fuzzy Logic Control
GMA	Gier Moment Anstiegsverzögerung (Yaw Moment Increase Delay)
GPC	Generally Prediction Control
HIL	Hardware in the Loop
HL	Arka Sol Tekerlek
HR	Arka Sağ Tekerlek
ISO	International Standart of Organization
LSI	Large Scale İntegration

Kısaltmalar	Açıklama
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration
PWM	Pulse Width Modulation
SCM	Slip Circle Model
TCS	Traction Control Systems
USDOT	United States Department of Transportation
VL	Ön Sol Tekerlek
VR	Ön Sağ Tekerlek
VRTC	Vehicle Research and Test Center
VSC	Vehicle Skid Control

1. GİRİŞ

Günümüz otomobillerinde sürüş güvenliği çok büyük önem taşımaktadır. Kaygan zemin şartlarında, sürücünün kontrolsüz, panik frenlemesi sonucunda araç tekerleklerinin kilitlenerek kızaklaması kaçınılmazdır. Bunun sonucu olarak da araç tamamen kontrolden çıkarak, tehlikeli bir manevra meydana getirmektedir.

Çeşitli yol-zemin şartlarında aracın emniyetli bir şekilde frenleme yapması, tekerleklerin kilitlenmeden hareket etmesine bağlıdır. Fren sisteminden beklenen fonksiyon, aracın özellikle kaygan yol şartlarında uygun bir mesafede güvenli olarak durmasını sağlamasıdır. Bu anlamda motorlu araçlarda kullanılan fren sistemleri, aktif güvenlik sistemi olarak tanımlanabilir. Bu sistemi destekleyen en önemli gelişme ise, her türlü frenleme şartlarında tekerleklerin kilitlenmesini önleyen ABS'dir [1].

1950-1952 yılları arasında hava araçları için geliştirilen ABS fren sistemleri, otomobiller için ilk defa 1972 yılında İngiltere'de üretildi. Başlangıçta sadece arka tekerlek sensör kontrollü sistemler üretilirken daha sonraları dört tekerlekten hız kontrollü sistemler geliştirilerek yapılan çalışmalar 1980'lerde oldukça iyi bir seviyeye ulaştı. Sistem, 1970'lerin başlarında dijital elektronik alanındaki gelişmeler ışığında ilk defa otomobillerde 1978 yılında Robert Bosch tarafından Mercedes binek araçlar için uygulanmıştır [2].

1980'lerin başında birçok otomobil firması tarafından kullanılmaya başlayan ABS günümüz araçlarının birçoğunda ve yeni üretilen araçların büyük bir bölümünde standart fren sistemi olarak kullanılmaktadır. [3].

ABS fren sistemi ani frenleme ve frenleme esnasındaki manevralarda taşıtın direksiyon hâkimiyetini sağlamasına yardım ederek taşıt güvenlik ve kontrolünün iyileştirilmesini sağlamaktadır.

Araç ve üreticiye bağlı olarak değişik versiyonlar şeklinde kullanılan ABS fren sistemleri birçok üretici tarafından ayrı ayrı tasarlanarak üretilmekte ve sonuçta bir sistem olarak kullanılmaktadır. Üreticiye ve araç sınıfına göre kullanılma şekilleri de değişiklikler göstermektedir. Bazı araçlarda arka tekerlekler ABS fren sistemi ile donatılmış iken (örnek olarak kamyonetler ve arazi araçlarında, spor araçlarda) birçok araçta dört tekerlekte ABS fren sistemi kullanılmaktadır.

Binek araçlarda bazı ABS fren sistemleri ön tekerleklerdeki frenleme torkunu birbirinden bağımsız olarak ayarlarken arka tekerleklerin frenleme torkunu birlikte ayarlamaktadır. Bazı sistemlerde her bir tekerlek için bu kontrol bağımsız olarak gerçekleştirilmektedir.

Çok sayıda araç ve ABS fren sistemi üreticisi bulunmaktadır. Bundan dolayı 4 tekerli ABS fren sistemi ile donatılmış araçlar arasında bir takım farklılıklar bulunmaktadır. Farklı konfigürasyona sahip araçların dizaynlarında çeşitli varyasyonlara ihtiyaç duyulmaktadır. Örneğin önden çekişli bazı araçlarda her bir tekerlekte bir adet hız sensörü bulunurken, arkadan çekişli araçlarda ön tekerleklerin her birinde birer adet ve arka tekerleklerin hızını ölçmek içinde arka diferansiyel üzerine yerleştirilmiş bir adet hız sensörü bulunmaktadır. Bunlar haricinde başka farklılıklar da bulunmaktadır.

Tekerleğin her bir dönüşünde hız sensörünün meydana getirdiği sinyal sayısı dizayndan dizayna farklılıklar göstermektedir. Bazı araçlarda indüktif sensörler ile sinüs eğrileri üretilerek hız bilgisi kaydedilmekte, bazı araçlarda ise kare dalga üreten encoder sistemleri kullanılmaktadır. ABS kontrol sistemlerinde kullanılan tescilli algoritmalar değişik üreticiler tarafından geliştirilmekte ve bunlara uygun sensörler tercih edilmektedir.

ABS fren sistemi ve fren merkezinin çalışma prensipleri ABS fren sisteminin frenleme hareketi ve taşıt dinamik hareketi üzerinde ki etkilerini yakından

ilgilendirmektedir. Bir aracın değişik frenleme koşullarında nasıl bir performans sergileyeceği aşağıdaki hususlara göre önem arz etmektedir;

- Taşıt kararlılığı ve kararlılık kontrolü,
- Taşıt dinamik yapısı ve davranışları,
- Kazaların yeniden tasarlanması ve rekonstrüksiyon canlandırılması,
- Akıllı otoban sistemleri ve aktif güvenlik sistemlerinin kullanılması.

Günümüz binek ve ticari araçlarında frenleme esnasında kilitlenmiş bir tekerleğin fren karakteristiği ve fren performansına yönelik etkileri üzerine pek çok çalışma mevcutken, ABS'nin davranışlarının ve basınç kontrollerinin açıklanamayan yönleri, ABS'nin frenleme parametreleri üzerindeki etkileri, test edilebilme metotları ile ilgili az sayıda çalışma bulunmaktadır.

ABS'nin frenleme karakteristikleri üzerinde Clemens, 1998 model Ford Mustang SUT Cobra ile 7 farklı ultra yüksek performanslı lastikle ABS testleri yapmıştır. Testler 97 km/h hızla kuru ve ıslak beton zeminde yapılan frenlemeyi, kuru ve ıslak zeminde yanal ivmelenmelerin ölçümlerini içermektedir. Bu çalışma sonucunda yedi lastikten biri hariç tüm lastiklerin birbiriyle karşılaştırılabilir sürtünme karakteristiklerine sahip oldukları görölmüştür. Yedi lastikten bir tanesi kuru zeminde 97 km/h hızda diğerlerine göre iki kat bir mesafede durmuştur. Kuru zemindeki frenleme bozukluğunun sadece lastik kaynaklı olmasının olasılık dışı bir durum olduğu ve burada ABS kontrolünde etkilerinin olduğu belirtilmiştir [4].

Clemens lastiğin kuru zemindeki performansının ıslak zemindeki performansına göre daha kötü olmasına mantıksal bir açıklama getirememiştir. Bu çalışma değişik lastiklerle test edilmiş olan ABS'nin, bu lastikle kuru beton zemindeki frenlemeyi düzgün sağlayamadığı sonucunu göstermektedir. Bu tür araştırmalar bu alanda daha fazla çalışmanın yapılmasının gerekliliğini göstermektedir.

ABS fren sisteminin avantajlarından bir tanesi de ani frenleme esnasında direksiyon hâkimiyetinin sağlanmasına yardımcı olmaktır. Aracın kombine frenleme ve direksiyon manevralarında nasıl bir performans sergileyeceğinin bilinmesi açısından ABS testleri büyük öneme sahiptir. Aracın ne tür bir ABS ile donatıldığının da bilinmesi manevra gerektiren frenlemelerde önem teşkil etmektedir. Kilitlenmiş bir tekerlekte frenleme esnasında direksiyon kontrolü mümkün değildir bu yüzden frenleme esnasında kilitlenmiş tekerlerde nasıl bir direksiyon manevrası yapılacağı üzerine bir araştırma yapılması birçok araştırmacı tarafından çok gerekli görülmemiştir. ABS'li araçlarda ise bu tür çalışmalara ihtiyaç vardır ancak bu alanda az sayıda doküman ve yapılmış proje bulunmaktadır.

Binek araçlarda acil durum manevralarında ABS'nin etkisiyle ilgili literatürde iyi açıklanmayan birçok konu bulunmaktadır. Araç dinamik yapılarındaki değişiklikler ve kullanılan ABS kontrol algoritmalarındaki farklılıklar yapılan çalışmaların sürekli incelenmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Benzer şartlarda farklı kontrol tekniklerinin performans açısından değerlendirilmesi içinde özel test imkânlarının sağlanması gerekmektedir. Bu konuda yapılmış temel bazı çalışmalar haricinde geniş kapsamlı çalışmalar pek bulunmamaktadır.

ABS sistemleri ile ilgili yapılan test çalışmaları genellikle yol testleri ve dinamik davranış testleri düzeyindedir. Laboratuvar ortamında sistemin kontrol ve çalışmasına yönelik testler yol testlerine göre daha emniyetli olmasına rağmen test edebilecek ekipman ve sistemlerin az olmasından dolayı genellikle literatürde çok karşılaşılmamaktadır.

TÜV Trafik Enstitüsünde laboratuvar şartlarında “Elektronik Kontrollü Taşıt Sistemleri” üzerine bir çalışma yapılmıştır [5]. Bu çalışmanın bir kısmını oluşturan ABS testlerinde taşıtın 4 adet test tamburu üzerinde hareket ettirilmesi ile yol şartları oluşturulmuş ve ABS sensörleri aktif çalıştırılmıştır. Bu esnada araç içerisindeki sürücünün frenleme yapması ile ABS devreye girmiş ve sistem test edilmiştir. Ancak aracın gövde olarak yine dinamik bir harekete maruz kalması testlerde tambur hızının

çok düşük kalmasına ve testler esnasında güvenliği ileri düzeyde etkilemiştir. Başlangıçta geliştirilmeye çalışılan bu yöntem birçok sebepten dolayı sınırlı kalmış ve uygulamaya geçirilememiştir. Özellikle yüksek hız ve kayma değerlerine ulaşılamaması sistemin dezavantajlarından olmuştur.

ABS etkinliğini veya performans değerlendirmesini gerçekleştirmek için genellikle yol testleri sistemin en kolay bu şekilde aktif hale getirilebilmesinden kaynaklanmaktadır. Laboratuvar ortamında geliştirilen sistemler ile ABS'nin aktif hale getirilmesi yeni bir sistem tasarımı geliştirilmesini gerektirmektedir. Ayrıca sistem aktif hale gelse dahi ABS'de kontrol parametresi olan basınç değişimlerini incelemek amacı ile ayrı bir ölçüm ve veri sistemi gerekmektedir.

Bu çalışmada ABS'li araçları laboratuvar ortamında test edebilmek amacı ile bir test yöntemi ve bu yöntemi uygulamak için de bir test cihazı geliştirilmiştir. Test yönteminde genel olarak laboratuvar ortamında aracın durağan halde sadece tekerleklerinin kontrol edilmesi ile ABS aktifliğinin sağlanması ve bu esnadaki basınç verilerinin analiz edilmesi esasına dayanmaktadır. Test sistemi iki kısımdan oluşmaktadır.

- Birinci kısım aracın tekerlek hareketlerini hız ve ivme değişkenleri ile kontrol edebilecek, yani yolda yapılan testlerde tekerlek hareketini laboratuvar ortamında simüle edilebilecek yol simülatör sistemidir. Ayrıca tekerlek hareketlerinde istenilen hız ve ivme değişimlerinin de elde edebildiği bir kontrol mekanizmasının bulunduğu ünitedir.

- İkinci kısım ise frenleme yaparak tekerlek hareketleri ile elde edilen kayma durumlarında, ABS sisteminin aracın tekerleklerinde meydana getirdiği basınç değişimlerinin kayıt edilebildiği ölçüm sistemidir. Basınç değişimi ile birlikte incelenen diğer bir değişken ise fren pedal kuvvetidir.

Bu iki kısmın birleştirilmesi ile test cihazı ve ölçüm sistemi olarak adlandırılan yeni bir test yöntemi ve yeni bir test cihazı geliştirilmiştir.

Cihaz üzerinde yol testlerinde oluşturulması zor olan veya riskli olan durumlar kolaylıkla sağlanmakta farklı araçlardaki ABS donanımlarının bu durumlarda tekerleklerde meydana getirdiği fren basınçları kontrol edilmektedir. Cihaz üzerinde her sınıf araç (binek, ticari, hafif ticari) için testler rahatlıkla uygulanabilmektedir.

Sistemin avantajlarından birisi tekerlek zemin etkileşiminden ve balata, disk, kampana etkileşimlerinden bağımsız olarak sadece ABS donanımları üzerinde test işleminin gerçekleştirilmesidir. Çünkü yol şartlarında yapılacak her test için araç üzerindeki fren elemanları ile lastikler sonucu etkileyecektir. Böyle bir durumda sadece ABS kontrol farklılıklarını incelemek bağıl bir değerlendirmeye yol açmaktadır.

Testler esnasında aracın dinamik yapısı fren sistemindeki değişimleri etkilemektedir. Sistemin diğer avantajı ise geliştirilen bu cihaz ve sistemde araç statik durumda olduğu için aracın dinamik bir hareketliliği söz konusu değildir. Ayrıca tekerleklerde dahi bir dinamik hareketlilik yoktur. Bütün test işlemleri sadece ABS kontrol ünitesi, modülatör, tekerlek sensörleri ve fren hatları üzerinde gerçekleşmektedir.

Ayrıca ABS fren sisteminde meydana gelebilecek arızalarda veya sistem kontrollerinde her araca test sistemlerini bağlayıp yolda test yapmak oldukça zordur. Sistem elemanlarının sökölüp incelenmesi ile de araç üzerindeki ABS etkinliği anlaşılamamaktadır. Bundan dolayı geliştirilen ABS test cihazı özellikle servislerde teşhis veya muayene amaçlı kullanıma uygun olmaktadır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Fren Pedal Kuvvetinin ABS Sistemi Üzerindeki Etkileri

ABS'siz sistemlerde gereğinden fazla fren pedal kuvveti uygulamak tüm tekerlerin kilitlenmesine yol açmaktadır. Bu durumun frenleme üzerinde olumlu hiç bir etkisi bulunmamaktadır.

ABS sistemli araçlarda bazı ABS sistemleri yüksek pedal kuvveti uygulanmasında yüksek performans sağlarken bazı ABS sistemleri de yeterli bir fren pedal kuvvetiyle daha iyi bir performans göstermektedir. Csere çalışmasında ABS sistemi etkinliği ile pedal kuvveti arasında zayıf bir ilişki olduğu yönünde bazı yorumlar yaparak deneysel olarak bu konunun incelenmesi önerisinde bulunmuştur [6].

Kurt M. Marshek ve diğerleri fren pedal kuvveti değişiminin frenleme performansına etkileri üzerine deneysel bir çalışma yapmışlardır. Csere'nin yorumlarının aksine pedal kuvveti değişimi ile fren etkinliği arasında bazı sistemlerde yakın ilişki bulunduğunu belirten sonuçlar elde etmişlerdir. 6 farklı araç üzerine yerleştirilmiş veri toplama sistemi ile önceden yol şartları belirlenmiş bir test pistinde farklı pedal kuvvetlerinde panik ve normal frenlemeler yapmışlardır. Fren pedal kuvveti değişimlerinin sürücüye göre farklılık göstermemesi açısından bir fren pedal uygulayıcısı kullanılmıştır. Pnömatik olarak çalışan sistem önceden ayarlanmış itme kuvveti değerinde pedala kuvvet uygulamaktadır. Frenleme esnasında tekerlek hızları ve taşıt yavaşlama ivmeleri veri toplama sistemi üzerinden kaydedilmiştir.

Sonuç olarak bu çalışmada frenleme esnasında ABS'li sistemlerde uygulanan pedal kuvveti artışının bazı araçlarda frenlemeyi olumlu yönde etkilediği, bazılarında ise fren performansının düşüşüne sebebiyet verdiği açıklanmıştır. Bazı araçlarda ABS'nin devreye girdiği andan itibaren pedal kuvvetini artırmanın çok faydalı olmadığını belirtmişlerdir. Özellikle tekerlekte kilitlenme olması durumunda pedal kuvveti artışının devam ettirilmesi, fren sistemindeki basıncın yüksek tutulmasını ve

tekerlekteki frenlemenin kısmi olarak ortadan kalması durumunda tekrar ani bir kilitlenmenin meydana gelmesinin frenleme performansını olumsuz etkilediğini belirtmişlerdir [7].

Masaru Sugai ve diğerleri ise ABS'yi devreye sokacak olan pedal kuvvetinin minimize edilmesi için yeni bir kontrol tekniği üzerinde çalışmışlardır. Fren etkinliği ve ABS performansının artışı için uygulanacak fren pedal kuvvetinin minimum değerde tutulması gerekliliğini vurgulamışlardır. ABS'yi etkinleştirecek düşük bir pedal kuvveti değerinin dahi oluşması anında elektronik kontrol ünitesinin ABS'yi çalıştırması sonucunda pedal kuvvetinde artık artışın olmasının bir anlamının olmayacağı vurgulanarak, araç sınıfına uygun panik frenlemelerde azda olsa fren pedal kuvveti artışının olması sistem için yeterlidir denilmektedir. ABS değerlendirme ve kontrol kriteri olarak kayma ve tekerlek ivme değişimi olduğu için aracın frenleme esnasında tutunma - kayma eğrisinde kararsız bölgeye geçmiş olmasının ABS'yi devreye sokmak için yeterli olacağını bu esnada fren pedal kuvvetinin düşük dahi olsa yeterli olacağı belirtilmektedir [8].

2.2. Direksiyon Manevrasının ABS Sistemi Üzerindeki Etkileri

Frenleme ve direksiyon hâkimiyeti üzerine yapılan çalışmalar teorik ve pratik olmak üzere iki sınıfta toplanabilir.

Teoride frenleme ve direksiyon hâkimiyeti ile ilgili genel kurallar üzerinde veya bazı sürüş simülasyonları üzerinde durulmaktadır.

Deneysel çalışmalar ise genellikle ABS'siz veya ABS'nin aktif hale getirilmediği taşıtlarda ve ani olmayan manevra testlerinde yapılmıştır. Frenleme ve frenleme esnasındaki direksiyon kontrolü ile ilgili uygulama yönleri ve yöntemleri bu çalışmada literatürdeki teorik çalışmalardan sonra verilmiştir.

Adler teorik olarak doğrusal ve yanal tutunma katsayılarıyla, fren kayma yüzdeleri arasındaki ilişkiyi tanımlayan bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada doğrusal ve yanal tutunma katsayı değişimlerinin daha çok frenleme ve viraj dönüşlerinde ani değişimler gösterdiği vurgulanarak bu değer değişimleri ile ilgili olarak aşağıdaki yorumlar yapılmıştır.

Frenlemenin olmaması durumunda tekerlek üzerinde fren kayma yüzdesi ve doğrusal kuvvet katsayısının değeri sıfırdır, yanal kuvvet katsayısı ise maksimumdur. Frenleme esnasındaki kayma yüzdesi taşıt hızı ile lastiğin çevresel hızı arasındaki farkın oranına eşittir. Tam bir yuvarlanmada fren kayma yüzdesi sıfırdır. Tam bir kaymada ise yani tekerleğin kilitlenmesi halinde fren kayma yüzdesi %100'dür.

Doğrusal tutunma katsayısı fren kaymasının artmasıyla yaklaşık %20 oranında artar, bu noktadan sonrada azalma eğilimine girdikten sonra kayma %100'e ulaşır. Frenleme kayması sıfırdan yükselmeye başladığı zaman yanal tutunma katsayıları düşük seviyelere iner, ondan sonra kayma %20'yi aştığında tekrar yükselir ve %50 değerini bulur. %100 fren kaymasında kayma değeri sıfır değerini bulur. Bunun gerçek şartlar altında taşıta uygulanabilirliği olmadığından ABS fren sisteminin farklı direksiyon manevralarında nasıl bir davranış göstereceği teorik olarak bilinemez. Bu tür sonuçları elde edebilmek ve yaklaşım geliştirebilmek amacı ile yol şartlarının ve test sistemlerinin özel olarak hazırlandığı testler yapılmalıdır.

Adler yaptığı çalışmada teorik olarak bu durumu incelerken sonuçta gerçek yol testlerinin yapılmasını önermiştir [9]. Uygulamalı test çalışması sonucunda elde edilen veriler ışığında hareket halinde araçta oluşan frenleme etkisi ile direksiyon manevraları arasında bağlantı kurularak diğer çalışmalara benzer bir şekilde sürtünme dairesi yaklaşımı yapılabileceği de ayrıca çalışmada tavsiye olarak sunulmuştur.

Frenleme ve direksiyon manevraları kombinasyonunda sürtünme dairesi olarak adlandırılan doğrusal ve yanal tutunma katsayılarının ilişkilendirildiği yaklaşım ile

ilgili bir çalışmada Gillespie tarafından ortaya konulmuştur. Bu çalışmada sürtünme dairesinin temel prensibinin lastikteki sürtünmenin vektörel yönüne bakmayarak o lastiğin maksimum sürtünmeye sahip olduğu durum analiz edilmiştir. Frenleme veya ivmelenme esnasında, doğrusal ve yanal kuvvetlerin vektörel bileşkesinin mevcut sürtünme kuvvetini aşamayacağı söylenmiştir. Maksimum sola veya sağa direksiyon manevralarıyla değişen direksiyon manevra hareketlerinde maksimum ivmelenme boyunca, frenleme etkinliğinin düştüğü andaki birleşik doğrusal ve yanal kuvvetler belirlenecek olursa, “y” ekseninin yanal ivmelenme ya da kuvveti “x” ekseninin de doğrusal ivmelenme ya da kuvvetini simgeleyeceği belirtilmiştir. Eğer lastik ve yol sürtünme karakteristikleri iyi bilinirse frenleme ve direksiyon manevra dairesinin gerçek koşullara yakın optimize edilebileceği konusu da ayrıca vurgulanmaktadır [10].

Gerçekte de genellikle lastikler doğrusal tahrik kuvvetini yanal kuvvetten daha iyi sağladığı için bu sürünme dairesi bir elips şeklindedir. Literatürde bahse konu olan sürtünme dairesi lastik üreticileri tarafından da analiz edilmekte ve bunun gerçek şartlarda bir elips şeklinde olduğu açıklanmaktadır.

Frenleme ve direksiyon manevra kombinasyonunda sürtünme dairesi yaklaşımı üzerinde duran bir diğer çalışmayı Schuring ve diğerleri yapmıştır. Kayma Dairesi Modeli (SCM - Slip Circle Model) olarak adlandırılan bir algoritma ortaya koymaktadırlar. Onların araştırmasının hedefi kayma dairesi modelini oluşturma ve bunun için gerekli olan verileri düz yol fren testleri ve serbest dönme manevra testlerinden elde etmişlerdir.

Çalışmada kayma dairesi modeli genel olarak sürtünme dairesi yaklaşımı üzerine temellendirilmiştir. Fakat bu yaklaşım testlerden elde edilen verilerden oluşturulan elipsleri de kapsamaktadır. Kayma dairesi modeli klasik sürtünme dairesine göre gerçek koşullara göre daha uygundur. Bununla birlikte ABS frenlemesinin Kayma Dairesi Modelini nasıl etkilediği yönünde bir açıklama yapılmamıştır [11].

ABS'li binek araçlarla ilgili bu konudaki ilk çalışmalar Squire ve Cooper tarafından yapılmıştır. İki araç ile yapılan (aracın biri ABS'li diğeri ABS'siz) testlerden büyük çoğunluğunu düz yol frenleme manevraları oluşturmaktadır. ABS'li bir Ford Taurus araç, yönlendirme manevralarıyla birlikte frene basılarak test edilmiştir. Benzer durumlarda ABS aktif hale getirilerek testler de yapılmıştır. Yapılan testlerde taşıt seyir halinde yola devam ederek frenlenmekte ve düzgün bir şekilde yavaşlatılmaktadır. Yapılan çalışmada ABS sistemi tarafından lastiklere küçük bir frenleme uygulandığında lastiklerde yanal kayma başladığı görülmüştür. Ayrıca frenleme yapılırken direksiyon manevrası yapılmasının durma mesafesini artırdığını da gözlemlemişlerdir [12].

Bir diğere deneysel çalışmayı Lambourn yapmıştır. ABS ile donatılmış birkaç araçla yapılan direksiyon manevra test sonuçlarını vermiştir. Odaklanılan temel nokta frenleme ve direksiyon manevralarının aynı anda gerçekleştiği kombinasyonda manevra esnasında taşıtın hızı makul sınırlar içerisinde tutulduğunda taşıtın yol üzerinde stabilitesini sağlayıp sağlayamadığı üzerine olmuştur. Sonuçta ani bir direksiyon manevrasında kritik hız konseptiyle taşıt hızının belirlenmesinde lastik işaret sisteminin kullanılması başarılı olmuştur. Ancak bu çalışmada dönüşte doğrusal yönde oluşan fren kuvvetlerindeki azalmanın ABS fren performansını nasıl etkilediği yönünde bir bilgi sağlanamamıştır [13].

Gorrot ve diğere leri, Chrstos ve Grygler, Salaani ve diğere leri ile Chrstos ve Haydinger, 1994 model Ford Taurus ile beş ayrı çalışma ortaya koymuşlar [14,15,16,17,18]. Yapılmış testlerde elde edilen frenleme verilerini simülasyonlarla kıyaslamalar yaparak simülasyonlarda kullanılan yöntemlerin ne kadar gerçeğe yakın olduklarını araştırmışlar. Testlerde direksiyon manevraları esnasında frenleme yaparak test sonuçlarını elde etmişlerdir. Bu testlerde ABS devrede ve devre dışı iken 2 grup test gerçekleştirilmiştir. Direksiyon manevralarında frene basıldığında ABS devreye girdiği zaman aracın ABS devrede olmadan frenlendiği zamanki doğrultuları karşılaştırılmıştır. ABS devrede iken frenlemelerde yapılan direksiyon manevraları esnasında taşıtın daha az ölçüde hareket ettiği rotadan (istikametten) ayrıldığı

gözlemlenmiştir. Yapılan testlerde ABS'li bir araç kullanılmasına karşın ABS'nin manevralar üzerindeki etkisi üzerinde fazla durulmamıştır. Doğrusal ve yanal ivmelenmeler de çalışmalarda incelenmiştir. Ayrıca manevralar esnasında fren pedal kuvvetleri değişimleri üzerine yapılan testler sonucunda da kombine direksiyon ve fren manevralarında ABS'nin tam olarak devreye girmediğini ortaya koymaktadırlar.

2.3. Frenleme Başlangıcındaki Taşıt Hızının ABS Sistemi Üzerindeki Etkileri

Birçok çalışmada frenleme başlangıcındaki taşıt hızının yüksek olması ve bundan dolayı lastik ile zemin arasındaki sürtünme katsayısının değişimine bağlı olarak frenleme performansının düştüğü bildirilmektedir. Ancak ABS performansının frenleme başlangıç hızından nasıl etkilendiği ile ilgili çok az bilgi mevcuttur. Mevcut literatürde daha çok ABS'siz araçlarda kilitlenen tekerlekteki frenleme performansının taşıt hızı ile ilişkisi açıklanmıştır.

ABS fren sistemi performansının hız ile ilişkisi üzerine geniş kapsamlı tek çalışma Csere tarafından yapılmıştır [19]. Taşıt hızlarına bağlı olarak farklı araçlar üzerindeki frenleme ivmeleri ölçülerek ABS sistemleri karşılaştırılmıştır.

Csere tarafından yapılan testlerde, sonuç olarak yüksek performanslı Jaguar XJR model binek araçta 240 km/h hızda 0,94 g, Chevrolet Corvet'de 1,04 g değerinde ABS'li frenlemeler sonucunda fren yavaşlama ivmeleri elde etmiştir.

Winfield bu çalışmada yapılan testler ile ilgili Chevrolet Corvet ile yaklaşık bir yıldır yapılan test sonuçlarını kendi çalışmasında vermiştir. 113 km/h hızda ABS'li bir frenlemede ortalama 0,95 g'lik bir yavaşlama ivmesi elde edildiğini belirtmiştir [20].

Webster'de kendi çalışmasında yine bu çalışmanın bir sonucu olarak Jaguar XJR ile yaklaşık bir yıldır yapılan test sonuçlarını vermiştir. 113 km/h hızda ABS'li bir frenlemede 0,84 g'lik bir yavaşlama ivmesi görüldüğünü belirtmiştir [21].

Testler sonucunda ABS'li Corvette ve XJR ile yapılan panik frenlemelerde iki aracında 240 km/h hızda frenlemesi ile elde edilen yavaşlama ivmelerinin, 113 km/h hızda elde edilen yavaşlama ivmelerinden % 9,5-11,9 arasında daha iyi olduğu belirtilmiştir.

Kilitlenmiş tekerlekteki kayma hızı ve sürtünme katsayısı değişimleri ile ilgili olarak ta literatürde bazı çalışmalar bulunmaktadır. Baker ve Fricke çalışmalarında taşıt hızına bağlı olarak sürtünme katsayısındaki değişimler ile ilgili genel bir yorum sunmuşlardır. Artan taşıt hızına bağlı olarak tekerlek zemin arasındaki sürtünme katsayısının azaldığı yönünde bir açıklama yapmışlardır [22].

Yine hızla bağlı olarak tekerlek zemin etkileşimini deneysel olarak Reed ve arkadaşları incelemişlerdir. Frenleme esnasında taşıt hızı ve ABS'siz bir araçta kilitlenen tekerleğin ortalama sürtünme katsayısı arasında lineer bir ilişki olduğunu saptamışlardır. Ortalama sürtünme katsayısı ve frenleme başlangıç hızını, taşıtın ilk olarak kilitlenen tekerleğini temel alarak hesaplamışlardır. Reed ve arkadaşları tarafından ortaya konulan veriler ABS'siz test araçlarında ortalama sürtünme katsayısının 16 km/h hızda 0,76 g'den ve 97 km/h hızda 0,55 g'ye düşerek 16 km/h hız ile 97 km/h hız arasında % 28'lik bir yavaşlama ivmesi azalması olduğunu ortaya koymaktadırlar. Yazarlar taşıtın kinetik enerjisinin büyük bir kısmının ilk önce kilitlenen tekerleğe dağıtıldığı sonucunu da özellikle belirterek enerji dağıtımıyla tekerleğin kilitlenmesinden önceki taşıt hızı arasında üstel bir ilişki olduğunu da ortaya koymuşlardır [23].

32 km/h hızda hareket ederken aracın frenleme başlangıcındaki enerjisinin, ani bir frenlemede yaklaşık % 48'inin kilitlenen tekerleğe gönderildiğini, 97 km/h hızda ise bu değer % 20 ye indiğini belirtmişlerdir.

Warner ve diğerleri artan taşıt hızına bağlı olarak kayma sürtünmesindeki düşüşü gösteren genel bir çalışma yapmışlardır. Warner frenleme başlangıcındaki taşıt hızına bağlı olarak kuru ve ıslak zemindeki kayma sürtünmesinde düşüş olduğunu ve bunun

tutunma-kayma eğrisindeki maksimum tutunma değişimi ile ilişkili olduğunu vurgulamıştır. Kuru zeminde 16 km/h hızda 0,93 g olan yavaşlama ivmesi 97 km/h hızda 0,81 g'ye düşmektedir. Bu durum taşıt hızları arasındaki değişime göre % 13'lük bir ivme farkını ortaya koymaktadır. Islak zeminde 16 km/h hızda 0,82 g olan yavaşlama ivmesi 97 km/h hızda 0,72 g'ye düşmektedir. Bu durumda da hız farklılıklarına göre % 12'lik bir ivme farkı oluşmaktadır şeklinde belirtmişlerdir [24].

Frenleme başlangıç hızının frenlemeye etkileri üzerine bir diğer çalışma ise Easton tarafından yapılmıştır. Kayma sürtünme katsayısının taşıt hızının bir fonksiyonu olduğunu ortaya koyarak, konuyla ilgili genel tanımlamaları kuru, ıslak, karlı ve buzlu zeminlere göre yapmıştır. Kuru zeminde yapılan çalışmalar 16 km/h hız ile 97 km/h hız arasında sürtünme katsayısının yaklaşık % 32 oranında azaldığını ve 16 km/h hız ile 160 km/h hızlar arasında da % 50 oranında azaldığını göstermektedir [25].

Yakın zamanda yapılan çalışmalar artan hızla birlikte sürtünmenin 48 km/h hız ile 115 km/h hız arasında % 14 oranında açık bir şekilde arttığını göstermektedir.

Easton teorilerinin yakın zamanda yapılan çalışmalardan farklı olmasının nedeni ilk zamanlar yapılan çalışmalarda kullanılan lastik özellikleriyle yakın zamanda yapılan çalışmalarda kullanılan lastiklerin birbirinden farklı özelliklere sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Sonuç olarak yeni lastiklerde kullanılan bileşenlerden ötürü artan hızla birlikte sürtünme katsayısı da artmaktadır.

Gillespie frenleme başlangıç hız değişimlerine göre sürtünme katsayısı değişimini incelemiştir. Gillespie artan hız oranına bağlı olarak kayma sürtünme katsayısının tepe noktasının azalma gösterdiği yani tutunmanın daha aşağı olduğu değerlerde tepe noktası oluşturduğu sonucuna varmıştır. Tanımlamaları ve sonuçları hem kuru ve yaş asfalt zemin için hem de yaş beton zemin için yapmıştır. Kuru asfalt zeminde yapılan çalışma sonucunda kayma sürtünme katsayısının 16 km/h hızda 0,81 g, 97 km/h

hızda 0,66 g ve 115 km/h hızda da 0,63 g'ye kadar azaldığını ve bunun % 19-22'lik bir azalmaya denk geldiğini belirtmiştir [10].

Dixon kayma sürtünme katsayısının yarış araçlarında, binek araçlarda ve kamyonlarda kayma hızı ile ilgili ilişkisi üzerine çalışmalar yapmıştır. Binek araçlarla ilgili yapılan çalışmalar sonucunda sürtünmenin 18 km/h 0,87 değerinde iken hız 110 km/h olduğunda 0,62 değerine düştüğünü göstermektedir. Artan hızla birlikte kayma sürtünmesi katsayısındaki bu değişim % 29'luk bir düşüş yaşadığını belirterek, Dixon verilen değerlendirmelerin kaba bir gösterge olduğuna işaret etmektedir [26].

Neptune ve diğerleri 1989 model Toyota Camry ile testler yapmıştır. 32 km/h, 48 km/h, 65 km/h, 81 km/h ve 97 km/h hızlarda toplamda 32 fren testi yapmışlardır. Yaptıkları testlerden elde ettikleri veriler taşıt hızı ile dinamik sürtünme katsayısı arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır. Taşıt hızının artmasıyla dinamik sürtünme katsayısının yumuşak bir düşüş eğiliminde olduğu belirtilmiş ve bunun yanında da belirtilen eğilimin yapılan çalışmanın küçük çapta olmasından ötürü istatistiksel bir öneme sahip olmadığı da vurgulanmıştır [27].

2.4. Tekerlek Hava Basıncının ABS Fren Sistemi Üzerinde Etkileri

Lastik basıncının ABS fren sistemine etkileri üzerine literatür olmamasına karşılık ABS'siz fren sistemleriyle ilgili bu konuda çalışmalar bulunmaktadır. ABS'siz fren sistemlerinde yapılan çalışmalarda lastik basıncı sürtünmenin bir fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır. Collier ve Warchol çapraz, çapraz katlı ve radyal lastiklerle testler yapmıştır. Günümüzde yapılan araştırmalarda kullanılan taşıtlarda radyal lastikler kullanıldığı için Collier ve Warchol'un radyal lastiklerle yaptığı testler üzerinde durmakta fayda vardır. Collier ve Warchol yaptıkları çalışmalarda genellikle yüksek lastik basıncıyla "çekiş katsayısı" arasındaki ilişkiyi tanımlamıştır [28].

Tutunma - kayma eğrisinin tepe noktasındaki değişimler incelenmiştir. 110 ile 275 kPa lastik basıncında kayma sürtünmesi sabittir. Bununla birlikte 275 kPa'lık basınçla 330 kPa'lık basınç arasında %5'lik bir kayma sürtünmesi değişimi mevcuttur. Maksimum sürtünme artan lastik basıncıyla birlikte artan bir eğilim sergilemektedir.

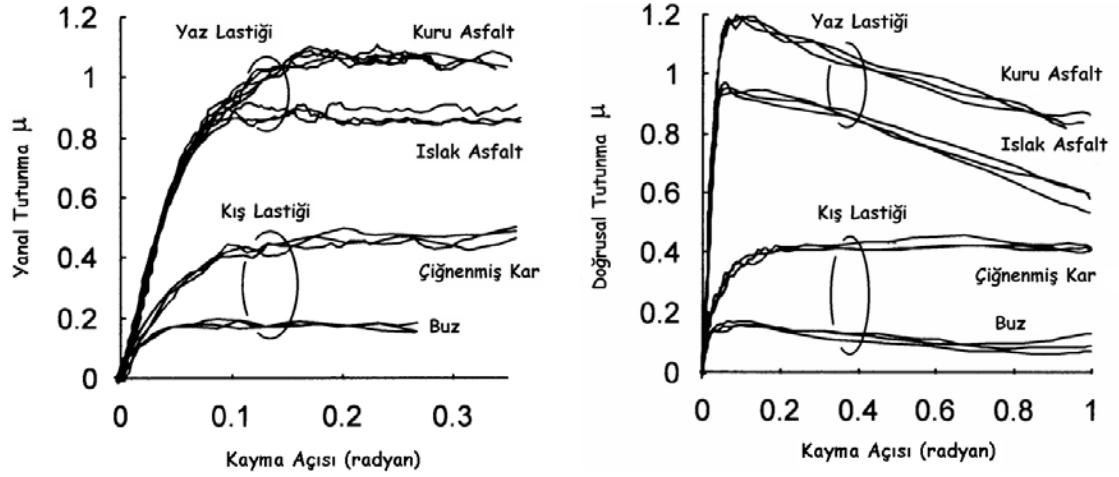
Warner ve diğerleri [24] lastik basıncı azaldıkça sürtünmenin azalma eğiliminde olduğunu ifade etmektedir. Gillespie maksimum tutunma ve kayma sürtünmesi katsayılarının kuru yol şartlarında lastik basıncından orta derecede etkilendiğini söylemektedir [10]. McIsaac ve Grage lastik basıncıyla kuru asfaltta kayan bir tekerleğin sürtünme katsayısı arasında dikkate değer bir ilişki olmadığını belirtmektedir [29].

2.5. ABS Test Sistemleri ve Yapılan Test Çalışmaları

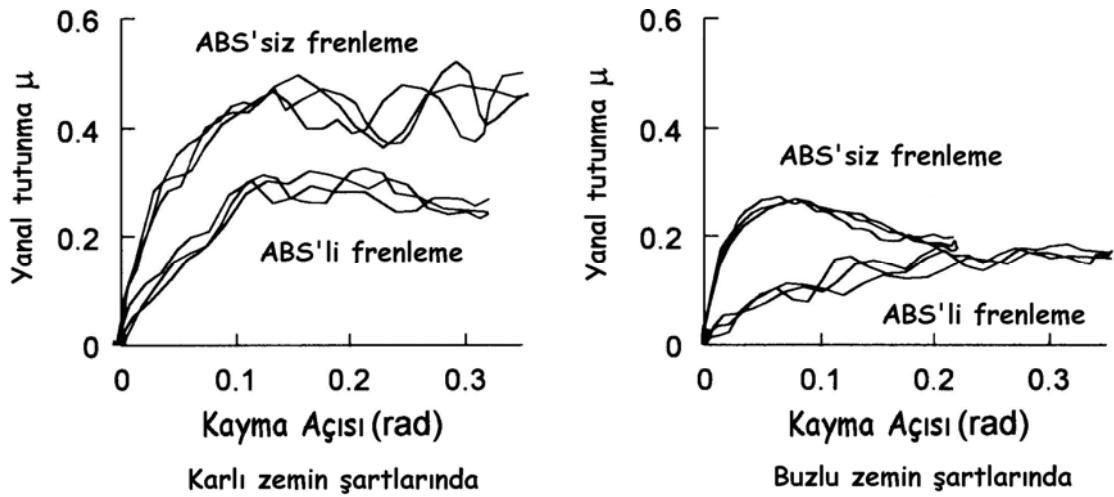
Yasui ve diğerleri; tekerlek karakteristikleri ve ABS performansının değerlendirilmesi için bir test çalışması yaparak tekerlek çeki kuvveti ile fren, süspansiyon ve güvenlik sistemleri ile ilgili bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Yaklaşımına göre; ABS, çekiş kontrolü ve stabilite kontrollerini içeren süspansiyon kontrol sistemleri, aracın ivmelenmesini, yavaşlamasını ve aktif güvenliğin devamlılığını geliştirmek amacıyla, mevcut tekerlek kuvvetlerinden yararlanıldığı belirtilmektedir. Öyleyse, tekerlek kuvvetleri karakteristiklerinin gerçek yol yüzeylerindeki durumları hakkında bilgi sahibi olmak ve bu bilgiyi süspansiyon kontrol sistemlerinde kullanabilmenin dinamik kontrol açısından yararlar sağlayacağı bildirilmektedir. Çalışmada, tekerlek kuvvetlerinin karakteristikleri ve süspansiyon kontrol sistemlerinin performansının belirlenmesi amacıyla testler yapılmıştır. Şekil 2.1'deki test seti kurulmuştur [30].

Testlerde aşağıdaki frenleme ve dinamik hareket parametreleri elde edilerek sonuçlar bu verilere göre yorumlanmıştır;

yanal hareketlerinin tepkisini içeren ABS performansı, ölçülen tekerlek kuvvetlerinin karakteristikleri ile ilişkilendirilmiştir.



Şekil 2.2. Farklı zeminlerde yapılan testlerde elde edilen yanal ve doğrusal tutunma-kayma karakteristikleri [30].



Şekil 2.3. Farklı zemin şartlarında ABS'li ve ABS'siz frenleme esansında elde edilen kayma açıları ve yanal tutunma eğrileri [30].

Forkenbrock NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration) ve VRTC (Vehicle Research and Test Center)'da yapmış olduğu testlerde taşıtın dinamik analizleri ile birlikte savrulma, devrilme ve manevra kabiliyetlerini de araştırmıştır.

Yapılan çalışmalar da test ekipmanları testlerin yapılacağı araç türlerine göre dizayn edilmişlerdir (Şekil 2.4-2.5). Bu test sistemleri ile yapılan testler sonucunda standart donanımlar için regülasyonlar oluşturularak rapor halinde sunulmuştur [31].



Şekil 2.4. Manevra yeterlilik testlerinde kullanılan test ekipmanları ve veri toplama kartları



Şekil 2.5. Araç hızı, tekerlek hızı ve pedal kuvveti ölçüm ekipmanları

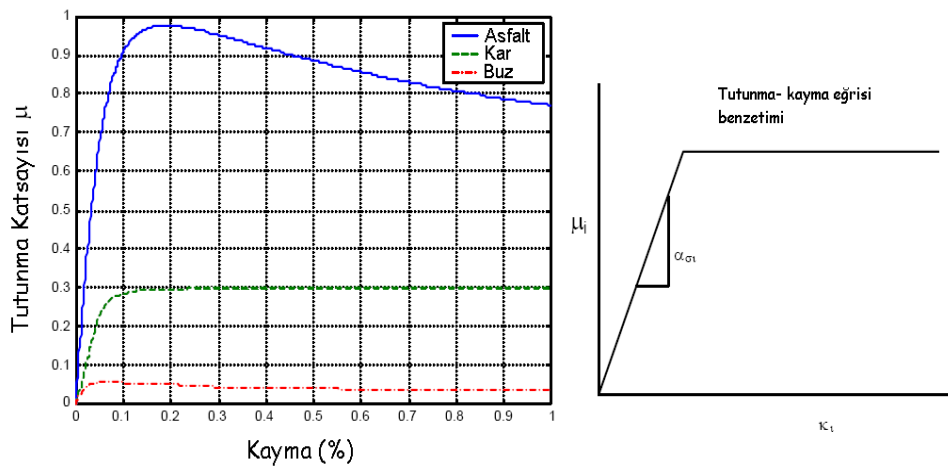
Snyder ve diğerleri NHTSA ve USDOT (Department of Transportation)'da yaptıkları hafif taşıtlarda ABS performans testleri ile ilgili çalışmada standartlara uygun test sistemlerini oluşturarak ABS performansına etki eden bazı parametreleri incelemişlerdir. Bu parametreler fren pedal kuvvetine karşılık değişim gösteren taşıt tekerlek hız değişimleridir. Ayrıca yüklü ve yüksüz testler yaparak pedal kuvveti artışına bağlı olarak doğrusal ve yanal kayma değerlerini inceleyerek bu parametrelere etki eden faktörler için değerlendirmeler yapmışlardır (Şekil 2.6). Araç tekerleklerine yerleştirilen frenleme kuvveti ölçme sensörleri ile yol şartlarındaki frenleme kuvvet ve torkları ölçülmüştür [32].



Şekil 2.6. Testlerde kullanılan araçlarda süspansiyonlarda yüklü şartları oluşturmak için yapılan simülasyonlar

2.6. ABS Kontrol Sistemleri, Yeni Yaklaşımlar ve Modeller

Anwar ve diğerleri ABS için sistem performansını önceden tahmin edebilmek amacıyla yazılmış bir algoritma geliştirerek ABS kontrolünü bu algoritma ile sağlamayı amaçlamışlardır [33]. Genelleştirilmiş Tahmin Kontrolü (GPC), Clark D.W. [34] tarafından öne sürülmüş bir zaman kontrol stratejisidir. Kontrol sistemi, ABS'nin gelecekteki çıktısını tahmin etmeye çalışarak ve gelecek zamana ait çıktıdaki hataya bağlı olarak frenleme anındaki zaman için aynı kontrolü uygulamaktadır (Şekil 2.7).

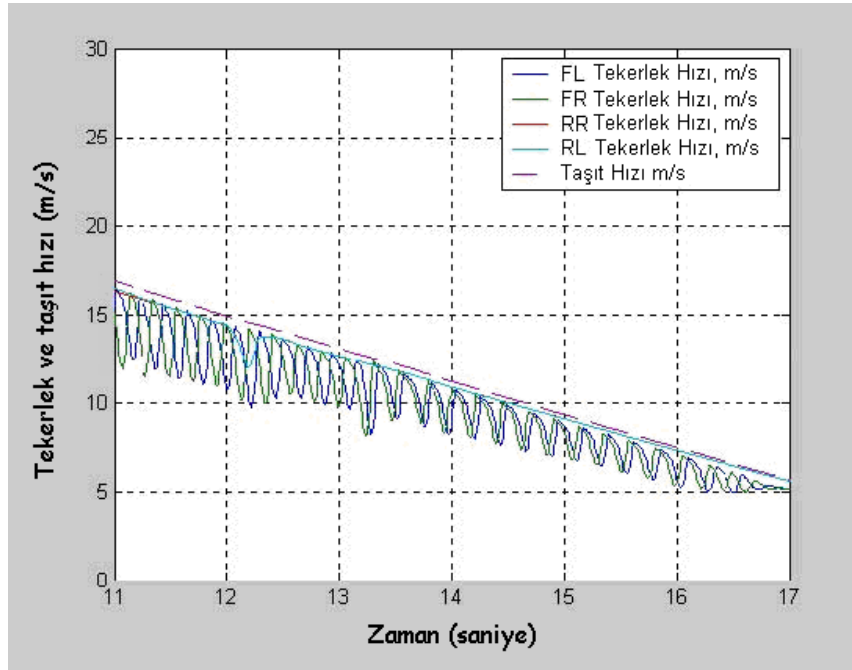


Şekil 2.7. Tekerleğin kuru asfaltta oluşturduğu karakteristiklere, tahmin yolu ile geliştirilen tutunma-kayma eğrisi [33].

Bu prensiplere göre çalışan bir kontrol algoritması geliştirilerek, bir otomobilin frenleme esnasındaki kaymasını düzenlemek amacıyla kullanılmıştır.

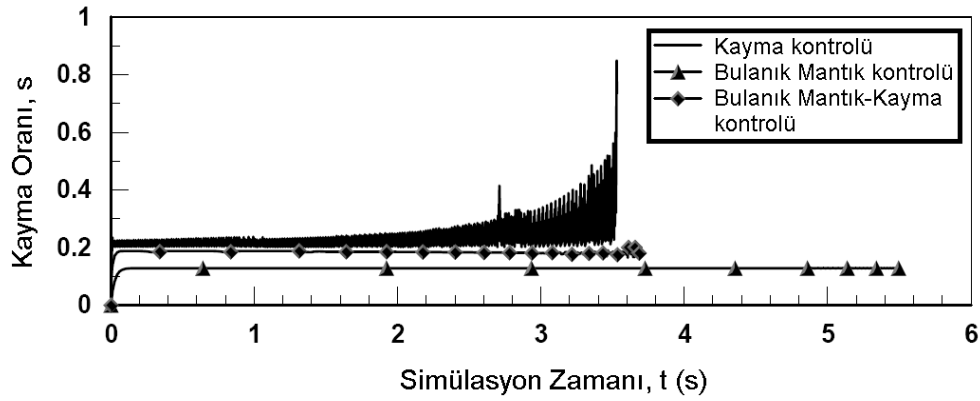
Literatürde yanal kayma kontrollerine yönelik algoritma çalışmaları otomobilin yana kayması durumunda (düşük sürtünme katsayılı bir yüzeyde panik fren durumunda), tekerleğin kilitlenmesinin engellenmesi açısından çok yeterli değildir. Ancak geliştirilmiş tahmin kontrol sistemi ile yapılan simülasyon sonuçları, öne sürülen kontrol sisteminin, frenleme durumunda tekerleğin kilitlenmesini engellemek amacıyla kullanılabilecek etkili bir yol olduğunu göstermektedir.

Çalışmada sonuç olarak ABS ve basitleştirilmiş araç modeli için, geliştirilmiş tahminle bir kontrol kanunu türetilmiştir. Kontrol sistemi, önceden tahmin edilen kayma değerlerine göre, tekerleğin kaymasını istenen eşik değerinde kalacak şekilde düzenlemektedir (Şekil 2.8). Yazarlar, genellikle tutunma- kayma eğrisi üzerinde bilinen % 15-30 kayma aralığında aracı kararlı kayma bölgesinde tutmak açısından bu kontrol tekniğinin çok iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir [33].

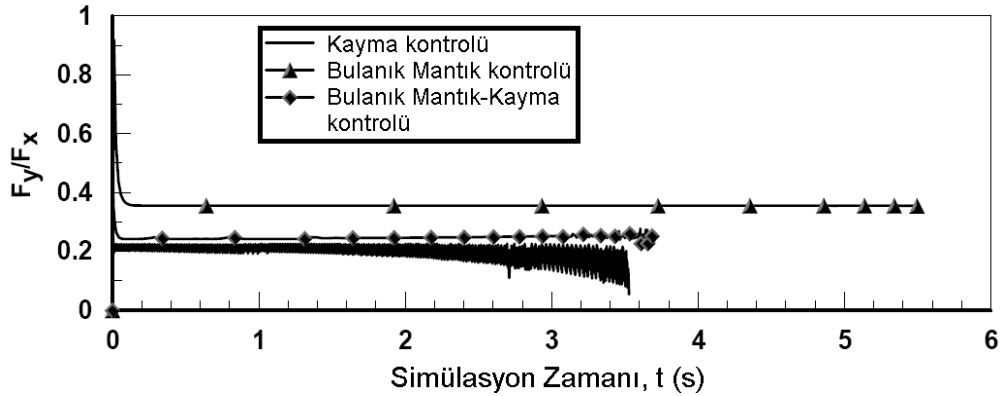


Şekil 2.8. Genelleştirilmiş Tahmin Kontrol sistemi ile yapılan simülasyon sonucunda elde edilen tekerlek taşıt hız değişimleri [33].

Hou ve Yu, ABS performansının değerlendirilmesi ile ilgili matematiksel analizlerden meydana gelenden bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada mevcut kontrol metotlarını temel alarak, ABS performansının değerlendirilmesi amacıyla yeni bir matematiksel model metodu önerilmiştir. Bu metot ile, frenleme sürecinde, aracın yanal stabilitesini daha hassa değerlendirebilmektedirler. Matematiksel iddialar simülasyonlar ile doğrulanmıştır (Şekil 2.9-2.10). Metodun en büyük avantajının, ABS performansının tasarım aşamasında gözlenebilmesi olduğu vurgulanmıştır. Metot ayrıca ABS sisteminin geliştirilme sürecini kısaltması ve geliştirme süresince yapılan harcamaları azaltması sebebi ile de avantajlı olarak anlatılmıştır. ABS sisteminin tasarım ve simülasyon çalışmalarında da kullanılabilir olması modele geçerlilik sağlamaktadır [35].



Şekil 2.9. Simülasyon sonuç eğrisine göre Kayma eğrisinin değişimi [35].



Şekil 2.10. Simülasyon zamanında, Yanal kayma (F_y) miktarının, Doğrusal kayma (F_x) miktarına oranının değişimi [35].

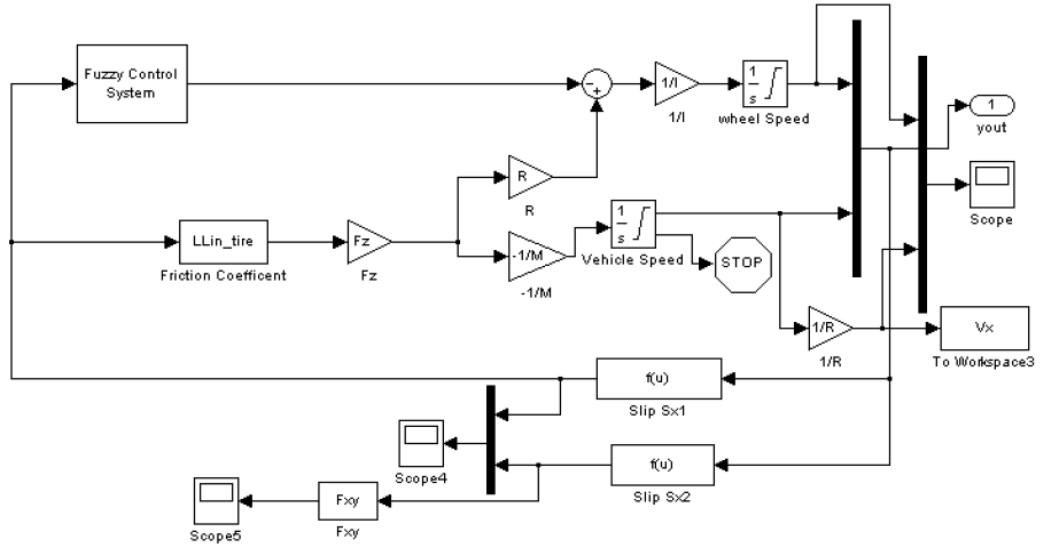
Çalışma sonucunda elde edilen sonuçları yazarlar kısaca şöyle sıralamaktadırlar;

Mevcut değerlendirme parametrelerini (hız, ivme, kayma) temel alarak, aracın frenleme süresince maruz kaldığı yanal durağanlığı (stabilite) değerlendirebilmek için yeni bir yanal durağanlık indeksi ileri sürmektedirler. Simülasyon ve doğrulamalarla bu indeksin ABS performansının değerlendirilmesinde kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

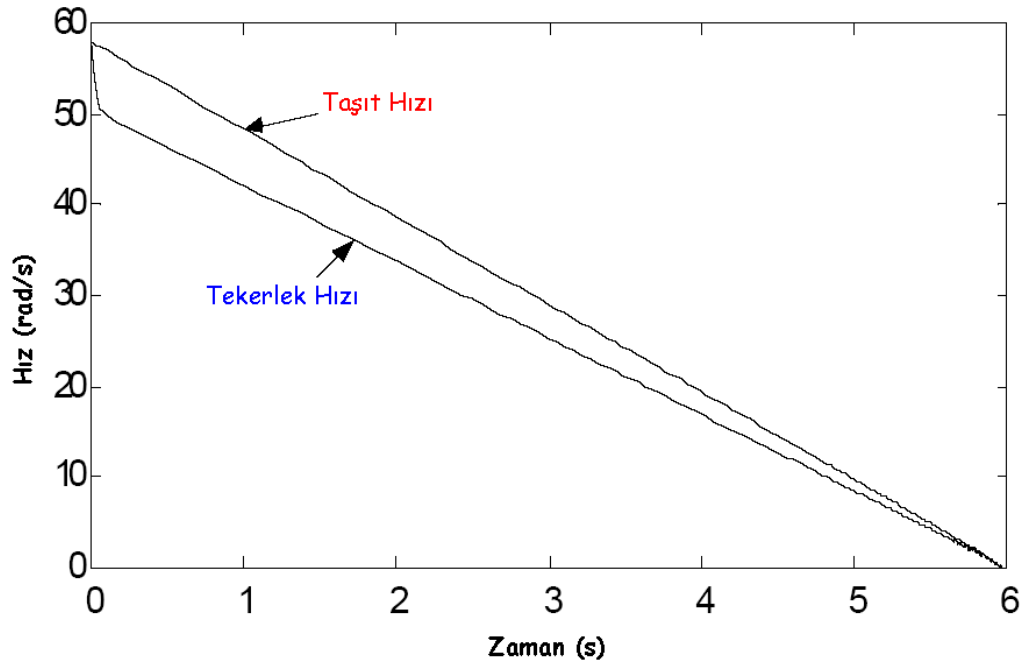
ABS sisteminin performansını tam olarak değerlendirebilmek için birçok parametrenin bir arada kullanılması gerektiğini, hiçbir parametrenin tek başına ABS performansını bütünüyle kavrayarak açıklayamadığı sonucuna varmışlardır [35].

Hou ve Sun ABS için bulanık mantık kayma modu kontrol metodunu uygulayarak bir kontrol çalışması yapmışlardır [36]. Bu çalışmada, bulanık mantık kontrol metodu (Şekil 2.11) ile kayma modu kontrol metodlarını (Şekil 2.13) birleştirerek bir çeşit bulanık mantık kayma modu kontrol metodunu (Şekil 2.15) ileri sürmüşlerdir. Bu metot ile her iki metodun avantajları birleştirilmiş ve dezavantajları aşılmıştır. Elde edilen sonuçlar şu şekilde sıralanmıştır;

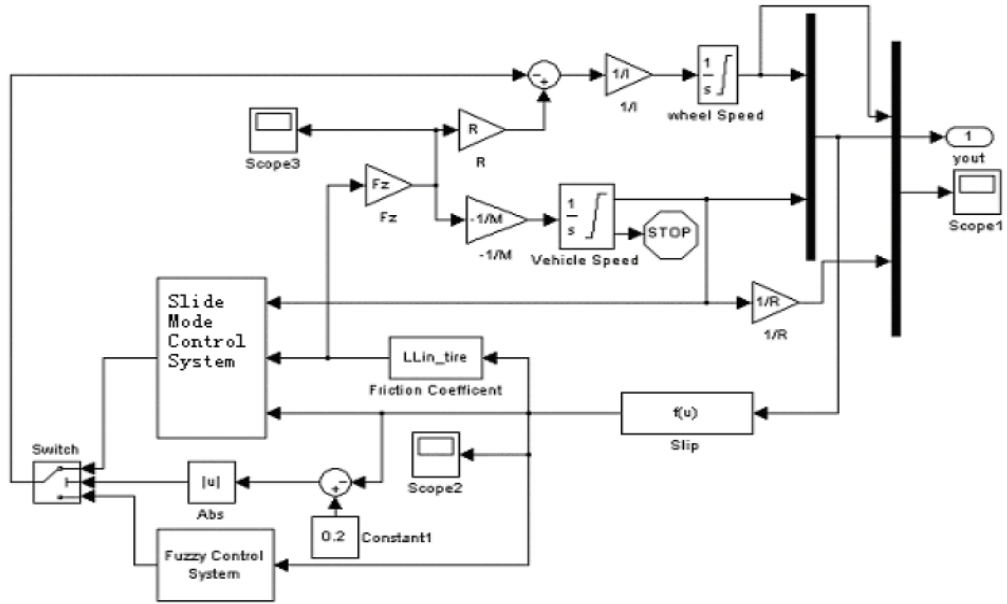
- a. Bulanık mantık kontrol metodunda, araç frenleme işlemi süresince oldukça karardır, bu metodun kuralları ampirik (teste dayalı) temellere dayanmaktadır. Bulanık mantık metodu frenlemenin etkinliğini büyük ölçüde etkilemektedir.
- b. Kayma modu kontrol metodu, sağlam bir performans göstermesine karşılık, bu kontrolde frenleme kararlı değildir.
- c. Bu çalışmada öne sürülen bulanık mantık kayma modu kontrol metodu, her iki metodun da dezavantajlarını elimine etmekte ve kısa frenleme zamanı içinde frenleme sağlamaktadır. Bu da bağıl olarak ideal bir model oluşturmaktadır.



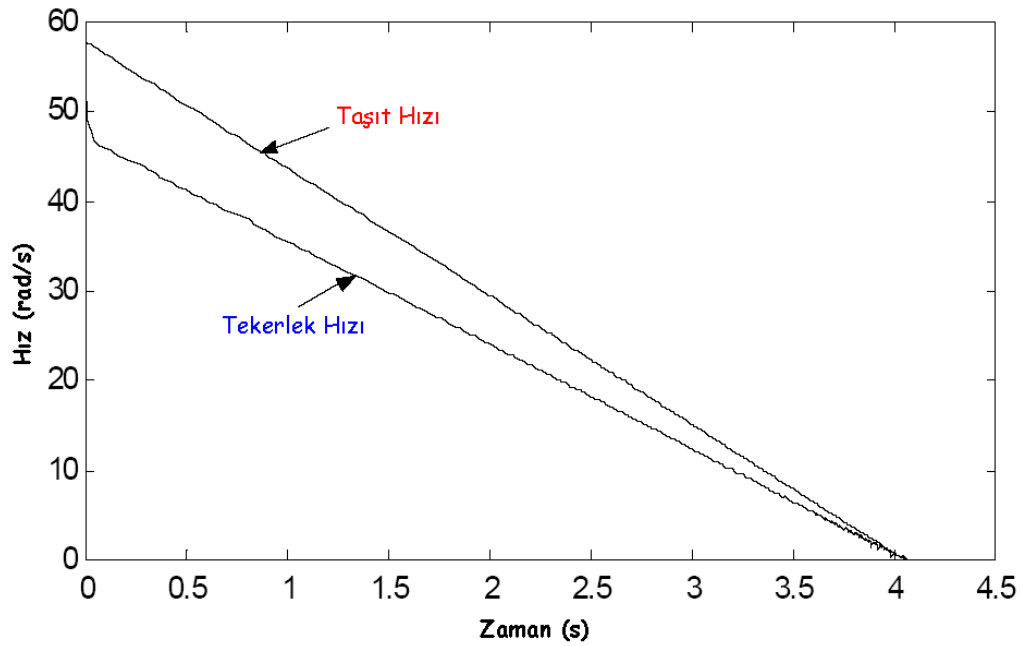
Şekil 2.11. Simülük ile yapılmış ABS bulanık mantık kontrol modeli [36].



Şekil 2.12. ABS bulanık mantık kontrol modeli hız değişimleri



Şekil 2.15. Simülink ile yapılmış ABS bulanık mantık kayma modu kontrolü [36].



Şekil 2.16. ABS bulanık mantık kayma modu kontrolü hız değişimleri

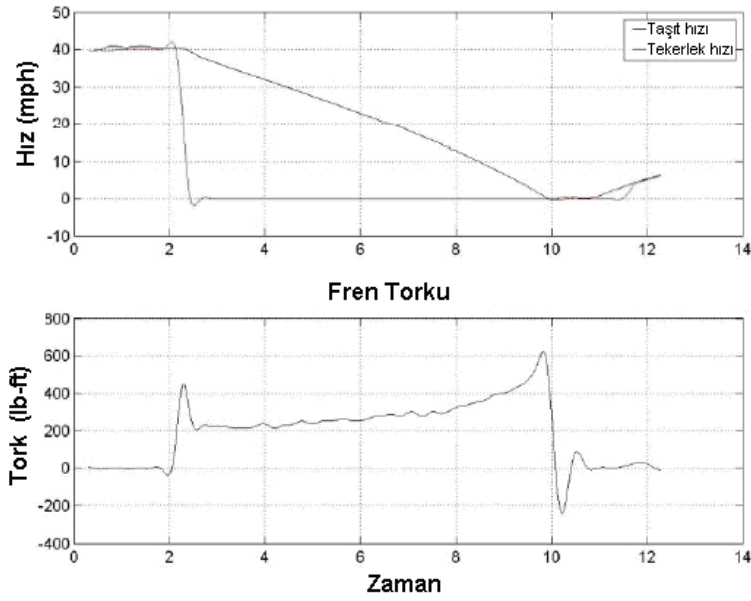
Yazıcıoğlu, otomobillerin frenleme performanslarının ve sürüş kararlılıklarının artırılması için bulanık mantık denetleyicili kilitlenme önleyici fren sisteminin geliştirilmesine yönelik bir çalışma yapmıştır [37]. Diğer taraftan geliştirilen

kilitlenme önleyici sistemin basitleştirilerek daha ucuzlatılmasını amaçlamıştır. ABS'yi kontrol edecek bulanık mantık denetleyicisi (FLC) performansını test etmek için matematiksel bir model kullanmıştır. Doğrusal olmayan bir araç modelinin geliştirilmesine başlamadan önce daha önceden yapılmış çalışmalardan doğrusal olmayan bir lastik modeli seçmiştir. Daha sonra bütün olarak araç modelini bitirmiş ve bazı standart dinamik durumlar için test etmiştir.

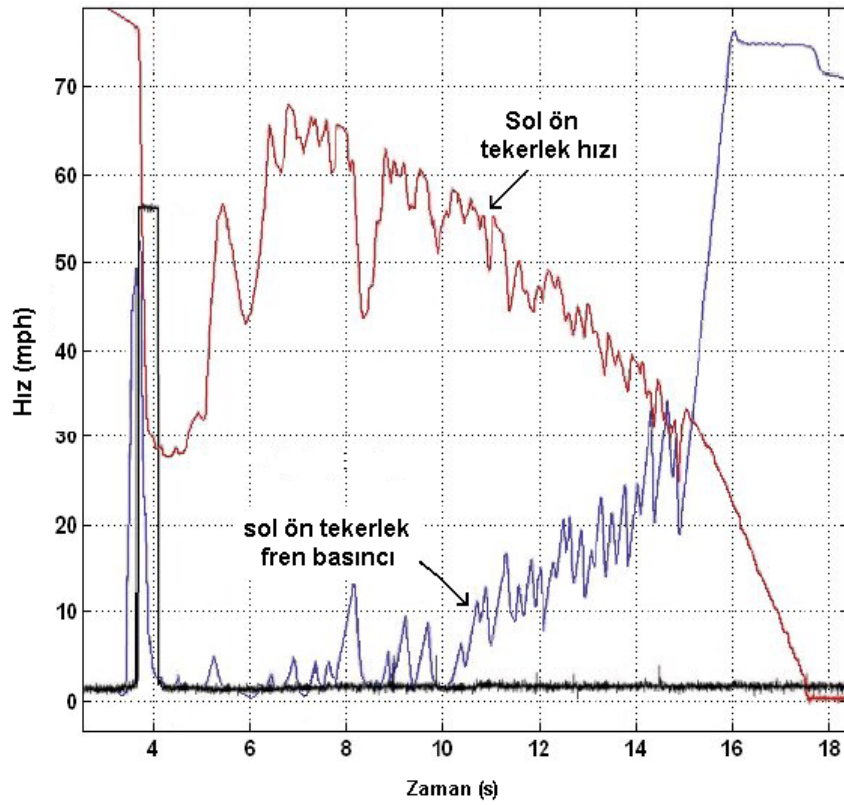
Lastik ve araç modeli bitirildikten sonra acil durumlarda karşılaşılabilecek çalışma koşulları için bulanık mantık denetleyicisinin tasarımını yapmıştır. Bu denetleyici geliştirilirken hiç tecrübesi olmayan normal bir sürücünün bile az bir çaba ile acil durumlarda araca hakim olması amaçlanmıştır. ABS'li olmayan araçlarla karşılaştırma yapılmış, kararlılık ve güvenlik gibi konularda önemli farklar gözlemlenmiştir. Daha basit ABS modelleri yaparak performans farkları gözlemlenmiş ve daha ucuz olabilecekleri için kullanımında sakınca görmediklerini belirtmişlerdir.

Kazemi ve diğerleri, ABS sistemi için yeni bir kayma kontrol modeli üzerine çalışmışlardır [38]. Çalışmada serbestlik derecesi yedi olan dört tekerlekli bir araç düşünülmüştür. Her tekerleğin kayması, her türlü yol koşulunda istenilen aralıkta sonuçlar elde edebilmek amacıyla ayrı ayrı kontrol edilmiştir. Ayrıca istenilen kaymaların ayarlanmasıyla tutunma-kayma yüzeylerdeki sağa sola sapmaların önüne geçilmiştir. Bu ayarlamalar ise daha yüksek sürtünme katsayısına sahip yüzeyler kullanılarak tekerlekler ile yüzey arasındaki kuvvetin azaltılması sağlanarak yapılmıştır. Çeşitli direksiyon manevraları için aracın farklı sürüş koşullarında gösterdiği sonuçları elde etmişlerdir.

Nordström, ağır tonajlı taşıtların, fren performans testlerini geliştirerek, sabit hız, keskin viraj, sürekli viraj durumları, kış şartlarında ABS sisteminin verimi, acil frenlemelerde fren performansı ve taşıt kararlılığı üzerinde çalışarak sistemin simülasyonunu yapmış, yapılan test çalışmaları ile simülasyonun paralel olduğunu ortaya koymuştur [39].



Şekil 2.17. NHTSA ve USDOT’da yapılan ABS performans testlerinde elde edilen frenleme torku ve hız değişimleri



Şekil 2.18. Testlerde elde edilen basınç değişimleri ve taşıt tekerlek hız değişimleri

3. ABS SİSTEMİ, PARÇALARI VE ÇALIŞMA PRENSİPLERİ

3.1. Otomobillerde Kullanılan ABS Sistemi, Elemanları ve Çalışması

Temel ABS parçaları hidrolik modülatör, tekerlek hız sensörleri ve elektronik kontrol ünitesi (ECU)'dir.

Elektronik kontrol ünitesi, hız sinyallerini işleyerek hidrolik modülatörün kontrol ve çalışma parametrelerini belirler, modülatör içerisindeki donanımları kontrol eder. Elektronik kontrol ünitesinin temel değerlendirme kriteri olan tekerlek hız sinyallerini tekerlek sensörleri sisteme gönderir. Dolayısı ile sistemde sensör, kontrol ünitesi ve modülatör arasında veri akış ve kontrolü mevcuttur.

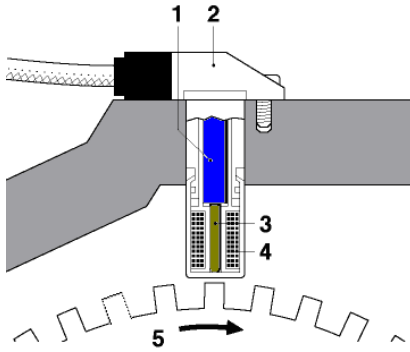
3.1.1. Tekerlek hız sensörü

Tekerlek hız sensörleri elektronik kontrol ünitesine tekerlek hız bilgisini gönderir. İndüktif, aktif, encoder ölçüm sistemli ve döner manyetik alanlı olmak üzere farklı çeşitleri mevcuttur. Üretici firma veya kullanılan araca göre değişiklik gösteren sensörlerin kontrol ünitesi ile de uyumlu olması gerekmektedir.

İndüktif sensörler iki bağlantılı bir endüksiyon bobini tarafından desteklenen yumuşak demir nüveli bir mıknatıstan oluşur (Şekil 3.1). Tekerlek poryası üzerine yerleştirilmiş demir bir dairesel dişli sensörün önünden dönerek geçmekte ve oradaki manyetik alan değişimine göre sensör sinyal üretmektedir. Dişli üzerinde aynı özellikteki dişler sinüzoidal gerilim eğrilerinin üretilmesini sağlar. Tekerlek hızı, sinüs eğrisinin sıfır geçiş noktaları arasındaki genlik değişimi ile ifade edilmektedir.

Sensör ile dişli arasındaki mesafe ve dişlinin boyutları sinyal genliğini belirlemede büyük bir öneme sahiptir. Dişli aralığının 1/3 veya 1/2'lik boyutundaki ölçüm aralığından (hava boşluğu) sensör dişli genişliklerini her hangi bir zorluk olmadan kolayca algılamaktadır. Bu ise ölçüm hassasiyeti için yeterli olmaktadır. ABS

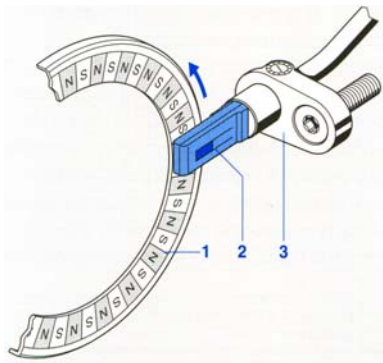
tekerlek hız sensörleri için standart dişliler 0,8–1 mm aralığındaki hava boşluklarına sahiptir. Bu boşluğun artması sonucunda sıfır noktasından geçişler değişeceği için bu değişimi sensör daha büyük dişli olarak algılamaktadır [40].



Şekil 3.1. İndüktif devir sensörü

1 Daimi mıknatıs, 2 Sensör gövdesi, 3 Yumuşak demir nüve, 4 Bobin,
5 Demir döner dişli ve referans noktası.

İndüktif sensörler haricinde genellikle günümüz araçlarında yaygın bir şekilde kullanıma sahip olan bir diğer sensör de aktif tekerlek hız sensörü olarak adlandırılan sensörlerdir (Şekil 3.2). 4,5 V ile 20 V besleme gerilimi ile çalışmaktadır. 3 kısımdan oluşan sensörde tekerlek aks ucuna veya poyra üzerine üzerinde çok kutuplu mıknatıslar bulunan bir tambur (1) yerleştirilmiştir.

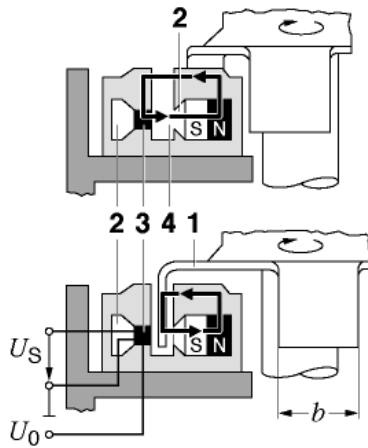


Şekil 3.2. Aktif çok kutuplu tekerlek hız sensörü [41]

Tekerleğin hareketi ile bu tambur sürekli hareket etmekte ve sensör ünitesi önünden geçerken sürekli N-S kutup değişimi meydana getirmektedir. Kontrol ünitesi

tarafından gerilim ile beslenen sensör (2) manyetik alanın değişimine bağlı olarak kontrol ünitesine sinyal göndermektedir. Çok kutuplu manyetik hız sensörü olarak ta adlandırılmaktadır.

Hall-effect sensörlerde (Şekil 3.3) ilk çıkan ABS'li araçlarda tercih edilip kullanılırken günümüz araçlarında kullanılmamaktadır. Arıza oranları daha fazla ve bakım onarımları zor olması, kapalı bir sistem olmaları ve tekerlek poryası üzerine yerleştirilmeleri için yer problemi yaşandığından dolayı kullanımdan kaldırılmıştır. Aks miline veya poyraya bağlı üzeri eşit aralıklarla delinmiş bir dairesel plaka (1), hall sensörünün önünden geçerken sensörün bağlı olduğu kontrol ünitesinde sinyal üretilmektedir. Ayrıca sistemin dışarıdan toz veya su gibi unsurlardan etkilenmesi söz konusu olduğundan tekerlek sensörü olarak kullanımı çok elverişli olmamıştır.



Şekil 3.3. Hall-effect sensör [40]

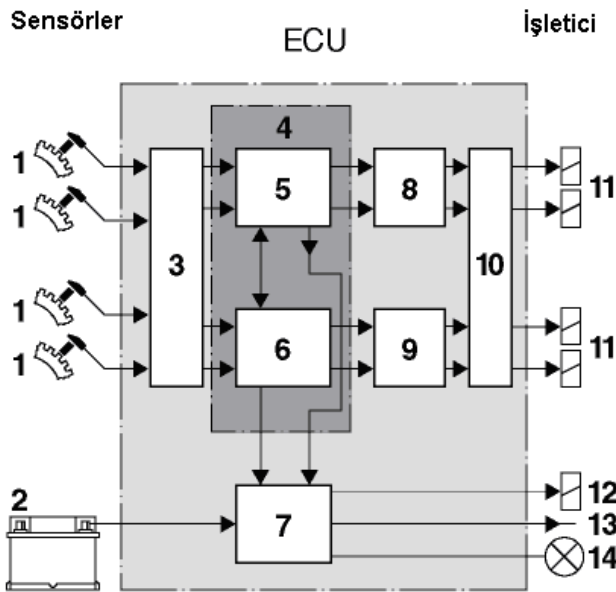
1 b Genişliğinde kanatçık, 2 Yumuşak manyetik iletken, 3 Algılayıcı,
4 Hava aralığı, U_0 Besleme gerilimi, U_s Sensör gerilimi

3.1.2. Elektronik kontrol ünitesi (ECU)

Taşıt özelliklerinin kayıtlı olduğu büyük ölçekli entegrasyon (LSI-Large Scale Integration) devreli elektronik kontrol üniteleri genellikle yaygın olarak kullanılmaktadır.

Büyük ölçekli entegre devrelerde (LSI) eleman boyutları, 6,4 mm'lik bir karedir. Bu devreler binlerce transistör'ün yaptığı işi görebilmektedir.

Şekil 3.4'de 4 kanallı bir ECU görülmektedir. Sistemde kontrol ünitesi tekerleklerden (1) gelen hız sinyallerini alarak filtre eder ve sinyalleri yükseltir. Daha sonra bu bilgilerden her bir tekerleğin ivmesini, tekerlek kayma değerini ve referans taşıt hızını bulmaktadır. Yol şartlarındaki aracın hızını tespit etmek için en uygun yöntemdir.



Şekil 3.4. Bosch 4- kanallı ABS sisteminin kontrol ünitesi [40]

- 1 Tekerlek hız sensörü, 2 Batarya, 3 Giriş devresi, 4 Dijital kontrol ünitesi, 5 LSI devresi 1, 6 LSI devresi 2, 7 Gerilim düzenleyici hata hafızası, 8 Çıkış devresi 1, 9 Çıkış devresi 2, 10 Çıkış basamağı, 11 Solenoid valf, 12 Güvenlik rölesi, 13 Batarya gerilim düzenleyici, 14 İkaz lambası

Giriş devresi

Giriş devresi; düşük geçiş filtresi ve giriş yükseltecinden oluşur. Giriş devresi harici sinyalleri engelleyerek bütün tekerlek hız sensörlerinden gelen hız sinyallerini yükseltir. (Kanal 1...4)

Dijital kontrol ünitesi

Dijital kontrol ünitesi, 2 eş ve birbirinden bağımsız taşıt özelliklerinin olduğu LSI devrelerinin (5,6) ABS2S sisteminde kullanımı içindir. Bu 2 eş ve bağımsız LSI devrelerinin her birisi 2 tekerlekteki (Kanal 1+2, 3+4) bilgiyi eş zamanlı olarak işler ve mantıksal işlemleri gerçekleştirir. Bu işlemlerden sonra tekerlek frekans verisi devreden aritmetik mantık ünitesine gider. Bu mantık ünitesi kapalı devre kontrolü için gerekli olan tekerlek kayması, tekerlek yavaşlama ivmesi ve tekerlek hız değerleri için verileri kullanır. Sistemin uyumu için kontrol ünitesi bu karmaşık kontrol mantığını, solenoid valflerdeki pozisyonu kontrol etmek için kontrol sinyallerine dönüştürür. Giriş kanalına bağlanan seri ara yüz, aritmetik mantık birimi ve kontrol ünitesi 2 dijital LSI devresi arasındaki veri iletişimini sağlar. Fakat diğer fonksiyon bloğu, hata analizi ve hata tanımlaması için gözlem devresi içerir. Kontrol ünitesi yanlış çalışırsa uyarı lambası araç sürücüsünün ABS'yi uzun süre kullanamayacağını uyarır. Ancak frenleme sistemi ABS'nin devre dışı kaldığı zamanda da normal fonksiyonlarını yerine getirir.

Çıkış devresi

2 Çıkış kanalı (8,9), LSI devrelerinden gelen solenoid tahrikleri için pozisyon komutlarını alarak, kanal 1+2 ve 3+4 için akım düzenleyicisi olarak çalışır.

Çıkış adımı

Solenoid valfleri tahrik etmek için gerekli olan akım, 2 çıkış devresindeki akım düzenleyicisinden gelen sinyaller kullanılarak yapılır.

Gerilim sabitleyici, hata hafızası

Bu fonksiyon bloğu besleme gerilimini sabitler ve düzenli işlem için gerekli olan tolerans aralığında kalmasını sağlar (7). Blok ayrıca düşük voltaj tanımlamalarını da

içerir. Bu sayede de ana kart için yetersizlik gösteren akıma reaksiyon olarak üniteyi, röleyi, uyarı lambası kontrol devresini kapatır.

Mikroişlemcili elektronik kontrol ünitesi (ECU)

Taşıt özelliklerinin bulunduğu LSI devrelerinin yerine bu tür kontrol üniteleri mikroişlemci içerir. Bu mikroişlemciler ABS sistemi üzerinde kendi kendini kontrol eden, kontrol programını çalıştıran ve sinyal işleme sürecini gerçekleştiren özelliklere sahiptirler. Bu ünite ayrıca ISO standartlarına göre arıza teşhisini gerçekleştirir. Bu işlemi yaparken uyarı lambası veya ölçü aletlerinin birisinin yardımı ile arızalı ABS parçalarının izini sürmeye imkân tanır.

Mikroişlemci kullanımı sürücü gereksinimleri ve araç kullanımını birleştiren kontrol algoritmalarının mevcut optimizasyonunu sağlar. Örneğin tekerlek kaymasını daha kesin hesaplayarak arka tekerleklerin frenleme işlemlerinde erken denetlenmesine imkân verir.

Fren basıncındaki değişimlere zamanın da müdahale edilip, düzenlenebilirse arka tekerlekler daha iyi kontrol edilebilirler. Tekerlek basıncını düşürecek bir sistem olmadan da arka tekerleklerde fren basınç ayarlaması frenlemenin belirli bir kısmına kadar gerçekleştirilebilir.

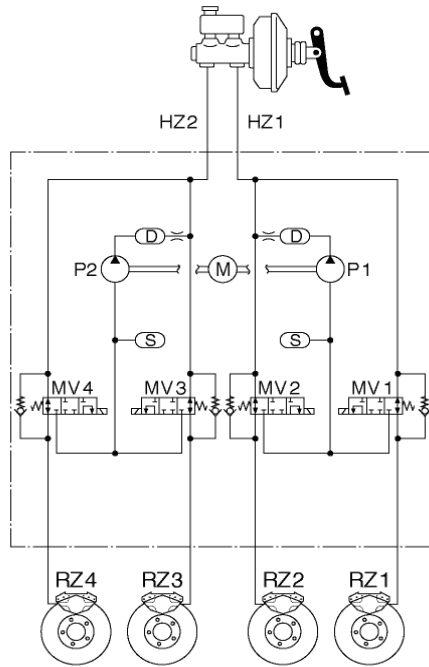
Bu durum frenlemeyi genellikle daha iyi hale getirir. Bu işlemleri yapan sistemlere elektronik fren dengeleyici (EBD) sistemleri denir. Mikro işlemcili kontrol üniteleri EBD sistemlerini de ABS alt yapısı üzerinden çok rahat bir şekilde kontrol edebilmektedir.

Elektronik parçaların daha fazla geliştirilmesi ile yapılan elektronik kontrol ünitelerinde parçaların sayısında azalma olmakta ve bunun sonucunda da kontrol ünitesinin ebatlarında küçülme meydana gelmektedir [40].

3.1.3. Hidrolik modölatör (ABS 2S ve ABS 5, için II ve X fren kuvvet dağılımı)

Hidrolik modölatörler genellikle her fren devresi için aşağıdaki parçaları içerir;

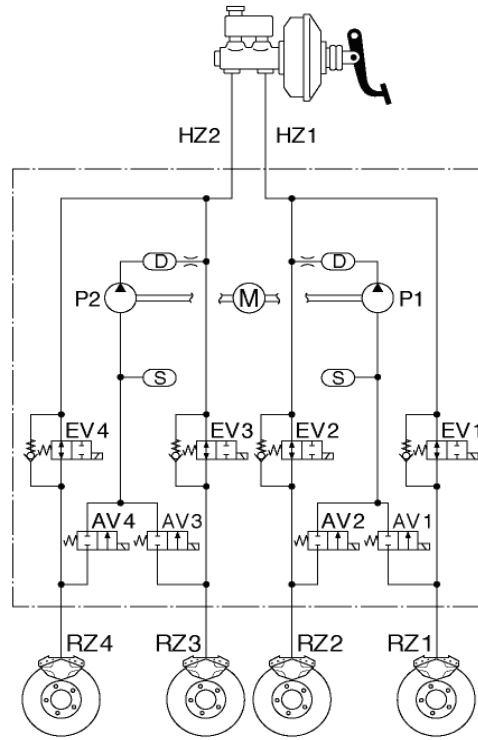
- Elektrik motor sürücülü geri dönüş pompası (P)
- Akümülatör (toplama) odası (S)
- Titreşim sönümleme odası (D)
- Birçok solenoid valf (MV)



Şekil 3.5. ABS 2S fren sistemi. HZ Fren merkez silindiri, M Elektrik motoru, P İtici pompa, D Titreşim odası, S Genişleme akümülatörü, MV 3/3 solenoid valf, EV 2/2 giriş valfi, AV 2/2 çıkış valfi, RZ Tekerlek fren silindiri [40].

Geri dönüş pompası (P)

Tekerlek fren silindirinden merkez silindirine fren akışkanını geri gönderir.



Şekil 3.6. ABS 5 fren sistemi. HZ Fren merkez silindiri, M Elektrik motoru, P İtici pompa, D Titreşim odası, S Genişleme akümülatörü, MV 3/3 solenoid valf, EV 2/2 giriş valfi, AV 2/2 çıkış valfi, RZ Tekerlek fren silindiri [40].

Akümülatör (S)

Akümülatörler basınç düşürme esnasında geçici olarak fren akışkanını depolar.

Titreşim sönümlleme odası (D)

Fren akışkanının merkez silindirine geri dönüşü esnasında meydana gelen yüksek seviyeli titreşimin düzgünleştirilmesini sağlar. Ayrıca gürültü seviyesinin minimumda tutulmasını da sağlar.

ABS 2S modelindeki 3/3 solenoid valfler

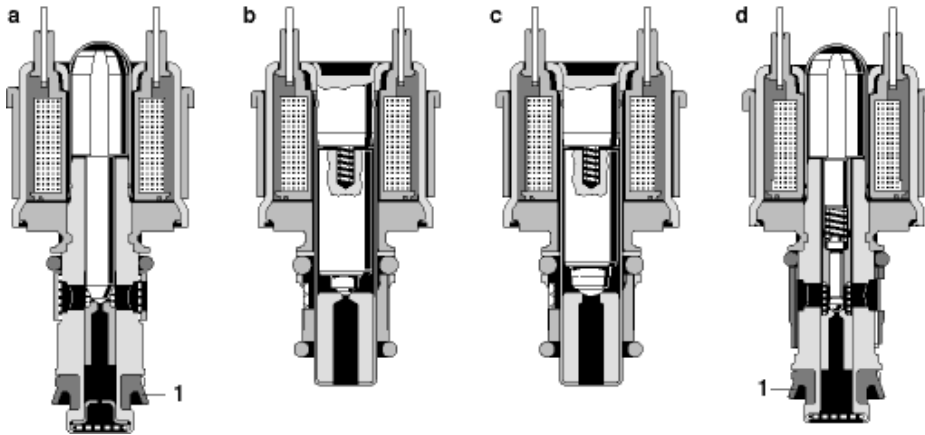
ABS 2S modelinde her tekerlekte bir 3/3 solenoid valf bulunur.

Her valf ABS'nin aktif kontrol zamanında tekerlek silindirindeki basınçları kontrol eder. Bu düzenleme 3 şekilde gerçekleştirilir. Basıncı sabit tutma, düşürme ve yükseltme.

ABS 5 modelindeki 2/2 solenoid valfler

ABS 5 modelinde her tekerleğe bir EV/AV valf çifti yerleştirilmiştir. Valflerin düzenli kontrolü ile aynı basınç düzenlemeleri her bir tekerlek için burada da sağlanır.

Titreşim sönümlleme odasının etkilerine ek olarak 2/2 solenoid valflerin PWM (Pulse Width Modulation) kontrolü; gürültü, süspansiyon titreşiminin başlangıcı ve pedal hissi gibi sürücü konforunun büyük oranda sağlanması için tekerlek silindirlerindeki gerekli basınç değişimine izin verir.



Şekil 3.7. 2/2 solenoid valfler [40]

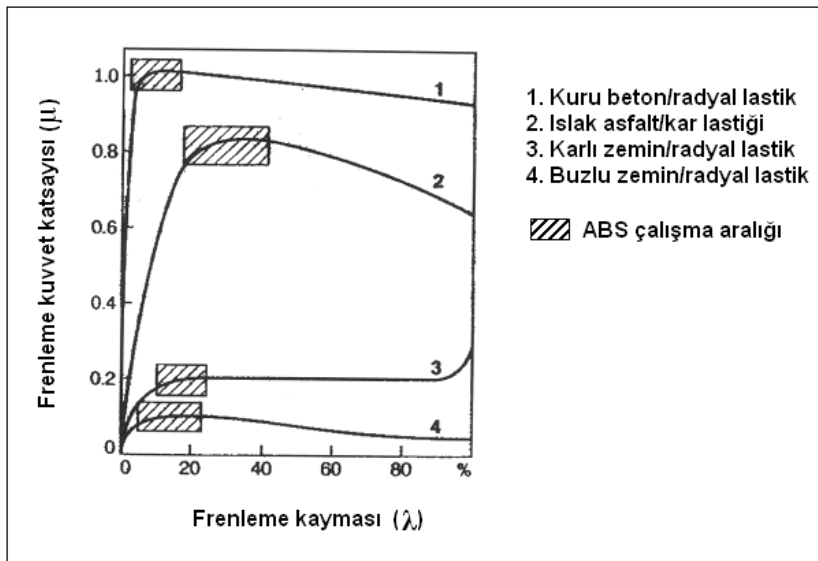
a Giriş valfi, b Çıkış valfi, c Giriş valfi, d Klavuz valfi. 1 Çek valf bileziği.

3.2. ABS Çalışma Fonksiyonları

Frenleme esnasında hem taşıt aksları üzerine gelen yük dağılımlarının değişmesi, hem de her bir tekerlekte oluşturulan frenleme kuvvetlerinin eşit olmaması nedeniyle, tekerleklerden biri diğerine göre daha önce kilitlenme eğilimi göstermektedir. Klasik bir fren sisteminde, kızıklamayı önlemek amacıyla sürücü

kısa aralıklarla fren pedalına kontrollü olarak basarak frenleme yapabilir. Ancak, bazı şartlarda, özellikle kaygan zeminlerde bu kontrol zorlaşmaktadır.

ABS kullanılan bir araçta, optimum frenleme kuvvetinin sağlanması ve ideal frenleme, sürücünün becerisine bağlı değildir. Kilitlenme eğilimi gösteren tekerleğin hızı ve çevresel yavaşlama ivmesi algılanarak, o tekerleğin fren hidrolik basıncı otomatik olarak düşürülür ve kontrol edilir. Sistem, bütün tekerlekler için optimum yavaşlama ivmesini, tekerlekle zemin arasındaki uygun kayma oranını koruyarak sağlar. Fren uygulandığında, tekerlek hızı, taşıtın ortalama hızına göre daha düşüktür. Çünkü frenleme yapan tekerlekle zemin arasında kayma meydana gelir. Belirlenen referans hıza göre tekerlek çevresel hızının hesaplanmasıyla bu kayma oranı % 10 ila % 30 arasında tutulur. Frenleme anında bu çalışma aralığı ve kayma oranlarına göre tutunma katsayılarının değişimi Şekil 3.8’de görülmektedir.

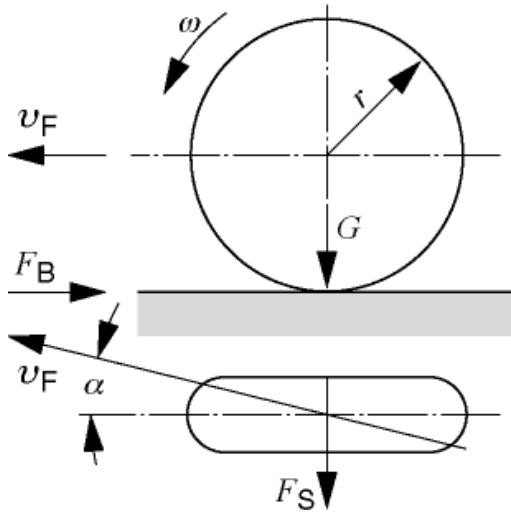


Şekil 3.8. Çeşitli yol ve kayma şartlarında ABS çalışma aralıkları

Şekildeki grafikte görüldüğü gibi, yol ve zeminin durumuna göre en yüksek tutunma kuvveti sağlanmaktadır. Tekerlek % 30 kayma değerinin üzerine çıktığında tutunma azalmaktadır. Buna bağlı olarak taşıtın durma mesafesi uzayacağı gibi, zemin şartlarının değişmesi durumunda taşıtın kararlılığı da bozulacaktır [1].

3.2.1. Temel kapalı kontrol fonksiyonu

ABS fren sistemleri frenleme esnasında tekerleğin kilitlenmesini önleyen kapalı kontrol sistemleridir. Bunun sonucunda da araçta manevra kabiliyeti ve kararlılıkta kayıp olmamakla birlikte sistemin müdahale süresi ve çalışma koşulları da optimize edilmektedir.



Şekil 3.9. Frenlenmiş tekerlekte oluşan kuvvetler [40]

G Ağırlık kuvveti, F_B Frenleme kuvveti, F_S Yanal kuvvet, v_F Taşıt hızı,
 α Kayma açısı, ω Açısal hız

Frenleme esnasındaki kayma, tekerlek çevresel hızı, frenleme kuvveti ve yanal kuvvetler basit olarak aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$\lambda = (v_F - v_R)/v_F \cdot 100 \% \quad (3.1)$$

Tekerlek hızı;

$$v_R = r \cdot \omega \quad (3.2)$$

Frenleme kuvveti ve yanal kuvvet;

$$F_b = \mu_{HF} \cdot G \quad (3.3)$$

$$F_s = \mu_s \cdot G \quad (3.4)$$

μ_{HF} : Sürtünme katsayısı,

μ_s : Yanal kuvvet sürtünme katsayısı.

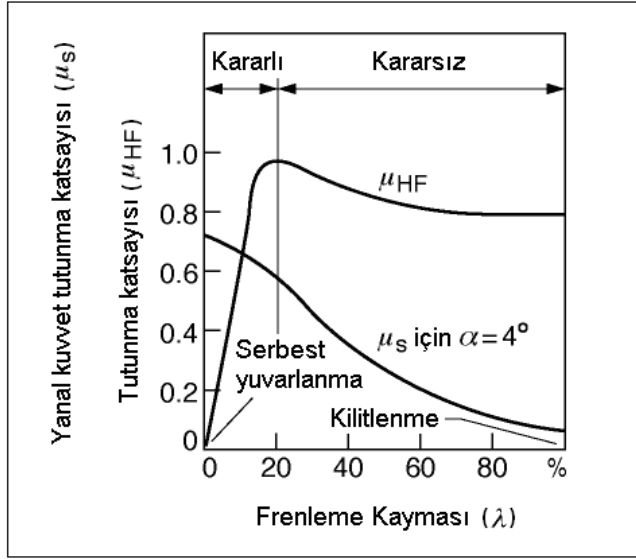
Başlangıçta frenleme esnasında fren basıncı pedala basma hareketi ile birlikte artar. Frenleme kayması (λ) yükselir ve tutunma kayma eğrisinin en yüksek noktasında kararlı ve kararsız bölgeler arasındaki limite ulaşır (Şekil 3.10).

Bu noktanın üzerindeki fren basıcında veya frenleme torkundaki her artış frenleme kuvvetinde (F_b) herhangi bir artışa neden olmaz. Kararlı alanda frenleme kayması büyük oranda frenlemedeki bozulma kayması olarak adlandırılır. Bu artan bir şekilde kararsız orana doğru kayma eğilimi gösterir.

Kayma eğrisinin şekline bağlı olarak sürtünme katsayısında (μ_{HF}) fazla veya az bir şekilde düşüş olur. Aşırı tork sonucunda tekerlek ani bir şekilde kilitlenir. (ABS olmadan frenlendiği zaman). Bu durum tekerlek yavaşlama ivmesinde ani artış olarak ifade edilir.

Şekil 3.10'daki tutunma- kayma eğrisinin şekli yol yüzey şartlarına ve tekerlek faktörlerine göre büyük değişimler gösterebilmektedir.

Tekerlek hız sensörleri tekerlek hareketlerini sürekli takip eder. Eğer tekerleklerde kilitlenme eğilimi olursa, tekerlek çevresel yavaşlama ivmesinde ve tekerlek kaymasında net bir şekilde artış görülmeye başlar. Eğer bu artış kritik değerleri aşarsa kontrol ünitesi solenoid valf ünitesine kilitlenme durumu ortadan kalkana kadar tekerlek fren basıncının artışının durdurulması ya da düşürülmesi için komut gönderir. Genellikle teorik olarak bu kritik kayma değeri %15 civarındadır.



Şekil 3.10. Tutunma / kayma eğrisi

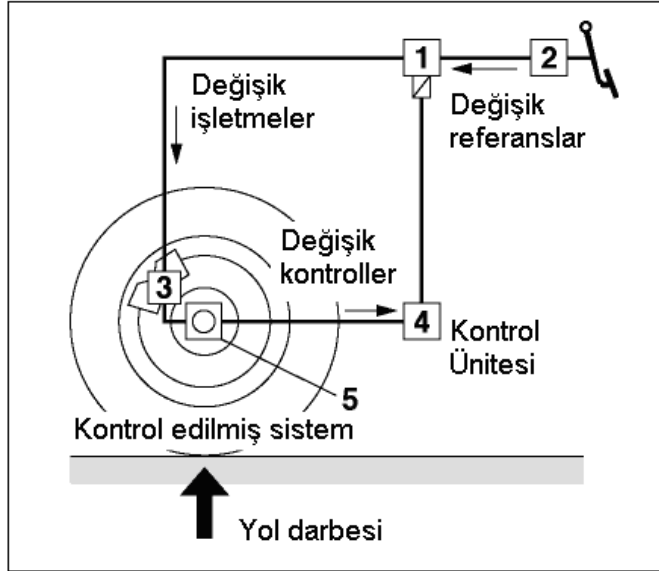
Bu esnada sisteme gelen hız verilerinde tekrar bir artış olmaya başlar. Fren basıncı o tekerleklerdeki frenlemenin olmamasından dolayı tekrar artırılmalıdır. Otomatik fren kontrolü sırasında bu durum tekerlek hareketinin kararlı veya kararsız olmasının belirlenmesi için gereklidir. Tekerlekteki basıncın sabit tutulması düşürülmesi veya yükseltilmesi ile tekerlek maksimum frenleme kuvvetinin sağlandığı veya maksimum tutunmanın sağlandığı kayma aralığında tutulmaya çalışılır.

3.2.2. Kapalı kontrol fonksiyonundaki bozukluklar

ABS sistemi kapalı kontrol işlemi esnasında aşağıdaki faktörleri ve etkenleri değerlendirerek hassas bir kontrol sağlar.

- Farklı tip yol yüzeylerinin ve tekerlek yüklerindeki değişikliklerin neden olduğu tekerlek ve yol arasındaki tutunmadaki değişiklikler (Örneğin dönüşlerde),
- Tekerlek ve akslarda titreşimlere sebep olan, yol yüzeylerindeki titreşimler,
- Frenlemede düzensizlik, fren etkinlik kaybı, fren gecikmesi,
- Sürücünün fren pedalı ile merkez silindirindeki yaptığı basınç değişikliği,

- Tekerlek çevresindeki çevre mesafesi farklılıklarının oluştuğu durumlar (Yedek tekerlek kullanımındaki gibi).



Şekil 3.11. ABS kontrol döngüsü

1 Solenoid valf ünitesi, 2 Merkez silindiri, 3 tekerlek fren silindiri, 4 Elektronik kontrol ünitesi (ECU), 5 tekerlek hız sensörü.

3.2.3. Kontrol kalitesini belirleyen kriterler

Etkili bir ABS fren sisteminin kontrol kalitesini belirleyen hususları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Arka tekerleklerde yeterli yanıl kuvvetlerin sağlanması ile sürüş kararlılığının devamı,
- Ön tekerleklerde yeterli miktarda yanıl kuvvetin sağlanması ile manevra kabiliyetinin sağlanması,
- Tekerlek ve yol arasındaki tutunmanın optimum fayda verecek şekilde kullanımı sonucunda kilitlenmiş tekerlek ile frenleme sonucuna karşılık durma mesafesindeki azalma,
- Farklı tutunma katsayılarındaki zeminlerde frenleme kuvvetinin hızlı uyumu (Örneğin su birikintisi ya da basılmış kar veya buzlu zeminlerdeki sürüşlerde),

- Araçta sürüş esnasındaki kullanılan viteste düşük fren torku kontrol genişliğinin sağlanması,
- Pedal hissindeki azalmanın ve düşük sesli çalışmanın verdiği yüksek seviyede konfor, sürüş güvenliğini etkileyen unsurlardır.

3.3. ABS Sisteminin Otomobillerdeki Dinamik Yapıya Etkileri

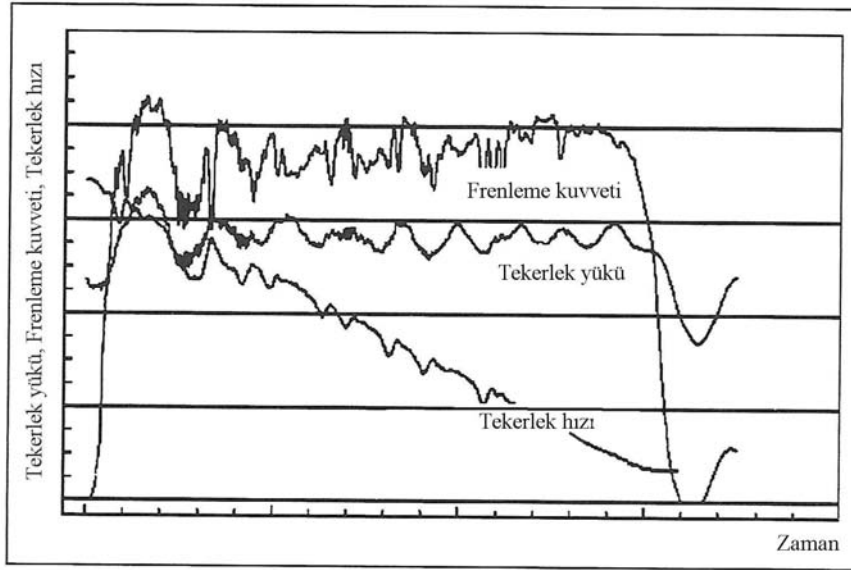
3.3.1. ABS’li frenlemelerde tekerleklerdeki tutunma kuvveti analizi

Tekerleklerin kilitlenmeleri durumunda tekerlek ve zemin arasında hiçbir tutunma ve hareket kuvveti iletilmez. Ön aks üzerindeki her iki tekerlekte frenleme esnasında aynı anda kilitlenirse aracı yönlendirmek mümkün olmamaktadır.

ABS fren sistemleri tekerleklerdeki kilitlenmeyi önleyerek maksimum frenlemeye imkân sağlamaktadır. Bununla birlikte fiziksel kuralların sınırları içerisinde, aracın kararlı ve direksiyon manevra kabiliyetini yitirmeden frenlenmesini sağlamaktadır. Her bir tekerlekten hız sensörleri bilgilerini kullanarak, optimum kayma şartlarını belirler ve her bir tekerlekte ayrı ayrı basınç düzenlemesi yaparak bu fonksiyonlarını gerçekleştirmektedir.

Şekil 3.12’de kuru asfalt şartlarında 100 km/h hızdaki bir aracın ABS’li frenleme esnasındaki frenleme kuvveti, tekerlek yükü ve tekerlek hız değişimleri görülmektedir [42].

Frenleme şartları altında bir aks üzerindeki bir tekerlekten kuvvetler, tekerlek yükü ve tekerlek hız verileri ölçülmüştür. Frenleme esnasında aracın yavaşlama ivmesine bağlı olarak arka akslar üzerindeki yükün bir kısmı ön akslar üzerindeki tekerleklere kaymaktadır.



Şekil 3.12. 100 km/h hızda bir taşıtta frenleme esnasında frenleme kuvveti, tekerlek yükü ve tekerlek hız değişimleri [42]

Taşıttın ağırlık merkezinin yerden yüksekliğine ve akslar arasındaki mesafeye bağlı olarak bu dinamik yük değişimi farklılıklar göstermektedir. Süspansiyon sisteminin etkileri, tekerleğin yol darbelerini sönmülmesinden kaynaklanan kuvvetler ve taşıttın hareketleri sonucunda, araç gövdesi üzerinde oluşan kuvvetler araçta dalma hareketine sebep olur. Bunun sonucunda tekerlekler üzerinde veya akslar üzerinde yük dağılımlarında dengesizlikler oluşur. Bu değişimler sonucunda da frenleme kuvvetlerinde dengesizlikler meydana gelir. Frenleme esnasındaki taşıttın hareketlerinden kaynaklanan, tekerleklerdeki yük değişimleri Şekil 3.12’de gösterilmektedir. Tekerlek yüklerindeki bu değişimler sonucunda, frenleme esnasında tekerlekler arasında hız farklılıkları meydana gelir. ABS’nin aracı uygun kayma değer aralığında tutması için kullandığı hız sinyalleri bu hız farklılıklarından etkilenir. Frenleme esnasında eğer bir tekerleğin hızı taşıttın hızına göre çok fazla düşerse (yaklaşık olarak % 15) bunun sonucunda tekerlekte kilitlenme riski ortaya çıkmaktadır. Yani tekerlekler arasındaki hız farkının artması ile kayma miktarı artmaktadır. Dolayısı ile bu durumda tekerleğin tekrar frenleme öncesi çalışma şartlarına, yani tutunma-kayma eğrisinin maksimum noktasına yaklaşması için o tekerlekteki fren basıncı düşürülmektedir.

ABS'nin devreye girdiği frenleme şartlarında aracın yavaşlaması için frenleme esnasında tekerlekler üzerindeki tutunma kuvvetleri ve frenleme kuvvetleri aşağıdaki faktörler tarafından belirlenmektedir.

- Aracın geometrik yapısı ve ağırlığına göre tekerleklerdeki yükün değişimi.
- Süspansiyon ve amortisörlere bağlı olarak tekerlek yüklerindeki dalgalanmalar.
- Frenleme esnasında sistemde basınç düşmesi ve yükselmesi sonucunda ortaya çıkan araç tepkileri.

Tekerlekler tasarlanırken tutunma-kayma karakteristiği, en uygun şekil ve profiller seçilerek optimize edilmektedir. Ayrıca tekerlek üzerindeki kuvvet değişimleri tekerlek malzemesinin katılığı veya esnemesi arasındaki doğru dengenin sağlanması ile optimize edilmektedir.

Taşıt fren sistemi parçaları ve hareket sistemleri birbiri ile ilişkili çalışan parçalar oldukları için ideal çalışma şartları ve durumları tespit edilerek araçta istenilen en kısa durma mesafesinin elde edilmesi sağlanmaktadır. Bu yüzden tekerlek ani yavaşlama ivmelerini sağlayabilecek potansiyel tutunmaya imkân vermelidir. Aynı zamanda ABS fren sistemi tekerleklerdeki tutunmayı en uygun seviyede kullanarak ve tekerleğin en düzgün şekilde çalışmasını sağlamalıdır. Bu durum hem tekerleğin hem de fren sisteminin en ideal şartlarda çalışmasına imkân verir. Her bir sistem ve parça üzerinde yapılacak çalışmalar sonucunda bütün sistemin potansiyeli ortaya çıkarılmaktadır.

3.3.2. Tekerlek - zemin etkileşimi

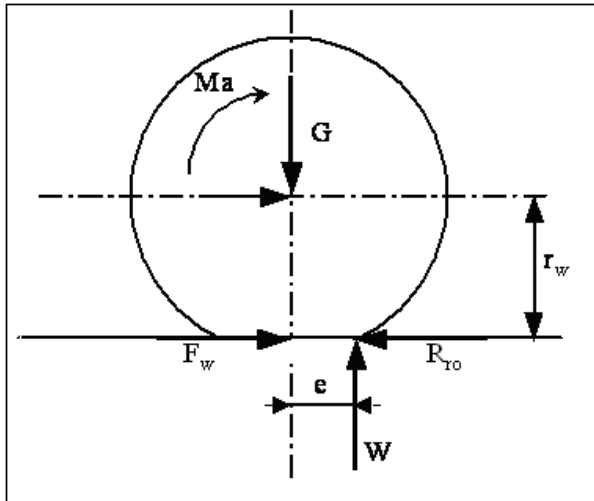
Genel olarak, tekerlek-zemin etkileşiminde, karayolu taşıtlarının hareket analizi için en uygun olanı; esnek tekerlek- rijit yol etkileşimidir [43].

Tekerlek; taşıt ile yol arasındaki tek bağlantıdır ve taşıtın hızlanma, durma, yön değiştirme gibi, gerekli hareketleri yapmasını sağlamaktadır. Bu nedenle; tekerlek

tüm kontrol kuvvetlerini, yeterli düzeyde zemine iletebilmelidir. Gerçekte, tekerleğe etki eden kuvvetler, oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu kısımda sadece temel kuvvetler incelenmiştir.

3.3.3. Tutunma ve kayma ilişkileri

Sert asfalt veya beton yolda ilerleyen bir lastik tekerleğin biçim değişimi (deformasyon), yola oranla çok daha fazladır. Bu nedenle, değerlendirmeleri basitleştirmek üzere, zeminin tam olarak rijit ve tüm deformasyonun lastikte olduğu varsayılmaktadır. Şekil 3.13’de tekerlek üzerine etki eden kuvvetler ve momentleri gösterilmektedir.



Şekil 3.13. Dinamik tekerleğin serbest cisim diyagramı

Tekerlekte oluşan toplam momentlerin eşitliğinden,

$$M_a + R_{ro} \cdot r_w = F_w \cdot r_w + W \cdot e \quad (3.5)$$

yazılabilir. $M_a = F_w \cdot r_w$ olduğundan; $R_{ro} \cdot r_w = W \cdot e$ olur ve

$$R_{ro} = W \cdot e / r_w \quad (3.6)$$

yazılabilir. Burada;

M_a : Aks torku (Nm),

F_w : Uygulanan tahrik kuvveti (N),

R_{ro} : Yuvarlanma direnci (N),

W : Tekerleğe gelen tepki kuvveti (N),

r_w : Tekerlek dinamik yarıçapı (m),

e : Tekerlek basınç merkezi ile geometrik merkez (temas noktası) arasındaki mesafe

3.6 eşitliğindeki e/r_w oranı, yuvarlanma direnci katsayısı olarak tanımlanmakta ve f_{ro} ile gösterilmektedir. Dolayısıyla;

$f_{ro} = e / r_w$ ve yuvarlanma direnci,

$$R_{ro} = f_{ro} \cdot W \quad (3.7)$$

olur [43].

Taşıtın hareket yönünde, yere uygulanabilecek maksimum kuvvet:

$$F_{net} = F_t - R_{ro} \quad \text{ve}$$

$$F_{net} = \mu_{romax} \cdot W \quad (3.8)$$

kadardır. Burada;

F_t : Tahrik kuvveti (N),

F_{net} : Tutunma kuvveti (N),

μ_{romax} : Maksimum tutunma katsayısıdır.

Aks momentinin, F_{net} kuvvetini geçecek düzeyde uygulanması durumunda; yüksek tahrik momenti, tekerleğin patinaj yapmasına neden olur.

Tekerlekle yol arasındaki kaymalı harekette ise;

$$F_{net} = \mu_s \cdot W \quad (3.9)$$

olacaktır. Burada μ_s kayma halindeki tutunma katsayısıdır. Yuvarlanma sırasındaki tutunma katsayısı, kayma sırasındaki tutunma katsayısından daha yüksektir ($\mu_{ro\max} \geq 1,2 \mu_s$). Tutunma katsayıları, yolun durumu ile lastik yüzeyinin özelliklerine bağlıdır (Çizelge 3.1). μ_{ro} katsayısının, normal koşullardaki değeri $\mu_{ro}=1$, çok kötü koşullarda ise $\mu_{ro}=0,1$ 'dir. Taşıt hızı arttıkça μ_{ro} değerleri azalmaktadır [44].

Çizelge 3.1. Lastiklerin yol üzerindeki tutunma katsayıları (μ_{ro})

Taşıt hızı km/h	Lastiğin durumu	Yolun durumu ve su derinliği				
		Kuru	Islak ~0,2mm	Şiddetli yağmur ~1mm	Su ~2mm	Buzlu
50	Yeni	0,85	0,65	0,55	0,5	0,1 ve
	Aşınmış*	1,0	0,5	0,4	0,25	Daha az
90	Yeni	0,8	0,6	0,3	0,05	“
	Aşınmış*	0,95	0,2	0,1	0,05	“
130	Yeni	0,75	0,55	0,2	0	“
	Aşınmış*	0,9	0,2	0,1	0	“

* 1 mm diş derinliği kalıncaya kadar aşınmış.

İvmelenme veya frenleme sırasındaki tutunma kuvveti hesabında, hareket yönündeki yük transferleri de dikkate alınmalıdır. μ_{ro} ve μ_s katsayıları; lastiğin diş yapısı, diş derinliği, şişirme basıncı ve yapısına bağlıdır. Düzgün ve kuru bir yoldaki en iyi tahrik kuvvetini, dişsiz lastik sağlar. Ancak; ıslak ya da buzlu bir yüzeyde, böyle bir lastik son derece kullanışsızdır. Bu nedenle, birçok ülkede, en az 1-2 mm'lik diş derinliği yasal zorunluluktur. Buzlu zeminde, 3 mm diş derinliği bile çok yardımcı olamamaktadır. μ_{ro} ayrıca; yağmurun hemen başlangıcında, yol yüzeyindeki tozların sürtünme azaltıcı etkisine bağlı olarak, % 50 kadar azalmaktadır. Yol yüzeyi tamamen ıslandığında, yeterince dişli olmayan lastikler kaymaya başlarlar. Kayma sırasında, $\mu_{ro} = \mu_s = 0,1$ kadardır [45].

Lastiğin; yola temas ettiği yüzeyde ve hareket yönünde, bir kuvvet oluşturulabilmesi için, bir miktar kayması zorunludur. Buna göre; tahrik ileten bir tekerlek, serbest yuvarlanarak hareket eden tekerleğe oranla, daha büyük çevresel hıza sahiptir. Benzer olarak; frenleme sırasında da frenleme yapan tekerlek, serbest yuvarlanan tekerleğe oranla daha küçük çevresel hızla hareket edecektir. Kayma miktarı; lastiğin ve yolun durumu ile, taşınan yük miktarı ve tahrik kuvvetine bağlıdır [46,44].

Tahrik kayması;

$$\lambda_t = \frac{\theta - \theta_0}{\theta} = \frac{V_w - V_v}{V_w} \quad (3.10)$$

ve frenleme kayması da;

$$\lambda_f = \frac{\theta_0 - \theta}{\theta_0} = \frac{V_v - V_w}{V_v} \quad (3.11)$$

eşitlikleriyle belirlenir [47]. Burada;

θ : Kayma yapan tekerleğin açısal hızı,

θ_0 : Serbest (yuvarlanarak) hareket eden tekerleğin açısal hızı,

V_v : Taşıt hızı,

V_w : Kat edilen mesafe boyunca tekerleğin çevresel hızıdır.

3.3.4. ABS çalışma şartlarının belirlenmesi

ABS, frenleme sırasında, tekerlekle yol arasındaki kaymayı hesaplayarak belirli bir değerin üzerine çıkmış kayma şartlarında devreye girer. Bunun için, hız sensörleri vasıtasıyla ölçülen her bir tekerleğin hızı ile bunların ortalamasından elde edilen taşıt hızı esas alınmaktadır. Ancak, frenleme esnasında dört tekerleğin de aynı anda ve aynı derecede kilitlenme eğilimi göstermesi durumunda, taşıt hızının, dolayısıyla da kaymanın tam olarak hesaplanması mümkün değildir [48]. Özellikle arka ve ön aksın

her ikisinin hareket verdiği taşıtlarda, buzlu yollarda dört tekerleğin de aynı anda bloke olması mümkündür. Bu durumda hız sensörlerinden gelen bilgi, tekerlek hızına bağlı olarak belirlenen taşıt hızının tayinini imkânsız kılacaktır. Bu nedenle ABS kontrollerinin sadece kaymaya bağlı değil, ivmeye bağlı olarak da yapılması gerekmektedir. Bu amaçla geliştirilen sensörler vasıtasıyla taşıt hızının doğrudan ölçülmesi mümkün olmaktadır [49].

ABS çalışma şartlarını belirleyen bazı standart değerler aşağıdaki gibi formülize edilebilir:

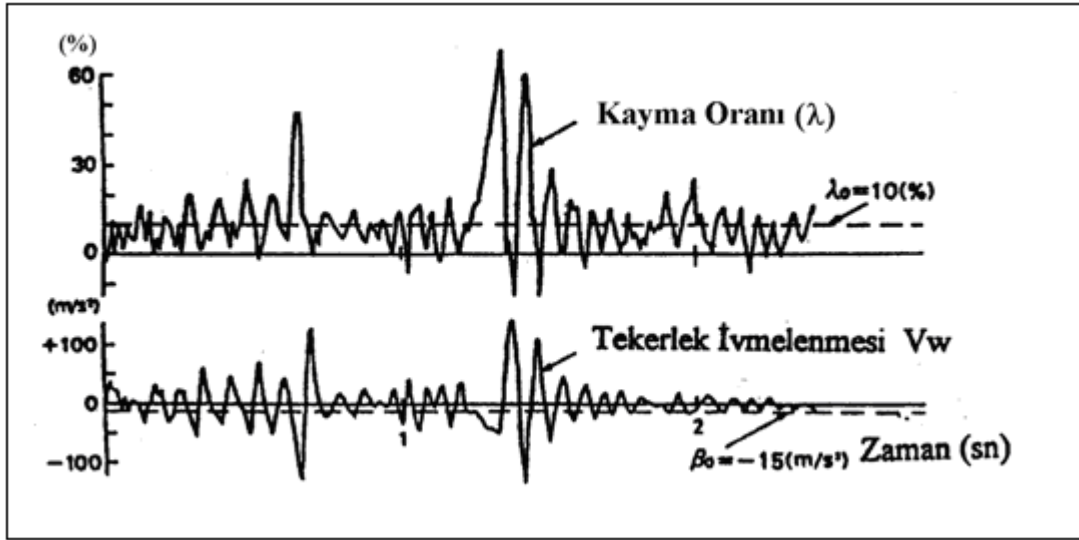
$$\lambda > \lambda_0 ; a_w < a_0 \quad (3.12)$$

Burada (λ) tekerlek kayma oranı; (λ_0) referans kayma oranı; (a_w) tekerlek çevresel ivmesi; (a_0) ise referans standart tekerlek çevresel ivmesidir.

$$\lambda = 1 - (V_w / V) \quad (3.13)$$

Burada (V_w) tekerlek çevresel hızını (m/s), (V) ise taşıt hızını (m/s) ifade etmektedir. Genellikle referans standartlar $\lambda_0 = \% 10$; $a_0 = -9.8 \sim -15 \text{ m/s}^2$ arasında değişir.

Pürüzlü yüzeyli bir yolda, lastik tekerlek tırnakları ve yol yüzeyi arasında frenleme sırasında meydana gelen değişken temaslar sonucu değişken tekerlek hızları ortaya çıkmaktadır. Şekil 3.14'de çok pürüzlü bir yolda ABS'siz denenen test aracında 100 N'luk pedal kuvveti için ortaya çıkan tekerlek hız değişimleri ve kayma değerleri (λ ve a_w) görülmektedir. Burada kilitlenmeyi önlemek için en fazla 100 N'luk pedal kuvveti tatbik edilmiştir. Şekil 3.14'den de anlaşılabileceği gibi (1) ve (2) numaralı formülle gösterilen ABS çalışma şartları, bu deneyde ABS'siz ve kilitlenme olmadan yapılan frenlemeyle bile ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, hâlihazırda kullanılan bir ABS'nin pürüzlü bir yolda kilitlenme şartları oluşmadan bile tekerleklerdeki frenleme torkunu kontrol ederek durma mesafesini uzatabileceği görülmektedir [50].



Şekil 3.14. Tekerlek kayma oranı ve ivmesinin zamana bağlı değişimleri [50]

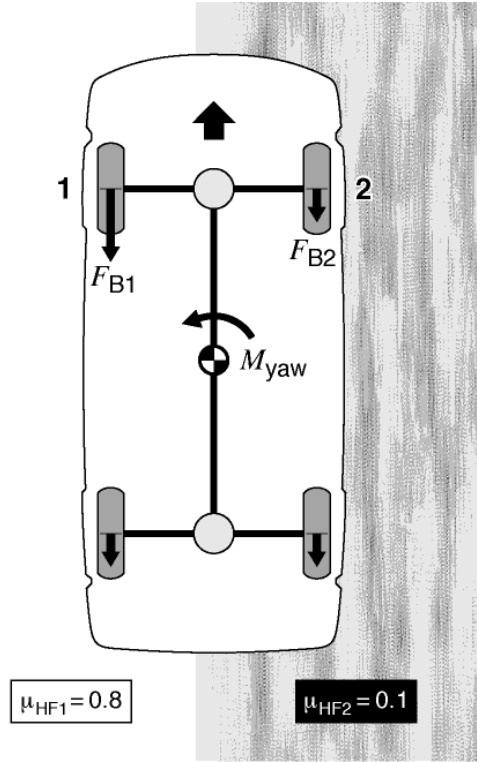
3.3.5. Fren kontrolü ile savrulma momenti artışının geciktirilmesi

Bölünmüş yol şartlarında örneğin sol tekerleklerin kuru asfalt sağ tekerleklerin buzlu zemin üzerinde olduğu asimetrik yol şartlarında frenleme işlemi uygulandığı zaman ön tekerleklerdeki frenleme kuvveti çok büyük bir değişim göstermektedir.

Bu fark aracın yatay eksen etrafında sapma hareketi yapmasına sebep olur.

Ağır vasıtalarda ABS fren sistemi, döndürme momenti değerini ayarlayarak sürücüye direksiyon manevrası yapması için zaman kazandırır.

Daha küçük araçlarda, asimetrik yol şartlarındaki ani frenleme durumlarında ABS'nin araç kontrolünü sağlaması için döndürme momenti artışını geciktirecek Savrulma Moment Geciktiricisi (GMA/ Gier Moment Anstiegsverzögerung / yaw moment increase delay) gibi ek sistemler kullanılmaktadır.



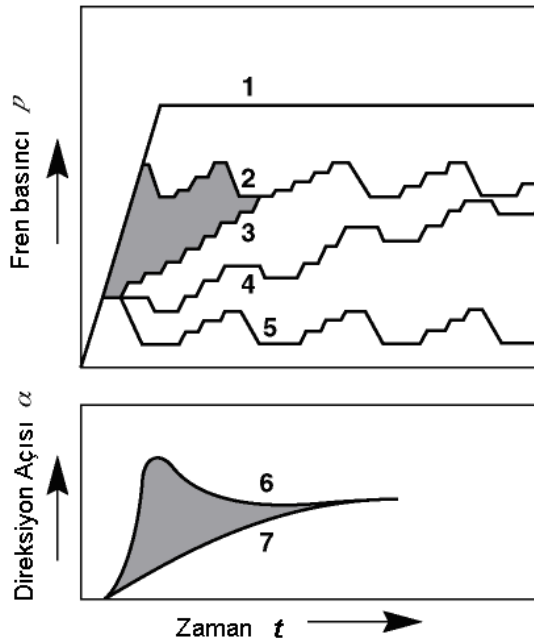
Şekil 3.15. Sürtünme katsayısındaki büyük değişiklik sonucu araçta savrulma [40]
 M_{yaw} Savrulma momenti, F_B Frenleme kuvveti, μ_{HF} Sürtünme katsayısı. 1 "yüksek tutunmalı" tekerlek, 2 "Düşük tutunmalı" tekerlek.

GMA asimetrik yol şartlarında yüksek tutunma katsayısına sahip zemindeki ön tekerleğin basınç artışını geciktirerek bu işlemin gerçekleşmesine yardımcı olmaktadır.

Şekil 3.16 üzerinde GMA'nın çalışması incelenecek olursa;

1. eğri fren merkez silindir basıncını göstermektedir. 2. eğri GMA olmadan tekerleğin asfalt üzerindeki ulaştığı basınç değişim değerleridir. 5. eğri tekerleğin buz üzerindeki basınç değişimleridir.

3. eğri daha az kritik şartlar altında çalışan araçlardaki GMA 1 sisteminin değişim eğrisidir. 4. eğri ise döndürme momenti etkisi eğilimi daha fazla olan kararsız sürüş şartları altındaki araçlarda kullanılan GMA 2 sisteminin eğrisidir.



Şekil 3.16. Savrulmanın artmasına sebep olan fren basıncı/ direksiyon açısı eğrileri (GMA) [40]

1 Fren merkez silindiri p_{MC} , 2 Frenleme basıncı p_{high} GMA olmadan, 3 p_{high} GMA 1 ile birlikte, 4 p_{high} GMA 2 ile birlikte, 5 p_{low} "Düşük tutunmalı" tekerlek, 6 Direksiyon açısı α GMA olmadan, 7 Direksiyon açısı α GMA ile birlikte.

3.4. Fren Sistemi Tasarımı ve Devre Biçimleri

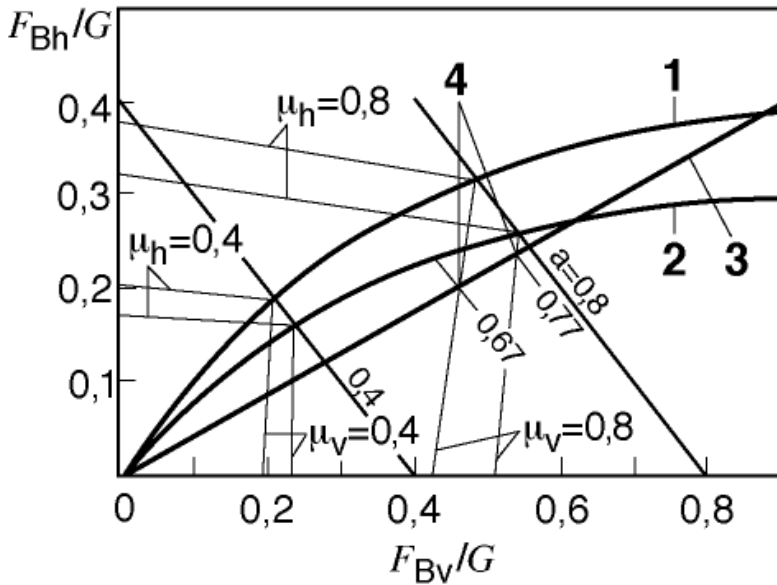
Fren sistemleri hem kendisinin hem de aracın tasarım ve performans gereksinimlerini esas alarak dizayn edilirler.

Araç merkezli tasarımlarda, aracın ağırlık merkezi, ön ve arka akslara frenleme kuvveti dağılım özellikleri, tekerlek ve yol arasındaki her türlü koşul, tekerlekler kilitlenmeden önce uygulanan maksimum frenleme kuvvetinin miktarı gibi faktörler göz önünde bulundurulur.

Akslar arasındaki frenleme kuvvet dağılımı ile ağırlığa göre ön ve arka akslardaki frenleme kuvvet dağılım faktörlerinin ilişkisini göstermek için Şekil 3.17'deki frenleme kuvvet dağılım diyagramı kullanılır. Ön ve arka akslardaki eşit tutunma

katsayısını gösteren düz çizgilerin kesişimi sonucunda ideal frenleme kuvvet dağıtımı olarak tanımlanan parabol oluşur. Sabit frenlemeyi gösteren çizgiler ise diyagramı tamamlar.

Eğer fren sistemi üzerine bir frenleme kuvveti ölçüm veya basınç dağılım sistemi yerleştirilmezse, frenleme kuvvetinin dağılımı 3 numaralı doğruyu oluşturur. Fren sisteminin boyutlarına bağlı olarak değişen ön ve arka akslardaki frenleme kuvvetinin değişim oranı doğruyu farklı şekillerde oluşturur. 3 numaralı doğru ideal dağıtım eğrisinin altında kaldığı süre boyunca ön aks üzerindeki tekerlekler daima ilk önce kilitlenecektir. Ön tekerleklerin kilitlendiği nokta, 3 numaralı doğru ile her bir tutunma katsayısını gösteren satırların kesişim noktası ile bulunur.



Şekil 3.17. Fren kuvveti dağılım diyagramı [40]

1 İdeal frenleme kuvveti dağılımı, 2 Sürücünün gerçekleştirdiği fren kuvvet dağılımı, 3 Yerleştirilmiş sistemin frenleme kuvveti dağılımı, 4 Ön frenler kilitli. F_{Bh} Arka frenleme kuvveti, F_{Bv} Ön frenleme kuvveti, G Taşıt ağırlığı, a Frenleme tutunma katsayısı Arka μ_{HFH} , Ön μ_{HFV} .

Fren sistemlerinde fren kuvvet dağılımı için gerekli tasarım kriterleri şöyle sıralanabilir;

- Kilitlemenin başlangıcından önce ve kilitlenme sırasında gerekli olan en düşük frenleme kuvvetini kontrol eden düzenlemeler,
- Yük ağırlığının dağılımı,
- Etkinlik kaybının etkisi,
- Motor freni,
- Fren devre hatası,
- Frenleme kuvveti ölçüm sistemi (yerleştirilmişse),
- Yavaşlatıcı (yerleştirilmişse).

Sistem merkezli tasarım ise tekerlek frenlerinin boyutları ve kontrol ekipmanlarına göre yapılır. Tekerlek frenleri için tasarım kriterleri ise şöyle sıralanabilir;

- Fren tipi (disk veya kampana),
- Dayanıklılık (aşınma ve sürekli kullanım),
- Yerleştirme için uygun boşluk,
- Kabul edilebilir basınç seviyeleri,
- Katılık (fren hidroliğinin istenilen hacimde sıkıştırılması).

Kontrol ekipmanları için tasarım ölçüleri de;

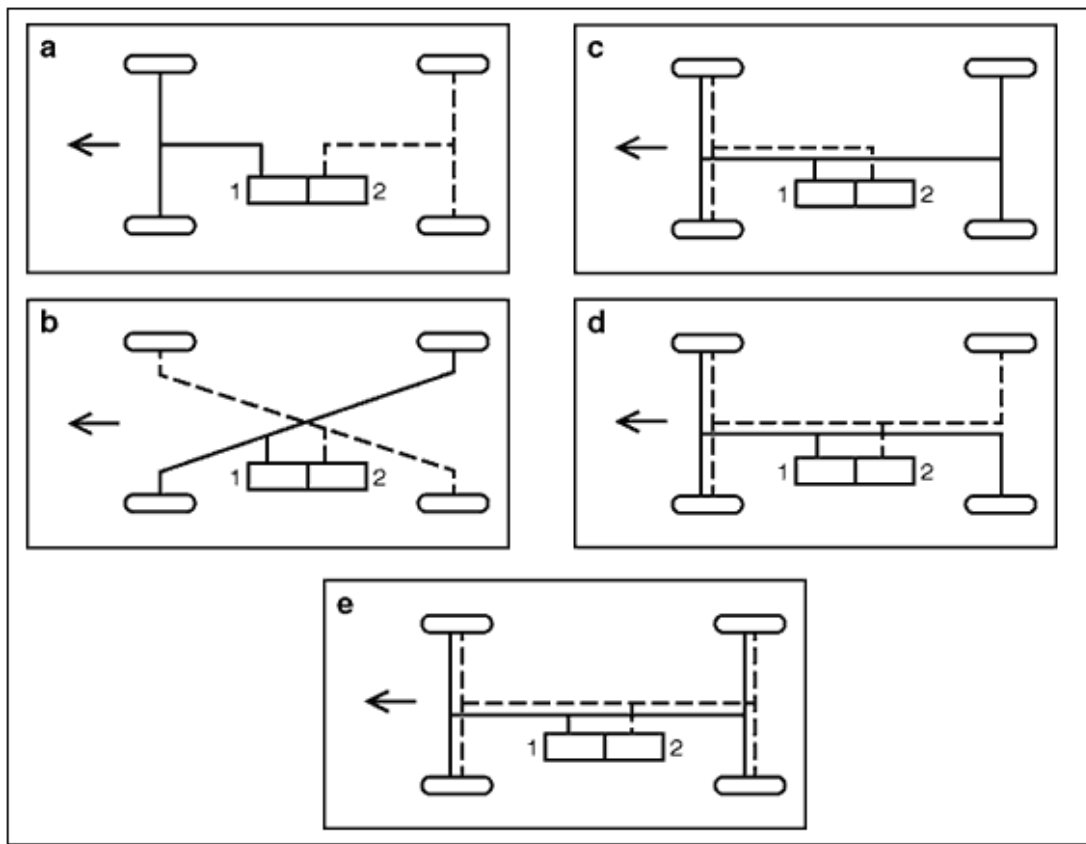
- Normal frenleme, acil frenleme ve fren güç ünitesinin ya da fren devresinin arızalı olması durumunda pedal hareketi ve hareket miktarı,
- Konfor gereksinimleri,
- Uygun yerleştirme boşluğu,
- Fren basınç düzenlemesi için sistemlerin uyumu şeklinde sıralanabilir.

Günümüz araçlarında yasal düzenlemeler fren hidrolik dağıtım şekli bakımından çift devreli basınç aktarım sistemlerini zorunlu olarak şart koşturmaktadır.

Şekil 3.18’de görülen beş mevcut seçenek arasında II ve X versiyonları standart hale gelmiştir (DİN 74000).

Bu sistemlerdeki fren hatları, fren boruları, bağlantılar, statik ve dinamik sızdırmazlık elemanlarının daha düşük komplikasyonları bulunmaktadır.

Bundan dolayı tek devreli fren sistemlerine göre sızıntılardan kaynaklanan hata olasılıkları oldukça düşüktür. Bunun sonucunda fren performansı da çift devre kullanılan araçlarda iyi yönde artarak değişmektedir.



Şekil 3.18. Fren Devre Çeşitleri ← Araç hareket yönü [40]

a) II- dağıtım düzeni, b) X- dağıtım düzeni c) HI- dağıtım düzeni, d) LL- dağıtım düzeni, e) HH- dağıtım düzeni. 1 Fren devresi 1 ; 2 Fren devresi 2

Bir tekerlek üzerindeki her iki fren devresinin bütün fren sistemindeki hataya neden olduğu HI, LL, HH türü dağıtım şekillerinde, bir tekerlek noktasındaki aşırı ısınmanın neden olduğu bir devredeki hata, bütün fren sisteminin hatasına neden olmaktadır. Ağırlık dağılımı ön tarafta olan araçlarda, fren kuvvet dağılımının gereksinimlerini yerine getirebilmek için X dağıtım biçimi kullanılır. II dağıtım

sistemi ise arka yük dağılımı olan araçlarda, yük dağılımı ortada olanlarda ve ağır ticari araçlarda en iyi çözümü sunmaktadır.

II dağıtım şekli

Fren hidrolik dağıtımı ön ve arka akslar olarak 2'ye bölünmüştür. Bir devre ön aksları frenler, bir devre arka aksları frenler.

X dağıtım şekli

Çapraz dağıtım biçimidir. Her devre ön ve buna karşılık çapraz arka tekerleği frenler.

HI dağıtım şekli

Ön aks ve arka aks ile birlikte yine ön aks dağıtım biçimidir. Bir devre ön ve arka aksları frenler, bir devre sadece ön aksı frenler.

LL dağıtım şekli

Ön aksın 2 devre tarafından arka akslarında yine ön aks ile birlikte farklı fren dağıtım biçimidir. Her devre ön aksı ve bir arka tekerleği frenler.

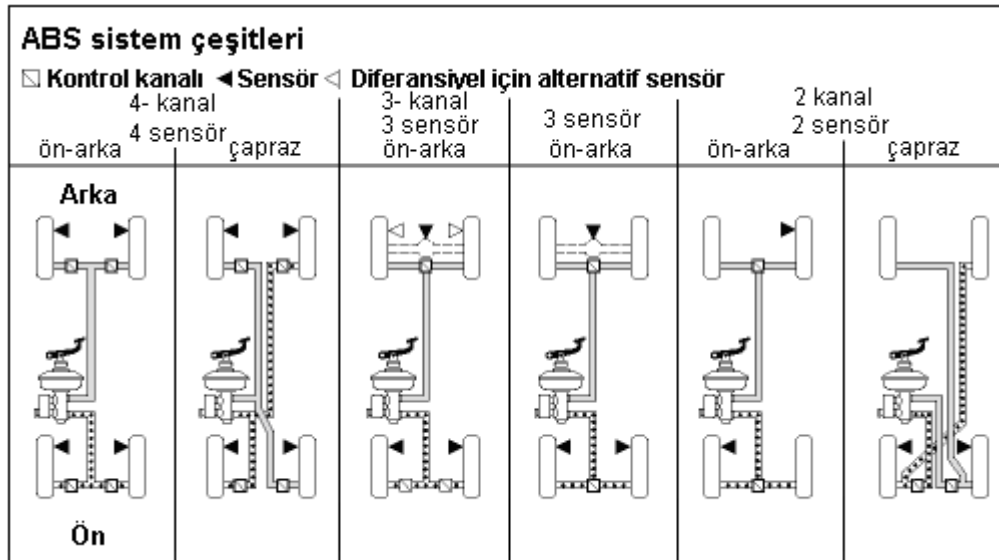
HH dağıtım şekli

Ön aks ve arka aks / ön aks ve arka aks dağıtım biçimidir. Her devre ön ve arka aksı frenleyecek şekilde düzenlenmektedir [40].

4. ABS ÇEŞİTLERİ VE KONTROL FARKLILIKLARI

4.1. Kanal Sayılarına Göre ABS Çeşitleri

Fren kuvvet dağıtım farklılıklarına, araç sürüş çeşitlerine, fonksiyonel şartlara ve maliyet faktörüne bağlı olarak günümüz araçlarında birçok ABS versiyonu kullanılmaktadır. Kanal sayısı ve sensörlerine göre 6 sistem çeşidi yaygın kullanıma sahip sistemlerdir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. ABS sistem çeşitleri

4.1.1. Dört (4) kanallı sistem (versiyon 1, 2)

Bu sistemler her tekerleğin tekerlek fren basıncının her birinin ayrı ayrı kontrolüne izin verir (Arka aks /ön aks (II) ve çapraz (X) fren dağıtım çeşitleri için). Bölünmüş yolda yani farklı tutunma katsayılarına sahip yol yüzeylerinde döndürme momentinin sürüş kararlılığını etkilememesini sağlamak için önlem alınmalıdır. Bu noktada çözüm ön aks üzerindeki tekerlekleri bireysel olarak kontrol etmek ve arka akslar üzerindeki tekerlekleri de düşük duyarlı kontrol tekniğine göre kontrol etmek gerekmektedir. (En düşük tutunma katsayısına sahip arka tekerlek her iki arka tekerleğe uygulanan fren basıncını belirlemektedir.)

4.1.2. Üç (3) kanallı sistem (versiyon 3)

Bölünmüş yolda yani farklı tutunma katsayılarına sahip yol yüzeylerinde frenleme yapıldığı zaman döndürme momenti azaltılır. Uzun dingil aralıklarına sahip yolcu araçları ve yatay ekseninde üzerinde yüksek tork oluşan araçlar bu frenleme durumunu rahatlıkla kontrol edebilmektedir.

Ancak 3 ve 4 kanallı sistemlerin kullanıldığı durumlarda kısa dingil aralıklarına sahip yolcu araçları ve düşük moment oluşan araçlarda, döndürme momenti artışının elektronik bir sistem ile geciktirilmesine ihtiyaç duyulur. Bölünmüş yolda yani farklı tutunma katsayılarına sahip yol yüzeylerinde frenleme yapıldığı zaman yüksek tutunma katsayılı zemindeki ön tekerlekte frenleme torku artışında gecikme olur. Sonuç olarak sürücü düzgün direksiyon manevrası ayarlamaları yaparak döndürme momentini düzeltecek zamana sahip olur.

4.1.3. İki (2) kanallı sistemler (versiyon 4,5,6)

2 kanallı sistemler bir taraftan 3 ve 4 kanallı versiyonlara kıyasla daha az parçaya sahiptir. Buda onların daha az maliyetle üretilmesini sağlar. Diğer taraftan bu durum sistemde birçok fonksiyonların eksikliğini ortaya çıkarmaktadır.

Yüksek duyarlı kontrole (yüksek tutunma katsayılı ön tekerlek her iki ön tekerleğe beraber uygulanan fren basıncını belirler) sahip varyant 4'te sürücü her zaman frenlere sert basar yani panik frenleme yapar. Bundan dolayı ön tekerleklerden bir tanesi kilitlenir. Sonuç olarak yüksek seviyede tekerlek aşınması ve direksiyon manevra kabiliyetinde azalma meydana gelmektedir.

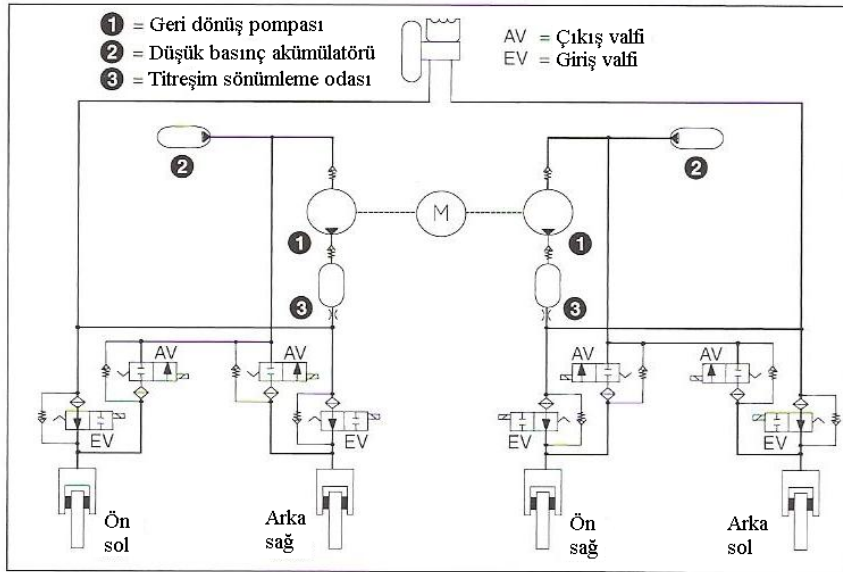
Versiyon 5'de hassas olmayan tekerleğe (non-sensed) kıyasla hassas (sensed) ön tekerleğin, yüksek tutunma katsayısı ile aniden karşılaştığı durumlarda bu olay her zaman olmaktadır.

Versiyon 6 sadece çapraz fren kuvvet dağıtım sistemi ile kullanılır. Bu versiyonda ön tekerleklerdeki fren basınçları tek tek kontrol edilir, arka tekerleklerdeki fren basıncı birlikte kontrol edilir. Frenleme kuvvetinin ön ve arka akslardaki dağılımı esnasında arka tekerleklerin kilitlenmemesinin sorumluluğunu üstlendiği için bu sistemde 3 veya 4 kanallı sistemlere kıyasla daha düşük yavaşlama ivmesi meydana gelmektedir.

Ön / arka bölünmüş fren devresine sahip bazı hafif kamyonet modelleri için arka tekerleklerin kilitlenmesini önleyen bir kontrol kanalı ve arka diferansiyel üzerinde bir sensör içeren basit bir sistem vardır. Yüksek frenleme basıncı ile ön tekerleklerin kilitlenmesi sonucu ön tekerleklerde manevra kabiliyetinin kaybolma durumu ortaya çıkar. Bu sistem ABS fonksiyonlarından birisi değildir. Sadece bazı araçlarda kullanılan ek bir donanım sayesinde bu fonksiyon gerçekleştirilmektedir.

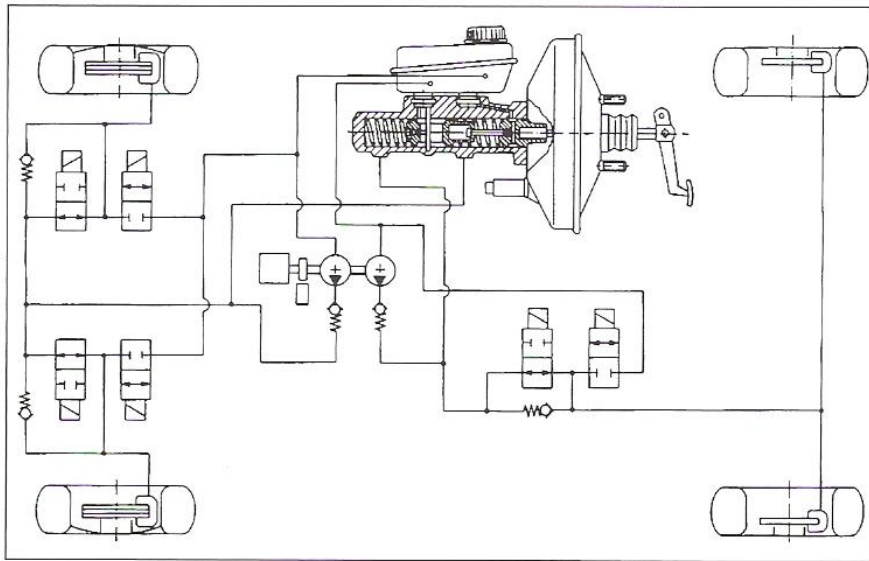
4.2. ABS Kontrol Sistemlerinin Tasarımı

Kayma kontrol sistemleri günümüz araçlarında çok yüksek seviyede kullanım elemanı olmuştur. ABS'nin 1978 de ilk ortaya çıkmasından bu güne kadar, araç güvenlik sistemlerinde bununla birlikte çekiş kontrol sistemleri (TCS) ve savrulma kontrol sistemleri (ESP) gibi sistemler de ortaya çıkmıştır. Kontrol mimarilerinin birbirleri ile uyumlu olmasından dolayı maliyetleri uygun hale gelmiş ve kullanımları yaygınlaşmıştır. Bu sistemlerin mimarileri birbirlerine çok benzer bir yapı göstermektedir. Sonuç olarak kapalı sistem mimarisi ve standart donanımlar ile bu sistemler ortaya çıkmıştır. Kapalı sistem olarak tanımlanmasının sebebi ise fren pedalına basılma işlemi ile başlayan fren akışkanının kontrol işleminin, tamamen kapalı bir hacimde kontrol edilmesidir. Kayma kontrolü esnasında fren pedalına karşı fren akışkanı geri pompalanmakta ve bunun sonucunda da fren pedalında titreşimler hissedilmektedir. Şekil 4.2'de kapalı bir sistemin hidrolik devresi ve parçaları görülmektedir.



Şekil 4.2. Kapalı kontrol sistemi [42]

Açık sistemlerde kapalı sistemlere ek olarak birtakım sensörler yerleştirilmiştir. Bunların görevi ise sistemdeki fren akışkanını tekrar akışkan deposuna göndermektir. Bunun tipik örnekleri ise Teves MK2 ve Teves MK4'tür [42]. Şekil 4.3'de Teves MK4 sisteminin hidrolik devre şeması görülmektedir.



Şekil 4.3. Açık kontrol sistemi [42]

Açık kontrol sistemine sahip bir ABS sisteminin parçaları şöyledir;

- Tekerlek basıncını kontrol için giriş ve çıkış valfleri,
- Pompa,
- Elektrik motoru,
- Düşük basınç akümülatörü,
- Titreşim sönümlleme odası,
- Eklenebilir (add-on) kontrol ünitesi,
- Tek yönlü valfler.

ABS kontrol ünitesi tarafından tekerleğin kilitlenme eğiliminin tespit edilerek, kontrol ünitesinin bir solenoid valfi tetiklemesi ve bunun sonucunda tekerlekteki fren basıncının daha fazla artması engellenerek, fren kontrolü sağlanmaktadır.

Frenleme işlemlerinde tekerlekteki kilitlenme eğilimini azaltmak için tekerlekteki fren basıncı azaltılmalıdır. Bu işlem basınç düşürme valfleri ile yapılmaktadır. Tekrar tekerlek ivmelenene kadar sistem düşük basınç akümülatörüne fren akışkanını göndererek basıncı düşürmektedir. Pompa motoru geçici olarak düşük basınç akümülatöründe depolanan fren akışkanını fren pedalına bağlı merkez silindire pompalar. Klasik ABS fren sistemlerinin bir özelliği olan fren pedal titreşimlerinin meydana gelmesinin sebebi bu durumdur.

Tekerlek tekrar hızlandığı zaman ve yoldaki tutunma en optimum seviyede sağlandığı zaman sistem tekrar sinyallerini düzgün tekrarlamaya başlar. Bu işlem yeni bir fren basınç düşürme döngüsü başlayana ve yeni tekerlek hızında en ideal tutunma görüne kadar devam eder. Klasik ABS sistemleri dahi her iki ön tekerleğin tutunmasını ayrı ayrı optimize edebilmektedir. Arka akslar üzerinde ise genelde düşük hasiyetli kontrol (select-low) prensibine göre kontrol yapılmaktadır.

4.3. ABS'de Uygulanan Kontrol Teknikleri

Tekerleklerin kontrol edilmesi, frenleme esnasında sağ ve sol tekerleklerde meydana gelebilecek kilitlenmeyi önlemek maksadıyla frenleme torklarının kontrol edilmesidir. Yeterli direksiyon kontrolü ve taşıt kararlılığı için değişik kontrol teknikleri önerilmiştir [17,27,28]. Bu amaçla, iki veya dört kanallı ABS sistemleri ve bu sistemlerde uygulanan üç değişik kontrol tekniği kullanılmaktadır. Bu teknikler:

4.3.1. Bağımsız kontrol tekniği

Sağ ve sol tekerleklerin frenleme torklarının bağımsız olarak kontrol edildiği tekniktir. Bu tip ABS sistemleri genellikle 4 kanallıdır. 2 kanallı tipleri ise, genellikle dört tekerlekten çekişli (4WD) araçlarda çapraz kontrol için uygulanmaktadır.

4.3.2. Select-low (düşük duyarlı) kontrol tekniği

Sağ ve sol taraftaki tekerleklerin aynı anda kontrol edilmesidir. Bu kontrol tekniğinde, tekerleklerden alınan sinyallerden ilk kilitlenme eğilimi gösteren tekerleğin durumuna göre her iki tekerleğin de devre basıncı kontrol edilir. Bu durumda tekerleğin birinde optimum frenleme kuvvetinden daha düşük bir frenleme kuvveti meydana gelebilir.

4.3.3. Select-high (yüksek duyarlı) kontrol tekniği

Her iki taraftaki tekerleklerin kilitlenmeden sonra aynı anda kontrolünü esas alır. Böyle bir kontrol tekniğinde, bir taraftaki tekerleğin kilitlenmesi önlenirken diğer taraftaki tekerlek hâlihazırda kilitlenmiş olabilir. Geçici de olsa bu kilitlenme araç kontrolünü olumsuz etkileyecektir.

Yukarıda belirtilen üç teknikten genellikle ilk ikisi kullanılmaktadır. Yani, ya ön tekerlekler bağımsız, arka tekerlekler düşük duyarlı (select-low) tekniğine göre; ya

da ön tekerlekler yüksek duyarlı (select-high), arka tekerlekler ise düşük duyarlı (select-low) tekniğine göre kontrol edilmektedir. Bu kontrol tekniği, özellikle önden çekişli araçlar için tavsiye edilmektedir. Yüksek duyarlı (select-high) kontrol yöntemi dört tekerlek için kullanılmamaktadır. Çünkü tekerleklerden birinin kısa bir süre için kilitlenmesi, o tekerlekteki yanal kuvveti azaltarak direksiyon kontrolü ve taşıt kararlılığını olumsuz yönde etkileyecektir.

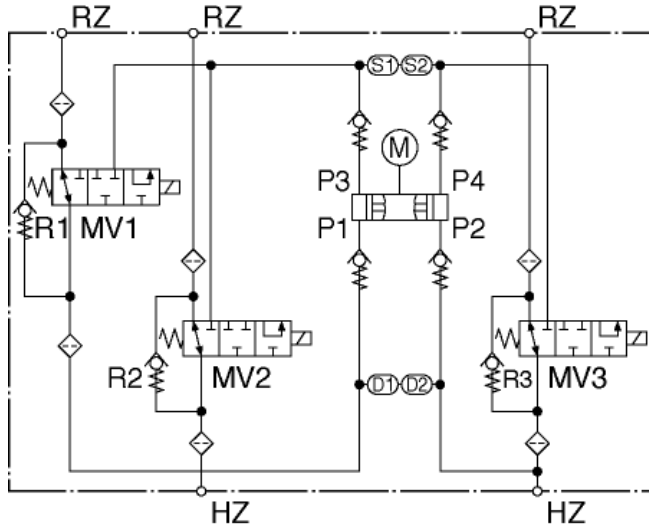
Yüksek duyarlı kontrol tekniğinin kullanıldığı bir taşıtta eğer yol yüzeyi sürtünme katsayısı (μ tutunma katsayısı) diğer tarafa göre daha düşük ise μ 'nün düşük olduğu tarafın geçici olarak kilitlenmesine neden olabilir. Dönüşlerde ise iç tekerlek üzerine gelen yükün azalması dolayısıyla yol yüzeyi homojen sürtünme katsayısına sahip olsa bile bu tekerleklerde kilitlenme görülebilir.

Bu tekniğin uygulanmasında taşıt kararlılığı ve direksiyon kontrolü az da olsa olumsuz yönde etkilenmekte; buna karşılık durma mesafesi, özellikle pürüzlü yollarda daha kısa olmaktadır [17,27].

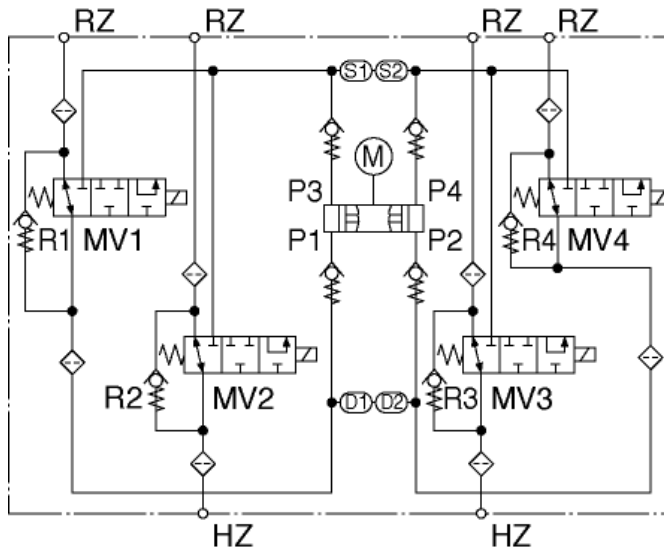
4.4. ABS'de Kullanılan Farklı Kontrol ve Sistem Çeşitleri

4.4.1. ABS 2S / 3 kanal ve 4 kanallı fren sistemi (Bosch)

Bu sistemlerde ABS ünitesi ve fren güç ünitesi (servo) birbirlerinden ayrılmış ünitelerdir. II fren kuvveti dağıtım versiyonu (ön /arka) için 3 kanallı hidrolik modülatör, 3 adet 3 pozisyonlanabilir solenoid valf ile pompa ve elektrik motorundan oluşmaktadır.



Şekil 4.4. Üç (3) kanallı hidrolik modülatörün fonksiyon diyagramı [40]
 D Sönümleyici, HZ Fren ana silindir girişi, M Elektrik motoru,
 MV Solenoid valf, P Pompa, R Kontrol kanalı, RZ Tekerlek fren silindiri
 çıkışı, S Hidrolik akümülatörü.



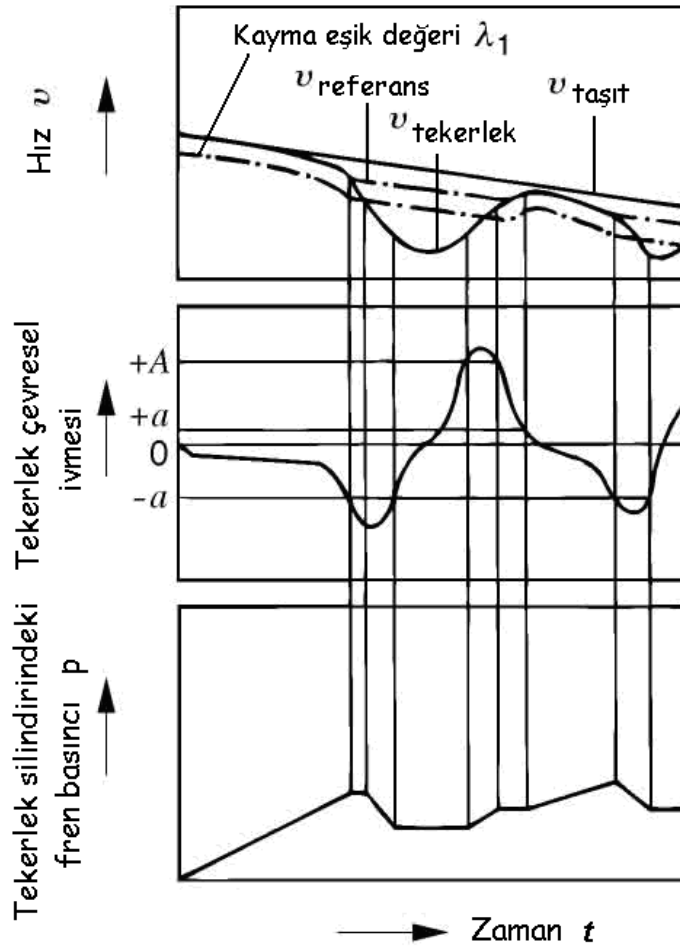
Şekil 4.5. Dört (4) kanallı hidrolik modülatörün Fonksiyon diyagramı [40]
 D Sönümleyici, HZ Fren ana silindir girişi, M Elektrik motoru,
 MV Solenoid valf, P Pompa, R Kontrol kanalı, RZ Tekerlek fren silindiri
 çıkışı, S Hidrolik akümülatörü.

Birinci aşamada solenoid valflere akım verilmemiş pozisyonda ana merkez silindiri ile tekerlek fren silindiri arasındaki kanal açıktır. Bundan dolayı fren başlangıcında

ve ABS' nin otomatik fren kontrolü esnasında tekerleklerdeki fren basıncı yükselmektedir.

İkinci aşamada yarı enerjilendirilmiş solenoid valfler ana merkez silindiri ile tekerlek fren silindiri arasındaki kanalı kapatarak tekerlek fren silindirlerindeki basıncın sabit tutularak artmasını engellerler.

Üçüncü aşamada ise solenoid valfler tam enerjilendirilerek, tekerleklerdeki fren silindirleri geri dönüş hattına bağlanır ve tekerlek fren basınçları düşer.



Şekil 4.6. Yüksek tutunma şartlarında ABS kontrol çevrimi [40]

Frenleme esnasında basınç dağıtımı sadece 20 ms sürmektedir. Bundan dolayı basıncın yükselmesi esnasında tekerlekler kilitlenmez. Diğer taraftan basınç dağıtma işlemi birçok basınç sabit tutma aşamalarından meydana geldiği için toplamda frenleme esnasında bu süreç yaklaşık 200 ms civarında sürmektedir.

Frenlemede diyagonal kontrol gerçekleştirmek ve arka tekerleklerde daha etkili olmak için 4 kanallı hidrolik modülatörlerde 4 adet ayrı solenoid valf kullanılmıştır. Buna rağmen arka tekerleklerin solenoid valfleri birlikte enerjilendirilerek her bir arka tekerlekte aynı basınç artışı sağlanmaktadır. Düşük duyarlı (select-low) kontrolün bu sistemde uygulanması kolay olmaktadır.

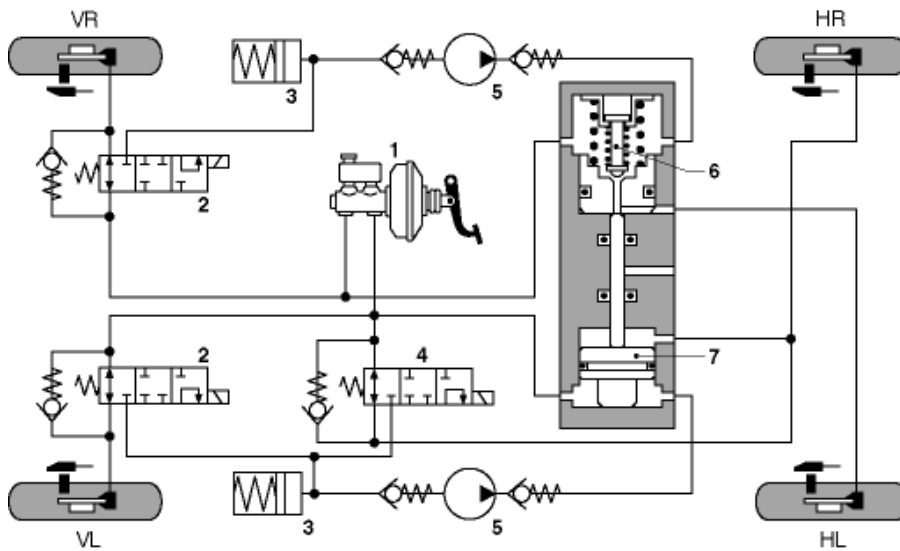
Şekil 4.6'da yüksek tutunma şartlarındaki ABS kontrol çevrimi görülmektedir. Tekerlek hızındaki değişime göre yavaşlama ivmesi ABS kontrol ünitesi tarafından hesaplanmaktadır. Bu değer (-a) önceden belirlenen eşik değer altına düştükten sonra hidrolik modülatördeki solenoid valf basıncı sabit tutma pozisyonuna geçmektedir. Eğer bu değer kaymanın eşik değerinin (λ_1) altına düşerse o zaman modülatördeki solenoid valf açılarak basınç düşürülür. Bu işlem (-a) değerine kadar devam etmektedir. Basıncın sabit tutulması aşamasını müteakip tekerlek çevresel ivmesi eşik değer olan (+a) değerine kadar artar ve bu değeri geçer. Bunun üzerine frenleme basıncı sürekli sabit tutulur. Daha sonra (+A) eşik değeri aşıldığı zaman frenleme basıncı artarak, tekerlek çevresel ivmesi çok fazla artmadan tekerlek hareketi tutunma-kayma eğrisindeki kararlı bölgeye çekilir. İvme değeri (+a) değerinin dışına çıktığı zaman fren basıncı yavaş yavaş yükselir. Tekerlek ivmesi tekrar (-a) eşik değerinin altına düştüğü zaman fren basıncının aniden düşmesi ile ikinci kontrol döngüsü başlar.

Tekerlek torkunun yüksek olduğu durumlarda, düşük tutunma katsayısına sahip zeminlerde (buzlu şartlar gibi) fren basıncının yükselmeye başlaması ile yavaşlama ivmesi eşik değere yaklaşmadan tekerlek kilitlenebilir. Bu tür durumlarda kayma değişim hızı ABS otomatik fren kontrolünde kullanılır.

4.4.2. ABS 2E fren sistemi (Bosch)

Bu sistem ABS2S modeli ile aynı güvenlik ve fonksiyon özelliklerine sahiptir. ABS2E modelinde fren pedal hissi ve gürültü kendini daha fazla göstermektedir.

ABS'nin aktif olmadığı normal frenleme şartlarında fren akışkanı arka aks solenoid valfi (4) boyunca sağ arka tekerleğe gider. Bu esnada merkez valf iticisi (6) sol arka tekerleği frenleme açısından destekler.



Şekil 4.7. ABS2E Hidrolik sistemi (X fren kuvvet dağıtımı için) [40]

1 Fren servosu , 2 Solenoid valfler , 3 Toplayıcı (Akümülatör) odası,
4 Arka aks solenoid valfi, 5 2-devreli geri dönüş pompası, 6 Merkez valfi ,
7 İtici piston. V Ön, H Arka, R Sağ, L Sol.

ABS aktif olduğu zaman ise soldaki her 2 solenoid valf (2) ön frenleri kontrol ederken, arka aks solenoid valfide (4) arka sağ tekerleği kontrol etmektedir (HR). Arka aks solenoid valfi (4) kontrol ünitesinden basınç düşürme sinyali alarak 3 pozisyonunda ayarlanabilmektedir. Bu süreçte fren akışkanı sağ arka (HR) tekerlektten valf (4) aracılığı ile akümülatör odasına (3) gönderilmektedir. Böylelikle tekerlek fren silindirindeki basınç azalmaktadır. İtici pistonun (7) üst tarafı tekerlek silindirine (HR) hidrolik bir bağlantı ile bağlı olduğundan bu basınç düşüşü ayrıca itici pistonun (7) üstüne de uygulanır. İtici piston (7) merkez silindirinden (1) gelen basınca maruz

kalarak, piston (7) üzerindeki güç itici pistonunun yukarı doğru hareket etmesine neden olur. İtici piston yukarı doğru hareketi sonucunda merkez silindirin valf pimine temas ederek, merkez silindirin valfini (6) kapatır ve arka frenden (HL) gelen geri dönüş hareketi devam ederek oradaki hacmi doldurur. Aynı zamanda sağ ve sol frendeki (LR) ve üst iticinin alt tarafındaki basınç düşer. İtici piston üzerindeki kuvvet değeri sıfıra düştüğü zaman iticinin hareketi durağan olmaktadır. Bu durum sadece (HL) ve (HR) deki basınçlar birbirine eşit olduğu zaman geçerlidir. Basıncın sabit tutulması ve basıncın yükseltilmesi işlemleri, basınç düşürme işlemine benzer ve solenoid valfin (4) farklı pozisyonları ile kontrol edilir.

4.4.3. ABS 5 fren sistemi (Bosch)

Hidrolik 2 pozisyonlu solenoid valflerdeki gelişimin sonucunda ABS2S modelinin fonksiyonlarına bağlı kalmak şartı ile ABS sisteminde köklü değişimlere gitmek mümkün olmuştur. ABS5 modeli ABS2S modelinde kullanılan, denenmiş ve faydaları kanıtlanmış prensipleri temel alarak çalışır. ABS5 modeli her bir fren devresi için aşağıdaki parçaları içermektedir. (X ve II fren kuvvet dağıtım şekli ile)

- Geri dönüş pompası
- Akümülatör
- Titreşim sönümleme odası
- Hidrolik 2 pozisyonlu ve 2 bağlantılı 2/2 solenoid valf

Her tekerlek için bir solenoid çifti bulunmaktadır. Bir solenoid valf (EV-enerjilendirilmediği zaman açık) basınç artışı için (giriş) ve bir solenoid valf (AV -enerjilendirilmediği zaman kapalı) basınç düşüşü (çıkış) içindir.

Fren pedalına basıldığı zaman fren sistemindeki basınç artışının hızlı bir şekilde sağlanması için giriş valflerinin üzerinde bir çek valf bulunmaktadır.

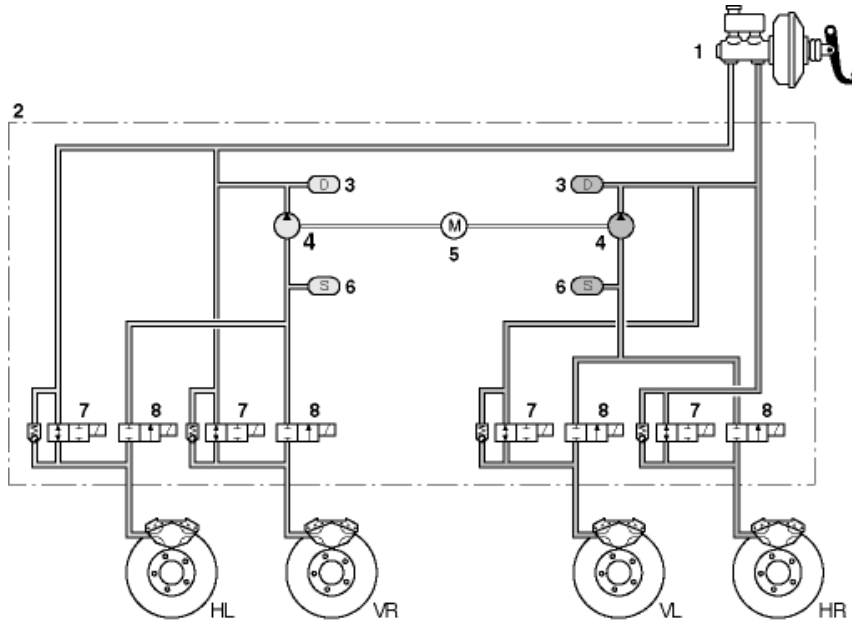
Basınç artışı ve düşüşü her bir tekerlekte sadece bir pozisyonda enerjilendirilen 1 solenoid valfe sağlanır. Bu solenoid valfler 2 hidrolik bağlantılı, daha küçük hacimli, daha hafif ve daha az manyetik çekme kuvvetine ihtiyacı olan valflerdir.

Bu valflerde tetikleme için sadece bir transistör kullanılır bundan dolayı da kontrol ünitesindeki ve valf contalarındaki elektriksel kayıplar azaltılmış olur. 2/2 solenoid valflerin valf bloğuna montaj edilmesi sonucunda daha küçük ve daha hafif hidrolik modülatörler üretilerek kontrol ünitesinin direk olarak modülatöre monte edilmesi sağlanmıştır.

Bunun avantajı ise araç bağlantı kablolarının daha az olmasıdır. Bu bütünleşik tasarımdan dolayı 2/2 solenoid valfler daha kısa elektriksel tetikleme süresine sahiptir. Tekerleğin tutunma katsayısındaki değişimlere daha çabuk uyum sağlamak amacı ile fonksiyonları geniş sinyal aralıkları ile artırılmıştır. Bu yöntemle frenleme döngülerine daha rahat kontrol etme imkânı sağlanmıştır. Valf gürültüsündeki düşük seviyeler ve basınç aşamalarındaki daha kısa dalgalanmalar en büyük faydalarındandır.

Mekanik valflerin tasarımındaki ve daha geniş sinyal aralıklı kontrollerin (mekatronik optimizasyon) koordinasyonlu gelişimi sayesinde pedal hissinde ve sessiz çalışmada yeni bir mihenk taşı olabilecek sessiz solenoid valfli bir ABS sistemi üretmek mümkündür.

Solenoid valflerdeki hidrolik sınırlayıcıların ve akümülatör hacmindeki değişikliklerin sonucunda farklı elektrik motor çeşitleri ortaya çıkmıştır. Bunun sonucunda ABS sistemlerinin yeni bir versiyonu olan ABS5 ailesinin kurulumu bütün yolcu araçları için uygun hale gelmiştir.



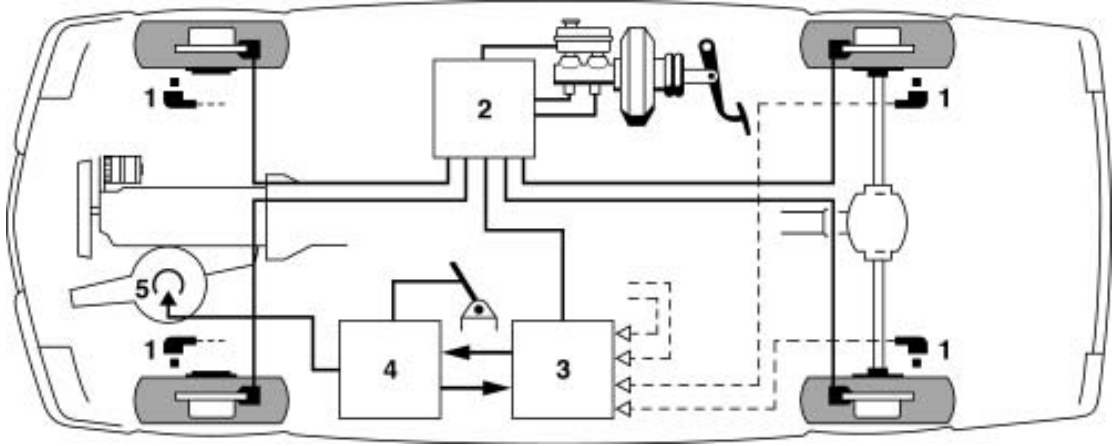
Şekil 4.8. ABS5 Hidrolik sistemi (X fren kuvvet dağıtımı için) [40]

- 1 Fren merkez silindiri, 2 Hidrolik modülatör, 3 Titreşim sönümleme odası,
 4 Geri dönüş pompası, 5 Elektrik motoru, 6 Toplayıcı (Akümülatör),
 7 Giriş valfi, 8 Çıkış valfi, V Ön, H Arka, R Sağ, L Sol.

4.4.4. Çekiş kontrol sistemi (TCS) ve elektronik stabilite programı (ESP) ile birlikte ABS sistemleri (Bosch)

ESP tarafından sağlanan fren sistemindeki fren kuvvetinin yeterince hızlı bir şekilde artması ESP sisteminin araç sürüş dinamiğinin düzgün bir şekilde kontrol etmesi için gerekli bir durumdur.

Düşük sıcaklık ve düşük tutunma katsayısı olan zemin şartları ESP'nin sıklıkla kullanıldığı şartlardır. Düşük sıcaklıkta fren akışkan viskozitesi kayda değer bir şekilde artış gösterir. Bu durum ABS/TCS5 sisteminde böyle olmadığı için bu sisteminde tekrar gözden geçirilmesi gereği ortaya çıkmıştır.



Şekil 4.9. ABS/TCS sistem elemanları [40]

1 Hız sensörü, 2 ABS/TCS hidrolik modülatörü, 3 ABS/TCS kontrol ünitesi, 4 ETC kontrol ünitesi, 5 Benzin motorları için gaz kelebeği veya dizel motorlar için yakıt enjeksiyon pompası kontrol kumandası

Soğuk hava şartları altında ESP'ye ihtiyaç duyulduğunda geri dönüş pompasının dağıtım kapasitesine yardımcı olmak amacı ile ön doldurma pompası (VLP) devreye girer. Bunların birbirlerinden ayrı ve kapalı 2 fren devresi olmalarının sebebi ise birbirlerine direk hidrolik bağlantılarının olmamasıdır.

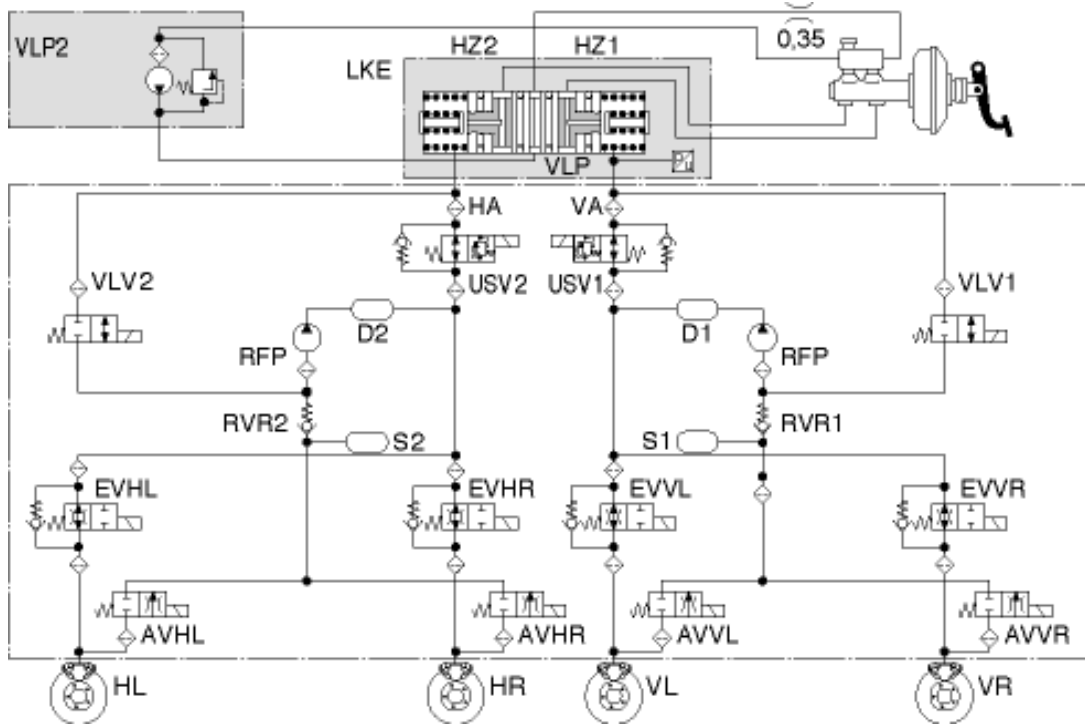
Bunun yerine merkez silindiri ile ABS/TCS5 hidrolik modülatörü arasına bağlı olan doldurma itici ünitesine (LKE) ye basınç uygulanır. Fren basıncına ihtiyaç duyulduğu zaman ön doldurma pompası (VLP) açılır ve fren akışkanını doldurma itici ünitesine (LKE) gönderir. Böylelikle üniteye 2 itici birbirinden ayrı hareket eder.

Bu işlem mekanik olarak LKE'nin merkezi valflerini kapatır. 2 LKE silindirindeki fren akışkan hacmi açık ön doldurma valfinden (VLV) ABS/TCS hidrolik modülatörünün geri dönüş pompasına doğru itilir.

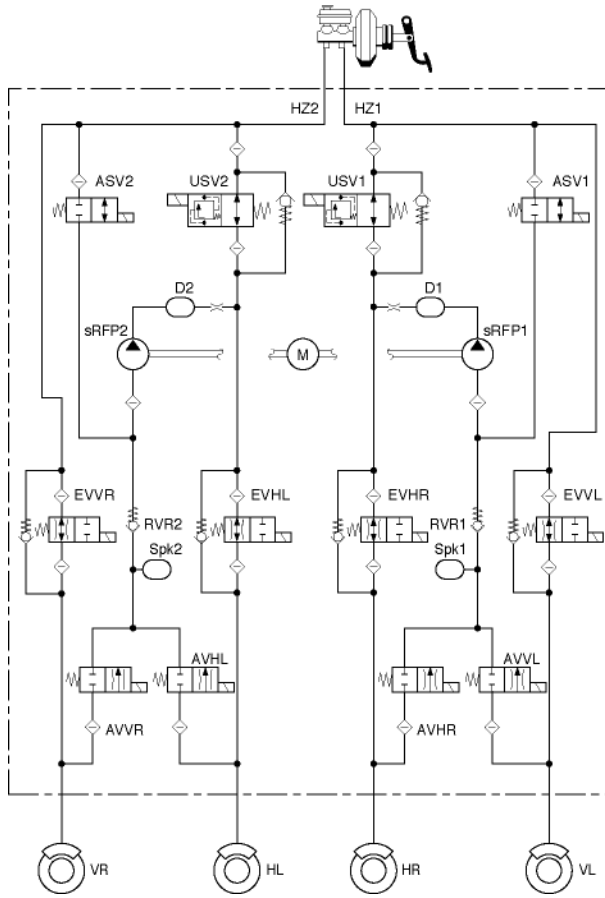
Düşük sıcaklıklarda bile geri dönüş pompasının ön doldurması sayesinde ani fren basınç artışı tekerleklerde sağlanır. Ön doldurma ünitesindeki fren akışkanının akabilmesi için küçük bir ayrı hat LKE ve depo arasına bağlanır. Daha sonra LKE

iticileri ön doldurma pompası kapandığı zaman başlangıç pozisyonlarına geri dönerler.

Hidroliğin farklı kısımlardan çapraz akışının kolay sağlanabilmesi amacı ile ABS/TCS5 giriş valfleri ve merkez silindirin daha fazla optimizasyonu yapılabilir. Bu sayede, düşük sıcaklıklarda ön doldurma pompasına gerek duymadan yeterli basınç üretimine imkân veren ESP hidrolik modülatör ünitesi üretilmesi mümkündür. Böylelikle sistem elemanlarının sayısı azaltılabilecektir.



Şekil 4.10. ABS ve ESP için Hidrolik sistem ABS TCS 5 sistemi [40]
 VLP Ön doldurma pompası, VLV Ön doldurma valfi, RFP Geri dönüş pompası, RVR tek yönlü valf, LKE Doldurma itici ünitesi, USV pozisyonlama valfi, D sönümleyici, AV Çıkış valfi, EV Giriş valfi, HZ Fren merkez silindiri, S Toplayıcı (Akümülatör), VA Ön aks, HA Arka aks, V Ön, H Arka, R Sağ, L Sol.



Şekil 4.11. ABS/TCS 5 sistemi için X fren dağıtım sistemi devresi [40]
 HZ1, 2 Ana merkez hatları, ASV1, 2 Vakum valfleri, USV1, 2 Devre kontrol valfleri, sRFP1, 2 Kendinden emişli geri dönüş pompası, D1, D2 Titreşim sönümlerme odası, Spk1, 2 Akümülatör odası, RVR1, 2 Vakum güvenlik valfi, EV (HR, HL, VR, VL) Basınçlandırma valfi, AV (HR, HL, VR, VL) Basınç kontrol valfi. HR, HL, VR, VL Tekerlek frenleri (* HR Arka sağ, HL Arka sol, VR Ön sağ, VL Ön sol)

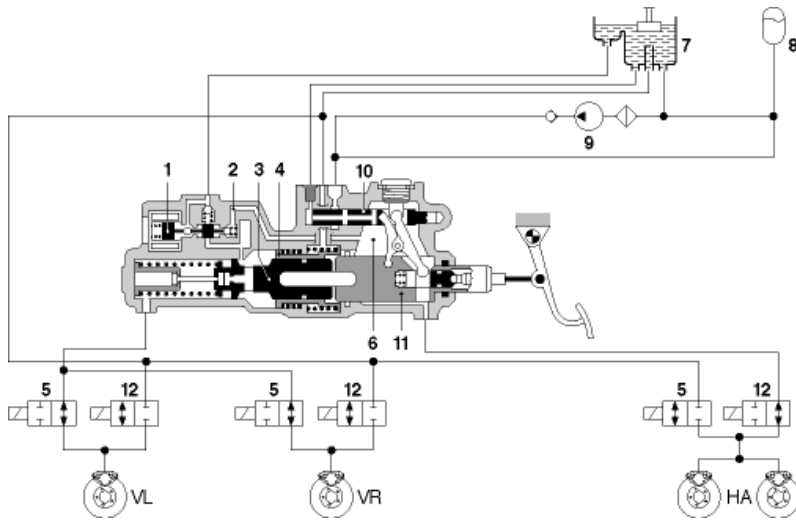
4.4.5. MK2 fren sistemi (Teves)

Hidrolik parçalar bu sistemde sıkıştırılmış entegre bir üniteyi oluşturur. Bunlar güç ünitesi (servo) ve ABS sistemlerinden meydana gelmektedir. Normal frenleme şartlarında merkez silindiri pistonu sola doğru itilirken ve ön tekerlekler fren akışkanını gönderirken güç ünitesi itici pistonu fren akışkanını direk olarak arka tekerlekler gönderir (Şekil 4.12).

ABS aktif olduğu zaman merkez valfi güç ünitesi odasını merkez silindirin birinci kısmına bağlayarak açılır ve bu arada da depo ile birinci kısmın arasındaki bağlantıyı keser. Fren akışkanı merkez silindir pistonu ve bağlantı hatları üzerinden güç ünitesi odasından ön fren sistemine gönderilir. ABS'nin kontrolündeki frenleme esnasında, güç ünitesi basıncı pozisyonlama bileziğine uygulanarak, merkez silindiri ve güç ünitesi pistonu orta pozisyonda tutulur. Bu durum ABS'nin etkinliğini kaybetmesi durumunda ön tekerleklerde fren etkinliği için yeterli piston hareketini yapmayı sağlar.

Besleme ve boşaltma valfleri ABS'nin etkin olduğu frenleme esnasında tekerlek silindirlerindeki basıncın en uygun seviyede düzenlenmesini sağlar. Bu tekerlek silindirlerinden, depoya fren akışkanının geri gönderilmesi ile sağlanır.

Ön frenler müstakil olarak kontrol edilir. Arka frenlerde birlikte kontrol edilir ancak tutunma katsayısı daha düşük olan tekerlekler buradaki basıncın seviyesini belirler. (Düşük hassasiyetli / select-low)



Şekil 4.12. ABS MK (Teves) şematik diyagramı [40]

Fren çalışmıyor 1 Merkez valfi, 2 Bağlantı hattı, 3 Ana silindir piston, 4 pozisyon kolu, 5 Çıkış valfi, 6 Güç odası, 7 Akışkan deposu, 8 Basıncı akümülatörü, 9 Pompa, 10 Fren valfi, 11 Güç pistonu, 12 Giriş valfi
VL/VR Ön aks sol/sağ, HA Arka aks.

4.4.6. MK4 fren sistemi ile çekiş kontrol sistemi (TCS)

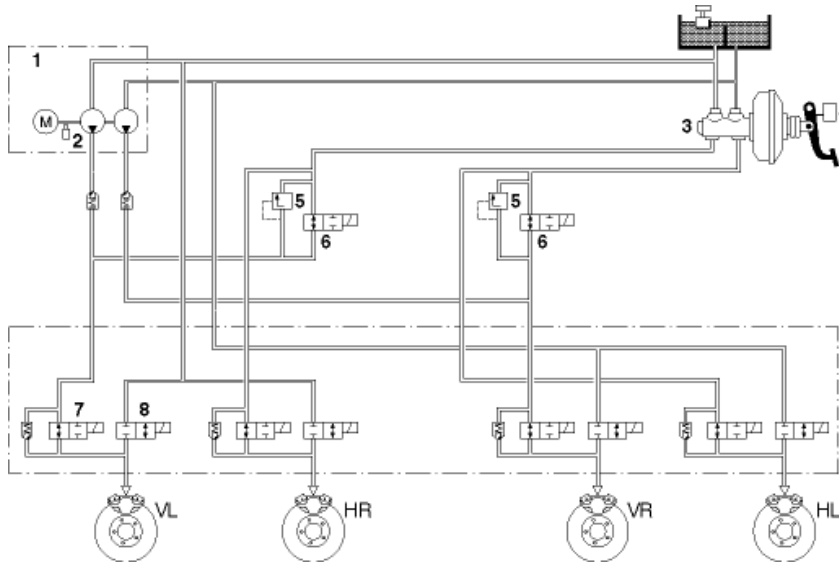
Bu sistemde normal güç ünitesi (servo) ve ayrı bir ABS sistemi kullanılmıştır. ABS nin etkin olduğu fren kontrolünde tekerleklerden birisinin fren basıncının düşürülmesi gerektiği zaman boşaltma valfi açılarak, besleme valfi kapanır.

Bu esnada fren akışkanının fren sisteminden depoya geri gitmesine izin verilir. Basıncı yükseltmek için besleme valfi açıldığı zaman, fren akışkanı merkez silindiri odasından pedal sayesinde sisteme gider. Fren pedalının tekrarlanan fren döngüleri sonucunda çok aşağıya düşmemesi için hidrolik üniteye tekrar enerji sağlaması gerekir.

ABS hidrolik sistemine enerji sağlama ünitesi elektrikle çalıştırılan çift etkili pistonlu pompayı görevlendirir. Bu pompa kontrol sisteminin tekerlekteki kilitlenme başlangıcını algıladığı zaman tetiklenir. Pompa fren akışkanını depodan besleme valfi girişine doğru pompalar, böylece fren basıncı yükselir.

Pompadan merkez silindiri odasına doğru aşırı akış olması durumunda merkez silindir pistonu ve fren pedalında geri itme oluşur. Pozisyon sensörü tetiklenip aralıklı akış sağlamak için pompayı kapatır. Ve bu durum pedalda yeterli his ve harekete izin verir.

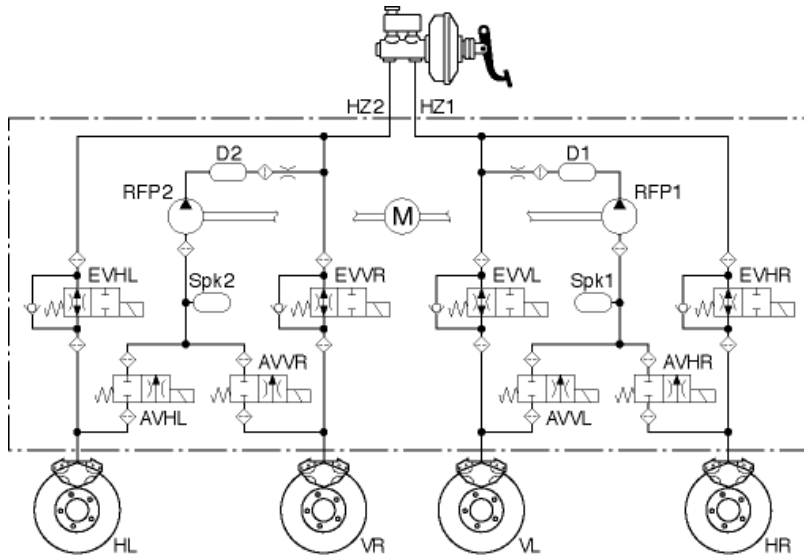
Hidrolik modülatör TCS için genişletilebilir. TCS sistemindeki basıncı düzenlemek için 2 adet basınç düşürme valfi ve 2 adet TCS solenoid valfi eklenerek çekiş kontrol sistemi sağlanır. Bu TCS sistemi ise merkez silindirinden bu solenoid valfler ile ayrılmıştır. Devir sensörü pompa motorunun işlemlerini izlemek için bir güvenlik ekipmanıdır.



Şekil 4.13. ABS/TCS MK 4 (Teves) şematik diyagramı [40]

1 Enerji kaynağı, 2 Tekerlek hız sensörü, 3 Merkez silindir pistonu, 4 Pozisyon sensörü, 5 basınç düşürme valfi, 6 ASR solenoid valfi, 7 Giriş valfi, 8 Çıkış valfi. V Ön, H Arka, R Sağ, L Sol

4.4.7. MK20 fren sistemi (Teves)



Şekil 4.14. ABS MK 20 (Teves) şematik diyagramı [40]

HZ 1,2 Merkez silindiri, D 1,2 Titreşim odası, RFP 1,2 Geri dönüş pompası, Spk 1,2 Depo oda, EV HL,... giriş valfi, HL,... , AV HL,... Çıkış valfi, HL,..., HL Arka sol, HR arka sağ, VL ön sol, VR ön sağ.

MK4 sisteminin tersine MK 20 sistemi kapalı fren devrelerini kullanan geri dönüş prensiplerine göre çalışır. Basınç modülü her bir tekerlek için 2/2 solenoid valf çifti tarafından gerçekleştirilir. Sistem TCS/ESP ye 2 geçiş valfi ve 2 giriş valfi eklenerek yükseltilir. Hidrolik parçaları Bosch ABS5 tarafından kullanılan elemanlara karşılık gelmektedir.

4.4.8. Pompasız ABS sistemi (Denso)

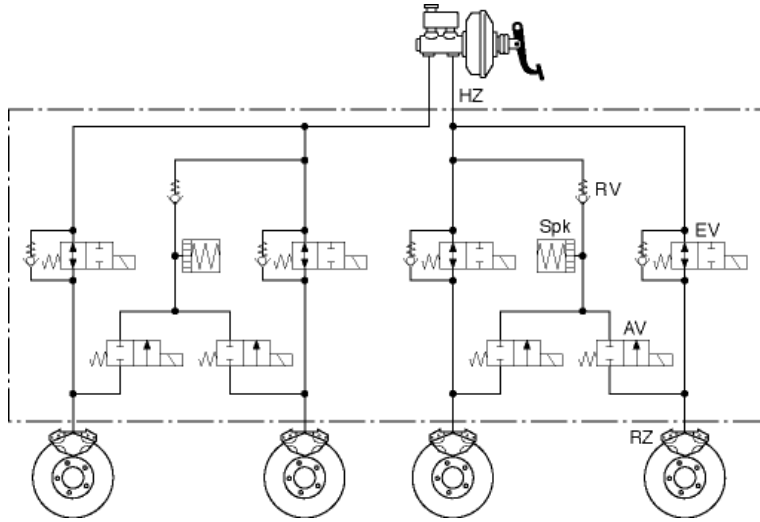
Elektrik motoru, kontrol sistemleri ile beraber titreşim sönümleme odası ve geri dönüş pompası olmaksızın geliştirilen basitleştirilmiş bir ABS sistemidir. Frenleme şartları altında bir tekerleğin kilitlenme eğilimini tekerlek hız sensörlerinden kontrol ünitesi algılasa bu durumda giriş valfleri kapanarak tekerlek silindirlerindeki basıncın daha fazla artmasını önlemek amacı ile kontrol ünitesi sisteme müdahale eder. Eğer tekerleklerdeki kilitlenme eğilimi engellenemezse basınç düşürme valfi açılarak tekerleklerdeki kayma ortadan kalkana kadar bu valf çalışır. Tekerlek silindirinden geri gelen fren akışkanı depoya geri döner. Eğer tekerlek hızı tekrar kararlı hale gelirse giriş valfi tekrar açılır. Sürücü frenlemeyi ortadan kaldırırsa kadar veya araç kararlı sürüş haline gelene kadar bu süreç kendi içinde tekrar eder.

Fren pedalına sürücü tarafından basıldığı zaman depoda toplanan fren akışkanı tekyönlü valflerden merkez silindirine doğru gider. Daha sonra bu sistem ABS frenlemesi için tekrar hazır hale gelmiş olur.

Klasik sistemlerle bu daha az sayıdaki parçalara sahip sistemler karşılaştırıldığı zaman ciddi miktarda maliyet azalması vardır. Ama sistem ciddi miktarda fonksiyon eksikliklerine sahiptir.

ABS sisteminin frenleme işlemi genişletilmiş periyotlar şeklinde incelendiğinde bu sistemde fren pedalı hareket miktarı beklenmedik bir şekilde artarken depolar kapasitelerine ulaşabilirler. Bu durumda pedal konforu değişeceği gibi bunun haricinde tekerleklerdeki basıncın tekerleğin kilitlenmesi durumunda

düşürülememesine de sebep olabilir. Bu yüzden bu tür sistemler sadece belirli düşük hız aralıklarında çalışabilen araçlarda kullanılabilir.



Şekil 4.15. Pompasız ABS (Denso) şematik diyagramı [40]

EV Giriş valfi, AV Çıkış valfi, Spk Depo, RV Tek yönlü valf, HZ Merkez silindiri, RZ Tekerlek silindiri.(Her bir parçadan birisi isimlendirilmiştir)

5. ABS PERFORMANS TEST YÖNTEMLERİ

ABS etkinlik ve kontrol testleri, yol ve cihaz testleri olarak iki farklı aşamada gerçekleştirilmektedir. Sistemin farklı dinamik koşullarda tepkilerinin tespit edilmesi için üretim öncesi veya ilk örnek aşamasında araç üzerinde yol testleri yapılmaktadır. İşlevsellik bakımından görevlerinin kontrolü ve çalışması ile ilgili hususları değerlendirmek için cihaz testleri yapılmaktadır.

5.1. Yol Testleri ve Şartlarının Belirlenmesi

Farklı araçlar üzerinde kullanılan, donanım olarak aynı fakat birbirlerinden farklı kontrol tekniklerine sahip ABS fren sistemlerinin yol şartlarında testlerinin gerçekleştirilmesi için araç üzerinde profesyonel olarak hazırlanmış test sistemleri bulunmalıdır. Ayrıca sistem performanslarının birbirleri ile mukayese edilebilmesi için frenleme şartlarının da aynı olması gerekmektedir.

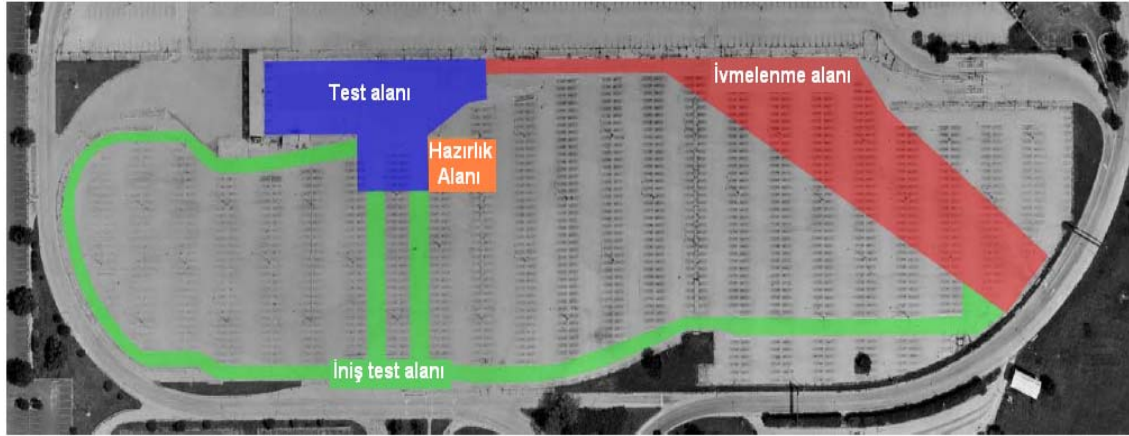
ABS etkinlik testlerini gerçekleştirmek üzere genellikle özel olarak yol testleri için hazırlanmış pistler bulunmaktadır. Dünyada bazı merkezlerde özel şart ve koşullar oluşturularak yapılan bu pistler, ölçüm alt yapısı çok geniş, araç dinamik modellemeleri için yapılan çalışmalarda kullanılmaktadır. Farklı zemin ve sürüş şartlarının oluşturulduğu pistlerde aracın sürüş esnasındaki dinamik karakteristikleri incelenmektedir. Ticari ve araştırma amaçlı ülkemizde özel olarak tasarlanarak yapılmış bu tip pistler mevcut değildir.

Ayrıca yol şartlarında gerçekleştirilen araç testlerinde sürücülerin bu konuda özel ihtisas sahibi kişiler olması gerekmektedir. Aksi takdirde testler esnasında hem verilerin doğru bir şekilde alınamaması hem de sürüş güvenliğinin tehlikeye girmesi söz konusudur.

Yol test ekipmanları, zemin ve yol özellikleri ile ilgili bazı çalışmalardan önemli olan noktalar şöyle sıralanabilir;

Jerry Ferdinand Cuderman II ve arkadaşları yaptıkları ABS performans değerlendirme testlerinde fren pedal kuvveti değişimi ve lastik hava basınçları değişimlerini incelemişlerdir. Burada testlerin gerçekleştirildiği pist ve özellikleri Şekil 5.1’de görülmektedir. 50000 m² test alanına sahip olan pistte ivmelenme, yokuş aşağı iniş ve panik frenleme testleri kolaylıkla yapılabilmektedir.

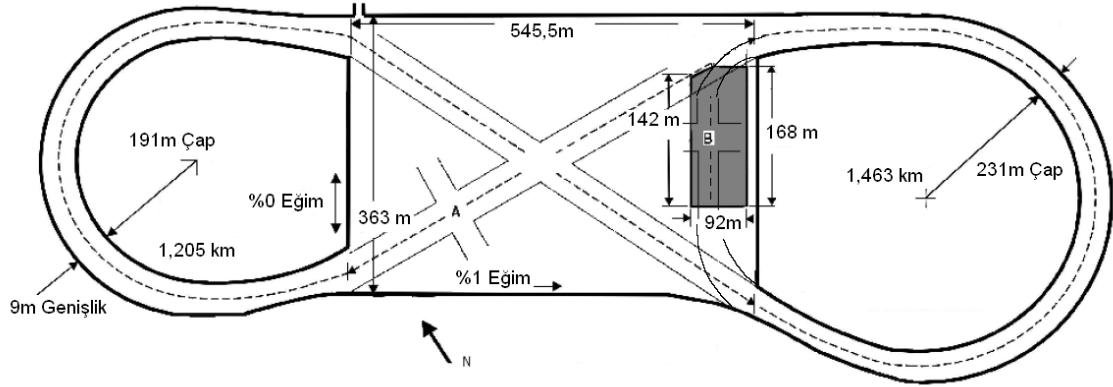
Pist alanında araçlar üzerindeki test ekipmanlarının monte edilebileceği, yol şartlarının değiştirilebileceği (ıslak, kuru), bölünmüş yol şartlarının temin edilebileceği test alanları mevcuttur [52].



Şekil 5.1. ABS performans testlerinin yapıldığı özel bir pist.

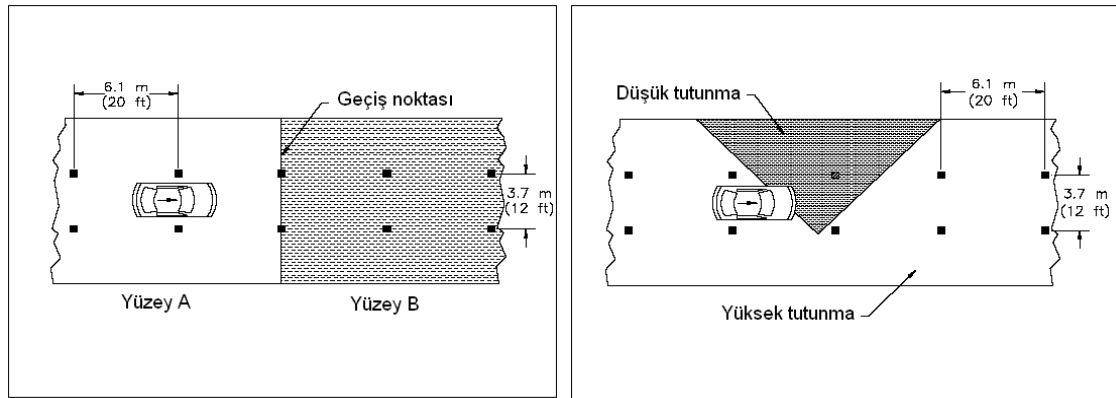
NHTSA’da Elizabeth N. Mazzae ve arkadaşlarının yaptığı ABS performans testlerinde ise Şekil 5.2’de görülen pist kullanılmıştır. Bu pistte daha çok hafif ticari araçların sürücülerinin ABS fren sistemi kullanımları ve araçlar üzerindeki performans farklılıkları incelenmiştir.

Özellikle birkaç araçlı trafik sürüş testleri şeklinde yapılan çalışmalarda zemin özellikleri kuru ve ıslak olarak değiştirilebilmektedir [53].



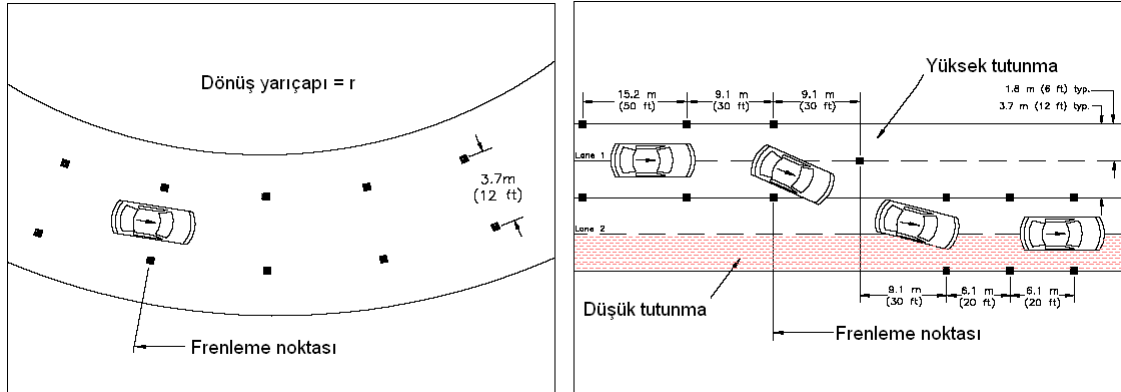
Şekil 5.2. Hafif ticari araçlarda ABS etkinliği testlerinin yapıldığı pist özellikleri

Yine Garrick J. Forkenbrok ve arkadaşları NHTSA'da farklı zeminlerde, bölünmüş yollarda ABS etkinliği ve manevra testleri yapmışlardır. Kullanılan pistteki zemin özellikleri testler için özel olarak önceden yapılmıştır. Şekil 5.3'de bölünmüş yol ve farklı yüzeyler arasındaki geçişlerde ABS frenleme etkinliği ölçülmüştür [54].



Şekil 5.3. NHTSA'da yapılan manevra ve bölünmüş yol testlerinin yapıldığı alanlar

Manevra testlerinde önceden frenleme noktaları belirlenmiş ve dönüş yarıçapları belirli alanlar kullanılmıştır. Ayrıca farklı zeminler arsında frenleme yaparken manevra ile geçiş testleri içinde yine özel alanlar kullanılmıştır. Şekil 5.4'de manevra ve dönüş (viraj) testlerinde kullanılan alanlar görülmektedir.



Şekil 5.4. Manevra ve farklı zeminlerde frenlemeli geçiş testlerinin yapıldığı alan

Steven E. King yönetimindeki bir ekip U.S. Army Aberdeen Test Center’da binek otomobillerde yüksek hızlarda fren etkinliği ve ABS performansı testleri gerçekleştirmişlerdir. Testlerin ıslak zeminde yapıldığı alan ve özellikleri Şekil 5.5’de görülmektedir [55].



Şekil 5.5. U.S Army Aberdeen test merkezinde ıslak zemin test alanı

Bu test pistinde farklı zeminlerde yarı ıslak/yarı kuru veya ıslak- kuru zemin değişimlerini tutunma katsayıları farklı olan (düşük ve yüksek tutunma) durumlarında ABS etkinliği testleri yapılmıştır.

ABS performansının belirlenmesine yönelik yapılan yol testlerinde genellikle kullanılan ekipman ve veri toplama sistemleri şöyle sıralanabilir;

- Veri toplama sistemi,
- Pedal kuvvet sensörü,
- Pedal kuvvet uygulayıcısı (actuator) ,
- İvme sensörü veya gyro sistemleri,
- Araç ve tekerlek hız sensörleri,
- Direksiyon açısı sensörleri,
- Tekerlek tork sensörü.

5.1.1. Veri toplama sistemleri

ABS testleri esnasında kullanılan veri toplama sistemlerinde genellikle veri alma hızının çok yüksek olması gerekmektedir. Bu sistemle birlikte modüler kullanılan bilgisayar ünitesinin de alınan verileri bozmadan ve aynı hızda işleyebilmesi gerekir. Şekil 5.6'da örnek bir veri toplama sistemi görülmektedir. Veri alınacak sensör ve sistem sayısı arttıkça veri toplama hızının ve kapasitesinin de artırıldığı veri toplama kartları veya sistemleri yapılmıştır. Temel düzeyde birçok testte veri kartları kullanmak yeterli olmaktadır.



Şekil 5.6. ABS performans testlerinde kullanılan veri toplama sistemi[56]

5.1.2. Pedal kuvvet sensörü

Fren etkinliği ölçümlerinde ve performans değerlendirmelerinde fren pedalına uygulanan kuvvete karşılık oluşan frenleme kuvveti veya basınç değişim değerlerini belirlemek gerekir. Testlerde kullanılan fren pedal kuvvet sensörleri, loadcell (yük hücresi) tabanlı bir ölçüm yapmaktadır. Herhangi bir loadcell ile ölçüm yapılabileceği gibi bu tür testler için Şekil 5.7'deki gibi özel imal edilmiş sensörler de kullanılmaktadır. Herhangi bir sensörün kullanımında veri alabilmek için sensörü bir yükselteç ile birlikte kullanmak gerekir. Loadcell haricinde piezo kristal tabanlı ölçüm yapan sistemler de mevcuttur.

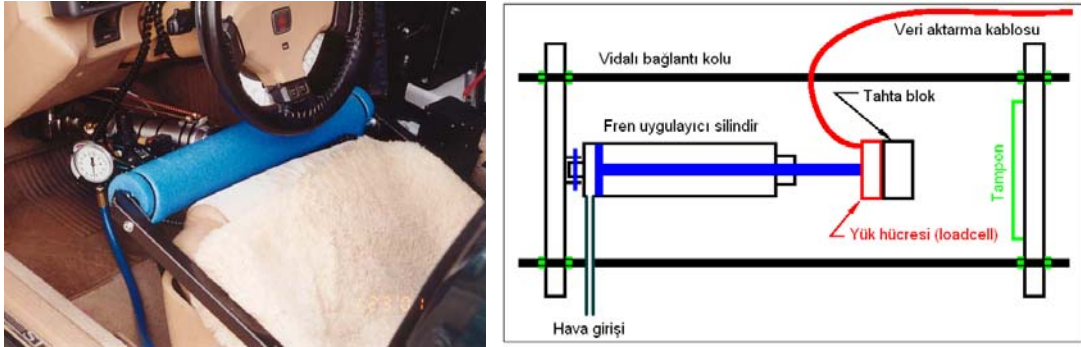


Şekil 5.7. Fren pedal kuvvet sensörü [56,57]

5.1.3. Pedal kuvvet uygulayıcısı

Fren pedalı uygulamalarında pedala uygulanan kuvvetin farklılık göstermemesi ve aynı pedal kuvvetinin sürekli bir sürücü tarafından uygulanamamasından dolayı pnömatik çalışan pedal uygulayıcıları kullanılmaktadır (Şekil 5.8).

Araçta havalı fren sistemi olması durumlarında araç üzerinden hava beslemesi ile veya kendi kontrol tüpü ile kullanılan sistemler önceden belirlenen itme **kuvvetleri** karşılığında pedala istenilen kuvveti ani bir şekilde veya belirli bir basma ivmesi ile uygulamaktadırlar.



Şekil 5.8. Pedal kuvvet uygulayıcısı [52]

5.1.4. İvme sensörü veya gyro (jiroskop) sistemleri

ABS testlerinde özellikle aracın 3 (x,y,z) ekseninde de frenleme ivmeleri önem arz etmektedir. Normal 3 boyutlu ivme sensörleri ile ölçümler yapabileceğimiz gibi bunların özellikleri ile birlikte savrulma veya dönme momentlerini de birlikte ölçebileceğimiz jiroskop sistemleri de kullanılmaktadır. Şekil 5.9’da bir jiroskop sistemi görülmektedir.



Şekil 5.9. İvme ve jiroskop moment ölçüm sistemleri [52]

5.1.5. Araç ve tekerlek hız sensörleri

Testler esnasında aracın gövdesinin hızını bulmak için kullanılan sensörler ile tekerlek hız sensörleri kullanılarak frenleme esnasında meydana gelen kayma değerleri hesaplanabilmektedir. Tekerlek hız sensörleri genelde tekerlek jantının

içerisine yerleştirilen infrared alıcılı veya manyetik sensörler olmaktadır. Tekerlek göbeğinden bağlanan ve encoder sayıcı sistemleri de mevcuttur. Özellikle ıslak ve karlı zemin şartlarında gerçekleştirilen testlerde encoder sayıcılı tekerleğe monte edilen sistemler kullanılmaktadır (Şekil 5.10).



Şekil 5.10. İnfrared alıcı göz ve encoder yöntemi ile tekerlek hız ölçümü [52,57]

Taşıt hız ölçümünde ise genellikle radar yöntemi, GPS kontrollü, optik veya 5. tekerlek yöntemleri ile ölçümler yapılmaktadır. Yine taşıt hız ölçümlerinde de ıslak ve karlı zeminlerde optik ve temaslı 5. tekerlek yöntemleri iyi sonuçlar vermemektedir. En ideal ölçümler radar kontrol yöntemi ile gerçekleştirilen taşıt hız ölçümleridir (Şekil 5.11).



Şekil 5.11. Radar yöntemi ve optik hız ölçüm sistemleri.[57,58]

5. tekerlek yöntemi genellikle ABS performans testlerinde ilk dönemlerde çok yaygın kullanılan gerek mekanik gerekse elektronik olarak ölçüm yapabilen en temel ölçüm yöntemidir. 5. tekerlek olarak adlandırılan tekerlek sisteminde aracın gövdesine bağlı serbest yuvarlanma hareketi gerçekleştiren bir bisiklet tekeri standartlarında fakat özellikleri farklı bir tekerlek kullanılmaktadır. Taşıtın düz yol frenleme testlerinde çok tercih edilen bir yöntemdir (Şekil 5.12).



Şekil 5.12. Araç üzerindeki 5. tekerlek montajı [57,59]

5.1.6. Direksiyon açısı sensörü

Testler esnasında frenleme anında gerekli olan manevralar yapılırken manevraların derece veya radyan cinsinden değişimini ölçmek için veya frenlemeler sonucunda ortaya çıkan araç sapma hareketi esnasında direksiyonda oluşan açısal değişimleri gözlemlemek için kullanılan sensörlerdir.

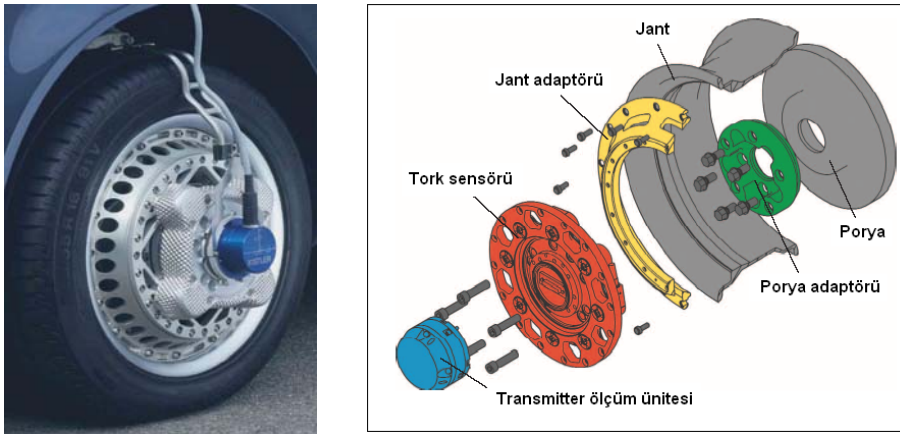
ABS testleri esnasında sadece frenleme anındaki değişimleri gözlemlemede yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Özellikle ESP testlerinde araçtaki dönüş açısı tespitinde kullanılan direksiyon açısı ölçüm sistemleri temel test ekipmanları içerisinde (Şekil 5.13).



Şekil 5.13. ABS testlerinde kullanılan direksiyon açısı ölçüm sistemleri ve sensörü [52,56]

5.1.7. Tekerlek tork ölçüm sistemleri

Özellikle yol şartlarında gerçekleştirilen fren testlerinde tekerlek dinamometreleri son dönemlerde geliştirilen ve performans değerlendirmelerinde en ideal sonuçları elde etmemizi sağlayan sistemlerdir. Farklı araç sınıflarına göre üretilen piezo elektrik veya straingauge tabanlı ölçüm yapan sensörlerdir. Taşıt tekerleklerine jant üzerinden bağlanarak yol şartlarında hareket esnasında gerek frenleme gerekse tahrik durumlarında tekerlek üzerinde oluşan torkları veri toplama sistemlerine aktarmaktadır. ABS performans testlerinde frenleme şartlarının değişken olduğu bölünmüş yol veya fren kontrolü açısından diagonal (çapraz) kontrol testlerinde çok iyi derecede veri elde edilmesini sağlamaktadır. Şekil 5.14’de tekerleğe monte edilmiş bir sistem ve montaj kesiti görülmektedir.



Şekil 5.14. Piezo elektrik tabanlı ölçüm yapan tekerlek tork ölçüm sistemi [60]

5.2. Mevcut Laboratuvar ABS Test Cihazları

Yol şartlarında yukarıda bahsettiğimiz hususlar çerçevesinde yapılacak, ABS performansının belirlenmesine yönelik testlerde şartların çok kararlı ve aynı olmaması çalışmamızda laboratuvar şartlarında bir test sistemi ve cihazı geliştirmemiz gerekliliğini ortaya çıkarmıştır.

ABS farklılıklarına yönelik testlerinin yapılabilmesi için araç durağan halde yani statik halde iken sadece ABS sistemini aktif hale getirecek bir ABS test cihazı geliştirilmiştir. Literatürde bu tür test cihazları ile ilgili olarak temel düzeyde bazı çalışmalar bulunmaktadır. Genellikle ABS üreticileri ABS sistem elemanlarını üretim esnasında veya araç üzerinde prototip aşamasında test etmektedirler. Yol testleri esnasında, yeni geliştirilmiş olan ABS, araç üzerine monte edilerek frenleme performansı ve kontrol işlemleri denenmektedir. Ancak kullanıma başlanılan sistemde gerek kullanım sonrasındaki bakım ve onarımlarda gerekse yasal mevzuatın ön gördüğü düzenlemelerde ABS sistemi ayrıca sistem olarak tekrar test edilememektedir. En ileri seviyede geliştirilen ABS dinamometre testlerinde genellikle test esnasındaki işlemler aşağıdaki gibidir.

- Her araç tekerleği genellikle çapları 500 mm olan 2 adet tamburdan oluşan çiftli tambur ünitesi üzerinde yer alır.
- Yaklaşık 50 kw'lık elektrik motorları ile taşıt 50 km/h hıza kadar ivmelendirilir.
- Sürücü dikkatli bir şekilde fren pedalını hareket ettirir.
- 0 - 500 N arasında ölçüm yapan bir pedal kuvvet sensörü vardır.
- Frenleme kuvveti tamburlarda $\Delta V/\Delta t$ (dv/dt) ölçümü ile gerçekleştirilir.
- Her bir tekerlek için ve sağ-sol tekerlekler arasındaki frenleme kuvveti farkı görülür.
- Yavaşlama ivmesi taşıt ağırlığına göre hesaplanarak görüntülenir.
- ABS valfleri dinamometre tarafından araç CANbus'larına doğrudan müdahale ile harekete geçirilir.
- ABS kontrol sisteminin yaptığı fren kuvvetindeki değişim gözlemlenir.

- Bütün test sonuçları otomatik olarak kayıt altına alınır[42].

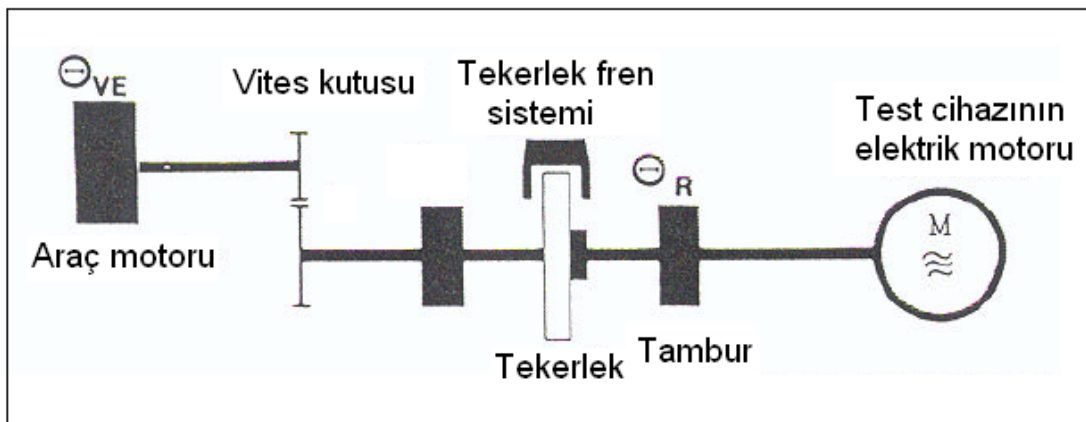
Örneğin fenni muayene esnasında araçlarda fren test dinamometrelerinde konvansiyonel fren sistemi değerleri ölçülmektedir. Yani fren sisteminde ABS devreye girmediği durumlarda normal servis freninin sağladığı fren kuvvetleri değerleri ölçülmektedir. Fren kuvveti değişimi tekerlek üzerinden ölçüldüğü için burada balata, disk veya kampana gibi fren elemanlarının da durumu hep beraber değerlendirilmektedir. Aracın dinamik yapısını daha çok etkileyecek olan husus fren sisteminde sağ ve sol taraftaki tekerlekler arasındaki frenleme kuvvetlerinin farklılıklarıdır. Bu fark maksimum % 30 civarında yasal zorunluluk olarak günümüz muayene istasyonlarında ölçülmektedir. Yani % 30 gibi sağ ve sol tekerlekler arasındaki frenleme kuvvet farkı varsa bu araçta frenleme dinamiği çok dengesiz olacağı için araçlar bu düzenlemeyi geçememektedir. Ancak ABS'li sistemlerde aracın hareketi esnasında ABS'nin aktif olacağı durumlarda ABS etkinliği sistem performansını daha çok etkilemektedir.

Birçok sürücü ABS sisteminin fonksiyonunu yerine getirmediğinden dolayı kaza yaptığı şeklinde yorumlar yapmaktadır. Bu durumlarda ABS'nin ne derece iş görebildiğini veya araç üzerinde belirli bir kullanım sonucunda ABS performansının nasıl değiştiğini gözlemleye gerek duyulmaktadır. Bu tür ABS performansını yol şartlarına çıkmadan test edebilme imkânı oldukça sınırlıdır. Dinamik halde hareketsiz olan araçta ABS etkinliğini sağlamak için yapılan bazı çalışmalar yaşanan olumsuzluklar ve iyi sonuç vermemelerinden dolayı iptal edilmiş veya yaygın bir şekilde kullanılmadan terk edilmiştir.

Dr. Thomas Frese'nin TÜV Trafik Enstitüsünde (Institute of Traffic Safety, Department of Safety Research and Development) yaptığı ABS etkinlik testleri kapsamında laboratuvar ortamında taşıt testleri için bir test cihazı geliştirmiştir. Geliştirdiği cihazda araç tamburlu bir fren test cihazı üzerine çıkarılarak her bir tekerlek sensöründen hız verileri sağlanarak ABS donanımı aktif hale

getirilmektedir. ABS fren sistemi aktif hale gelen araçta frenleme sonucunda ABS'nin tekerleklerde sağladığı frenleme kontrolü gözlemlenmektedir [5].

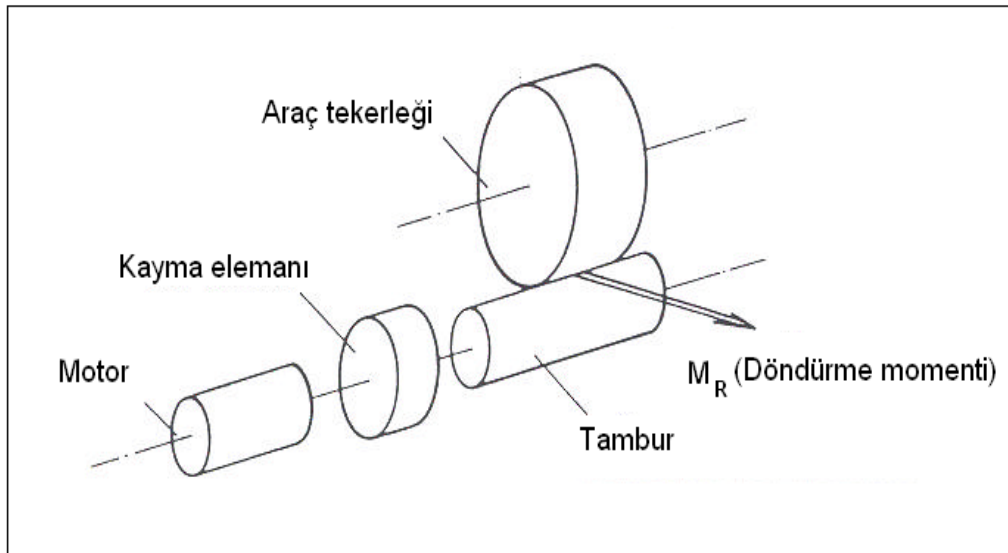
Testler esnasında kayıt altına alına tekerlek hızları ve pedal kuvveti değişimlerine göre araç ABS donanımı hakkında fikir sağlanmaktadır. Ancak taşıt tekerlekleri hareket ettiği için araç üzerinde dinamik bir hareketlilik söz konusudur. Bu sebeple aracın hareket hızı maksimum 50 km/h civarındadır. Konvansiyonel fren sistemi test edilen fren dinamometrelerinde araç tekerlek hızları yaklaşık olarak 5-10 km/h arasındadır. Klasik dinamometrelere göre geliştirilen bu dinamometrede araç hızının daha yüksek olması büyük bir avantajdır. Ancak ABS etkinliği açısından bu hız ortalamasının altında bir hızdır. Çünkü yol testlerinde ABS etkinliğinin test edildiği minimum hızlar 50-55 km/h civarındadır. Araç motoru ile cihaz tahrik sistemi arasındaki bağlantı Şekil 5.15'de görülmektedir [5].



Şekil 5.15. Motor ile test cihazı tahrik sistemi arasındaki elemanların bağlantı şeması

50 km/h hızla hareket ettirilen araçta her bir tekerleği tahrik eden elektrik motorları aynı zamanda 4 farklı hızda hareket ettirilebilmektedir. Bunun sebebi tekerlekler arasındaki hız farkına göre araç üzerinde kayma meydana getirerek frenleme esnasında ABS'nin aktif hale gelmesini sağlamaktır. Farklı hızların sağlandığı asenkron motorlar ile tekerleğin üzerinde hareket ettiği tamburların arasında kayma elemanı diye adlandırılan bir sistem kurulmuştur (Şekil 5.16).

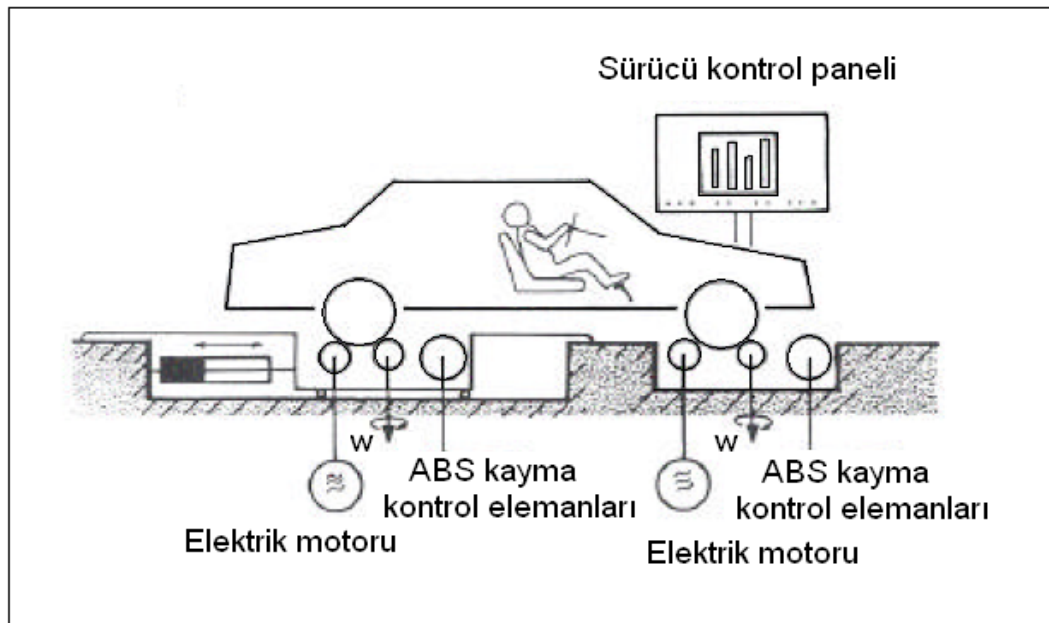
Kayma elemanı üzerinden aracın ıslak, kuru veya buzlu zeminlerdeki hareketlerinde sağlanan farklı kayma değerleri hız farkı olarak oluşturulmaktadır. Tahrik motorlarına paralel bağlanabilirdi gibi direk sistemde ara eleman olarak ta kullanılabilen kayma elemanlarından farklı yol şartlarını simüle etmede faydalanılmaktadır. Yani aynı özelliklere sahip motorlar üzerinden araç için örneğin sağ tekerleklerde 50 km/h, sol tekerleklerde 35 km/h hızlarda hareket temin edilmektedir. Bu belirtilen örnek hızlar arasındaki fark kadar o tekerleklerde kayma oluşturulmuş olmaktadır. Yani aracın bir tarafı kuru diğer tarafı ıslak zeminde şeklinde bir benzetim gerçekleştirilmektedir.



Şekil 5.16. Kayma elemanı olarak adlandırılan sistemin cihaz üzerindeki yeri

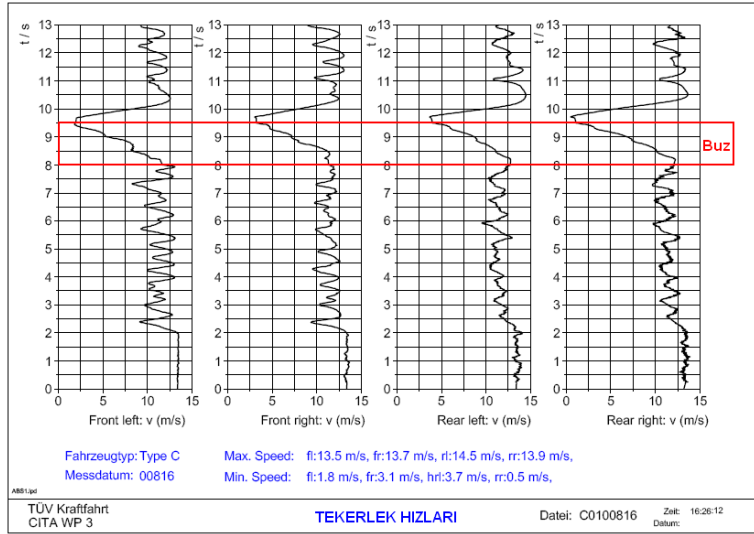
Ancak bu sistem üzerinde oluşturulan kayma hareketi esnasında tekerleklerin tamburlarda dönmesinden dolayı araç üzerinde de dinamik bir hareketlenme meydana gelmektedir. Yani araç cihaz üzerinde hız farklılığından dolayı dengeli bir şekilde duramayacaktır. Bu nedenle aracın tekerleklerindeki hız çok fazla artırılmamaktadır. Ayrıca bu dinamik dengesizlik dolayısı ile araç cihaz üzerinde çok kısa bir süreliğine frenlenerek ABS devreye sokulmaktadır. Bu esnada veriler süratli bir şekilde kaydedilerek test tamamlanmaktadır. Araç testler esnasında bazı sabit noktalardan zemine bağlanarak aracın cihaz üzerinden çıkması ve tehlike oluşturması kısmi olarak engellenmektedir (Şekil 5.17).

Bir diğ er husus ise cihaz üzerinde aslında ABS etkinliğinin yanı sıra konvansiyonel fren sistemi elemanları da test edilmektedir. Yani aracın disk, kampana ve balata sistemleri ile, klasik fren sistemi elamanlarının her birinin sistem performansına etkileri de gözlemlenmektedir. ABS performansı hiçbir zaman tek başına burada değerlendirilememektedir. Sistem elemanlarından kaynaklı performans kayıpları da ABS sistemini ve kontrolünü etkileyebilmektedir.



şekil 5.17. Test cihazı üzerinde aracın ABS kontrolü [5]

Cihaz  zerinde ABS frenlemeleri esnasında her bir tekerlek için kaydedilen tekerlek hız değişimleri değerlendirilmekte ve ABS'nin mevcut kayma değerlerinde aracın tekerleklerinde yaptığı kontrol hız çıkışı şeklinde değerlendirilmektedir. Burada elde edilen veriler daha sonra analiz edilmek üzere veri toplama sistemine alınarak grafiksel olarak karşılaştırmaları yapılmaktadır (şekil 5.18).

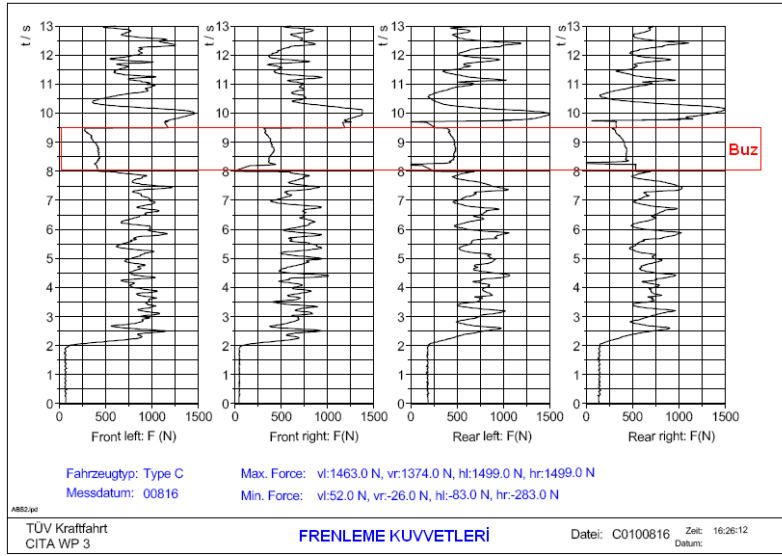


Şekil 5.18. Cihazın kontrol panelinden alınan tekerlek hız değişimleri [5]

Tekerlek hız değişimlerine karşılık sistemde oluşan her bir tekerlek için frenleme kuvveti klasik fren dinamometrelerindeki mantık üzere ölçülmektedir. Tamburlar üzerine yerleştirilmiş bir yük hücresi ile ters yönlü oluşan frenleme kuvveti değeri aynı zamanda kaydedilmektedir (Şekil 5.19).

Şekil 5.18 ve 5.19’da görüldüğü gibi tekerleklerde frenleme esnasında oluşturulan yaklaşık %15’lik kayma değerine göre hız değişimlerinden ABS’nin hangi tekerlekte aktif olduğu ve hızın kontrole göre nasıl değiştiği gözlemlenmektedir. Ancak burada önceden de vurguladığımız sistem elemanlarının araç üzerindeki kullanımı sonucunda bütün sistemde oluşan performans kayıpları veya frenleme kayıpları birlikte gözlemlenmektedir.

Laboratuarlarda veya üretim hatlarında araçlar üzerindeki fren donanımlarını veya ABS donanımlarını test etmek amacı ile de fren test dinamometreleri geliştirilmiştir. Test yapılacak araç fren test cihazı ya da fren dinamometresinin tamburları üzerine çıkarak frenleme yapılmakta ve aracın bütün fren sisteminin mevcut çalışma durumu kontrol edilmektedir.

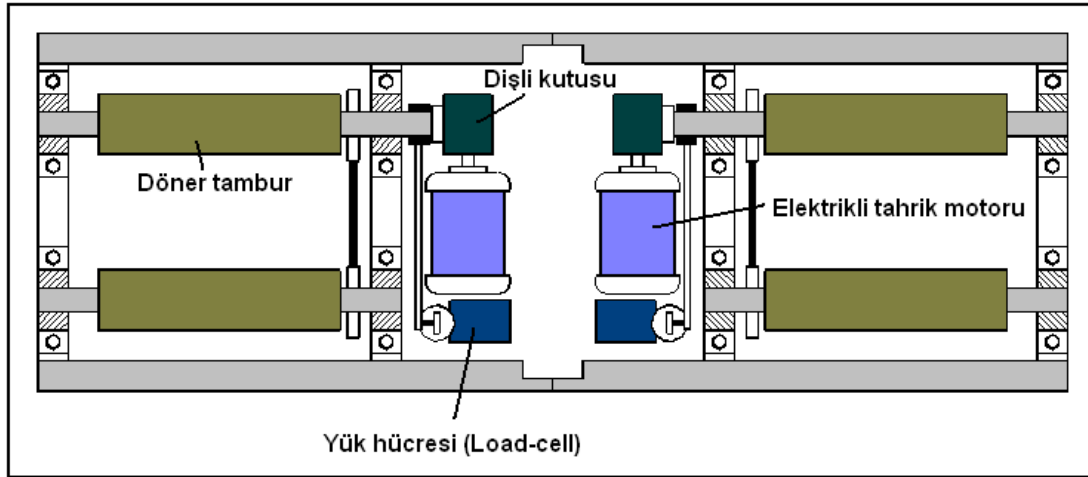


Şekil 5.19. Farklı tekerlek hızlarında oluşan frenleme kuvvetleri değişimi [5]

Fren test cihazları daha çok fabrikalarda bulunmaktadır, servislerde bu cihazlara çok sık rastlanmamaktadır. Çünkü araç üretildikten sonra fren sisteminde kullanımdan kaynaklı etkinlik kayıplarında elde edilen sonuçların yorumlanması teknik bir yeterlilik ve yorum gerektirmektedir. Fabrikalarda ise yeni donanımların mevcut kullanım koşulları test edilmektedir. ABS fren sistemi veya konvansiyonel fren sistemi araca monte edildikten sonra fren dinamometrelerinde fren sistemindeki operasyon süreci gözlemlenmektedir. Eğer burada ABS, sistem elemanlarından devreye giren olma ise veya fren sisteminde bir problem varsa üretim bandından çıkan araç ürün kontrol bölümlerine yönlendirilmektedir. Burada sistem değiştirilerek veya çalışma eksikliği nereden kaynaklanıyor ise tespit edilerek araç üzerindeki sistem çalışır halde üretim sonrasına gönderilmektedir.

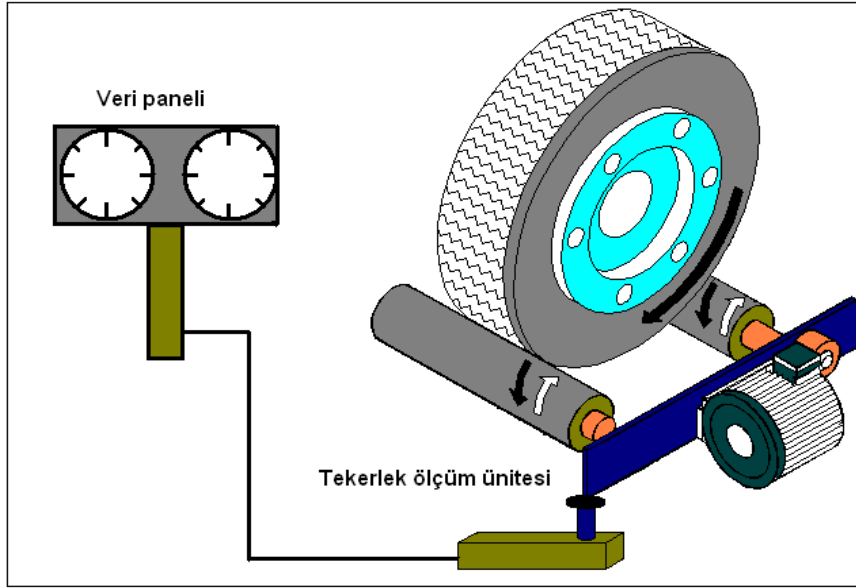
Servislerde kontrol amaçlı kullanılan bazı fren dinamometreleri vardır. Ancak bu cihazlar üzerinde de sadece servis frenleri test edilerek komple tekerlek, disk, kampana ve balataların performansları ve etkinlikleri test edilmektedir. Üreticiler tarafından ön görülen frenleme sınırları içerisinde olup olmadığı gözlemlenmektedir. Cihazların bilgisayarlı ölçüm ünitelerine önceden üretici firmalardan alınmış frenleme değerlerinin alt ve üst sınırları yüklenmiştir. Araç tamburlu sistemde test edildikten sonra bu değerlerle ölçülen değerler karşılaştırılarak araç üzerindeki

normal fren sisteminin frenleme performansı hakkında yaklaşımlarda bulunmaktadır. Servislerde veya araç üretim fabrikalarında konvansiyonel fren testlerinde kullanılan klasik fren test dinamometrelerinin şematik gösterimi Şekil 5.20’de görülmektedir.



Şekil 5.20. Tamburlu fren test cihazı elemanları

Tamburların arasına aracın ön veya arka tarafında bulunan tekerlekler yerleştirilerek elektrik motoru ile tekerlekler tahrik edilir. Bu esnada vitesi boş durumda olan araç sadece fren güç servosunun devreye girmesi için çalıştırılır. Daha sonra araç içerisindeki sürücü fren pedalında kuvvet uygulayarak tekerleklerin tamburdan dışarı çıkmayacak şekilde frenlenmesini sağlar. Bu cihazlar üzerinde genellikle tekerlek tahrik hızı 5 km/h’dir. Bu esnada frenlene tekerlekteki frenleme kuvveti tekerlek ve tambur arasındaki tutunma katsayısı, balata ile disk veya kampana arasındaki sürtünme katsayısına bağlı olarak değişimler gösterecektir. Tamburları çeviren elektrik motorunun tahrik kuvvetinin tersi yönde tamburlarda frenleme torku oluşturulur. Bu motorlara veya tamburlara bağlı bulunan moment iletim kolu ile cihaz üzerinde bulunan yük hücresine iletilir. Bura tamburlar üzerindeki frenleme kuvveti ölçülür. Ölçüm sisteminin şematik gösterimi Şekil 5.21’de görülmektedir.



Şekil 5.21. Fren dinamometresi tekerlek ölçüm ünitesi

Cihazın tek bir dingil için iki ayrı tambur grubu vardır. Bu gruplardan birisi sağ diğeri sol tekerlek içindir. Her grupta da iki ayrı tambur vardır. Tekerlek bu iki tambur arasında döner (Şekil 5.22). Tamburlar arasındaki hareket iletimini zincir ve dişli mekanizması sağlamaktadır. Silindirlere hareket bir elektrik motoru ile verilir. Tekerleklerin ayrı ayrı kontrolleri yapılabildiği gibi iki tekerlek veya gelişmiş cihazlarda dört tekerleğin de aynı anda testlerini yapmak mümkün olmaktadır.

Tamburlar üzerinde aracın genellikle ön ve arka tekerlekleri daha sonra mekanik veya hidrolik el freni mekanizmaları test edilmektedir. ABS'li araçların testlerinde de yine bu fren dinamometreleri üzerinde normal fren sistemi test edilmektedir. Test cihazı üzerinde bulunan aracın fren pedalına yerleştirilen bir fren pedal kuvvet sensörü ile uygulanan pedal kuvvetine karşılık tamburlarda elde edilen frenleme kuvveti kaydedilmektedir. Sürücünün uyguladığı pedal kuvvetini ve bunun karşılığında oluşan frenleme kuvvetini cihazın görüntüleme ekranından izleme imkânı bulunmaktadır (Şekil 5.22).



Şekil 5.22. Fren test hattı üzerine aracın alınması ve tamburlarda araç hareketi [61]

Tamburlu test cihazları ile yol testine göre daha çok veri alınması mümkündür. Alınan bilgiler grafik olarak ekranda görülebildiği gibi kağıt üzerine de alınabilmektedir. Bilgilerin saklanması ve gerektiğinde tekrar kullanılması mümkündür. Tamburlu fren test cihazları 5 – 45 °C sıcaklıklar arasında rahatlıkla çalışabilirler ve bu cihazların ölçüm skalasındaki $\pm$ %5 kadar toleransı normal sınırlar içerisinde kabul edilmektedir [62].

Son yıllarda artan simülasyon çalışmaları ile fren kuvvetlerinin tespit edilmesine çalışılmaktadır. Simülasyon çalışmalarında kullanılan veriler gerçek yol şartlarından farklılık gösterebildiklerinden (yol – tekerlek arasındaki sürtünme) elde edilen fren kuvvetleri gerçeği yansıtamamaktadır. Laboratuarlarda kullanılan fren test cihazlarının sürtünme yüzeylerinin gerçek yol şartlarına uydurulması ve buradan elde edilen sonuçlara göre simülasyon çalışmalarının yapılması daha doğru sonuçların alınmasını sağlayacaktır [63].

6. ABS PERFORMANS TESTLERİ DEĞERLENDİRME SÜRECİ

6.1. ABS Sistem Performansını Belirlemeye Yönelik Değerlendirme Kriterleri

ABS kullanılan bir taşıt ile ABS kullanılmayan taşıtın frenleme performansını karşılaştırmak için başlıca iki yöntem kullanılmaktadır.

Birincisi aynı taşıt üzerinde ABS'li ve ABS'siz yapılan testler sonucunda yapılan değerlendirmelerdir. Değişik yol şartlarında ve taşıt hızlarında yapılan bu testlerde karşılaştırma yapabilmek için iki önemli parametre dikkate alınmaktadır. Bunlardan birincisi, ABS'siz taşıtta sürücüye bağlı olarak değişen frenleme kuvveti dağılımı; ikinci parametre ise ABS verimidir. Eğer ABS performansı ABS'siz taşıta göre çok yüksek görünüyorsa bu durum, ABS'siz taşıtta gerçek frenleme kuvveti dağılımının iyi olmadığını göstermektedir. Tersine gerçekleştiğinde ise ABS'siz taşıtta frenleme kuvveti dağılımının iyi olduğu söylenebilmektedir. Ancak bu, ABS veriminin düşük olduğu anlamına gelmez. Sağlıklı bir değerlendirme için değişik yol şartlarında değişik test ve ölçümlere ihtiyaç duyulmaktadır [51].

İkincisi ise değişik taşıtlar ve yol-yüzey şartlarında yapılan testlerin sonuçlarının değerlendirilmesi ile yapılır. Bu tür testlerde ABS'li ve ABS'siz taşıtların karşılaştırılması için yine iki parametre dikkate alınır. Bunlardan birincisi, tekerlekle yol yüzeyi arasında oluşan en yüksek tutunma faktörü ile kilitlenmiş tekerlekte oluşan tutunma faktörünün oranıdır. Diğer parametre ise ABS verimidir. Test sonuçları, ABS kullanan taşıtın ABS'siz taşıta göre daha uzun mesafede durduğunu gösteriyorsa, bunun iki nedeni olabilir: 1- ABS verimi düşüktür, 2- ABS'siz taşıtta kilitlenmiş tekerlekler ile yol arasındaki tutunma faktörü çok yüksektir. Bu, çok pürüzlü yollarda görülebilecek bir sonuçtur.

Genellikle en yüksek tutunma katsayısı ile kilitlenmiş tekerlek tutunma katsayısı oranı 1/1 ile 2/1 arasında değişmektedir. Eğer ABS'siz taşıtta belirli bir yüzeyde kilitlenmiş tekerleğin tutunma faktörü ABS'li taşıt tekerleğinde meydana gelen

tutunma faktörüne eşit veya daha yüksekse ABS'siz taşıt daha kısa bir mesafede durabilecektir. Bu tür testlerin, tecrübeli sürücülerle ve durma mesafesi ölçme standartlarına uygun olarak hazırlanmış taşıtlarla yapılması gerekmektedir. Ancak bu şekilde fren performansının bir göstergesi olan fren durma mesafesi hakkında anlamlı sonuçlar elde edilebilir. Testler sonucunda elde edilen verilerden ABS sistemi performansı için değerlendirme kriterlerini aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür;

- Farklı tutma katsayılarındaki yol şartlarında durma mesafesi,
- Farklı tutma katsayılarındaki kararlı frenleme durumu,
- Farklı tutma katsayılarındaki her iki tekerleğin farklı zemin şartlarında (-kayma) olması durumunda kararlı frenleme durumu,
- Direksiyon kararlılığı ve direksiyon manevralarındaki davranışı,
- Konfor kontrolü,
- Pedal titreşimi,
- Gürültü kontrolü.

6.2. ABS Sistem Performansının Artırılması İçin Tasarım Kriterleri

ABS sistemi standart olarak modülatör, sensör, kontrol ünitesi ve fren hidrolik ünitesinden meydana gelmektedir. Bu elemanların birçoğu fren sistemi için optimize edilmiştir. Donanımda optimize edilecek parametreler ve kontrol sistemi içerisinde bulunan yazılımda modifiye edilecek birçok parametreler bulunmaktadır. Aşağıda donanım parametreleri ve bunların fren sistemine etkileri açıklanmıştır. Yazılım parametreleri değiştirilerek uygulama sürecinde ayarlanabilen sistem fonksiyonları tanımlanmıştır.

6.2.1. Hidrolik modülatör ve solenoid valflerin orifis boyutları

ABS fren sisteminde basınç artışı ve düşüşünde yüksek kontrol kalitesi sağlamak için her iki giriş ve çıkış orifisleri fren sistemin büyüklüğüne uygun olacak şekilde

boyutlandırılmalıdır. Fren sistemindeki basınç artış ve azalmalarında, solenoid valfin en kısa sürede açma kapama zaman aralığında basınç düzenlemesini gerçekleştirmesi gerekir. Bir basınç artışı için 750bar/s üzerinde bir değer gerekir. Basınç düşüşü için ise 1000 bar/s den daha büyük değerler gereklidir. Bugün birçok sistemde kullanılan valfler bu yeterlilikleri sağlamaktadır.

6.2.2. Fren pedalı titreşim hissinin en az seviyede tutulması

ABS, merkez silindiri çıkış kanalları ile tekerlek silindirleri arasında yer alır. ABS kontrolü olmadan yapılan frenleme esnasında fren sisteminde pedal hissi üzerinde herhangi bir etki olmaması gerekmektedir. Fren pedalının çok hızlı ve ani frenleme şartlarında uygulandığı durumlarda ABS giriş kanalı boyunca bir basınç sınırlandırması oluşturur. Pedal hissinin kısmen veya tamamen ortadan kaldırılmasında, çalışma basınç ve şartları optimize edilmiş valfler veya elektrikle kontrol edilebilen giriş valfleri çok etkilidir.

6.2.3. Pompa performansında boyutlandırmanın önemi

ABS'nin ilk modellerinde pompa tasarımlarının farklı olmasındaki en önemli etken sürücünün uyguladığı pedal kuvvetine karşılık fren pedalının düşmesini engellemektir. Bunun sonucunda yüksek güçlü pompalar geliştirilmiş ve buna karşılık yüksek bir ses durumu ortaya çıkmıştır.

Sonraki modellerde pompa gürültüsü ve pompa motor kontrolündeki gelişmeler önemli bir rol oynamıştır. Ancak pompa boyutu için esas kriter sürücün uyguladığı fren pedalı kuvvetine karşı pompanın düşük basınç akümülatöründen fren akışkanını pompalamasıdır. Akışkan miktarına göre motor hızını kontrol eden geniş sinyal çalışma aralıklarına sahip motorlar kullanılarak gürültü problemleri kısmen ortadan kaldırılmıştır.

6.2.4. Düşük basınç akümülatörü için boyutlandırma

Düşük basınç akümülatörü tekerlek fren basıncının aniden düşmesine yardımcı olur. Buradan pompa ile fren akışkanı fren merkez silindirine karşı geri pompalanır. Düşük basınç akümülatörünün hacminin boyutlandırılması esnasında en önemli faktör kullanılan fren sisteminin büyüklüğüdür. Frenleme anında tekerleklerdeki yüksek tutunma şartlarından düşük tutunma şartlarına geçiş esnasında tekerleklerdeki kilitlenmeyi önlemek için sistemdeki bütün fren akışkanı düşük basınç akümülatörüne geçici olarak depolanır. Bundan dolayı sistemde mevcut bulunan akışkanın tamamına yakın bir kısmını alabilecek kapasiteye sahip bir şekilde tasarlanmaktadır.

6.3. ABS Performans Testlerinin Gerekliliği

Elektronik fren sistemlerinin araç üzerindeki testlerinde, birçok etken önemli rol oynar. Bu etkenler şöyle sıralanabilir;

- Yeni fren sistemleri bulunan araç prototipinin tasarlanması ve fizibilite çalışmaları,
- Ürünlerin geliştirilmesi, doğrulanması ve onaylanması,
- Gelişme aşamasında kullanıcılar ile işbirliği ve danışmanlık,
- Araç sunumları,
- Sistem testleri, yasal zorunluluk testleri ve alan testleri ile kalite güvencesi.

Sistem geliştirme aşamaları geliştirme, doğrulama ve onaylama aşamalarından meydana gelmektedir. Geliştirme aşaması, donanım ve yazılımlarda yeni çözümlerin geliştirilmesi işlemidir. Doğrulama, her bir elemanın test edilmesi sonucunda geliştirilen yöntem ve çözümlerin tanımlanmasını içeren aşamadır. Geçerliliklerinin ve kullanılabilirliklerinin doğrulanması aşamasıdır. Onaylama aşaması ise, farklı araçlar ve sürücü profilleri ile yapılan, alan ve yasal zorunluluk testleri aracılığı ile

normal kullanım ortamında ve özel araç üstü kullanım ortamındaki her bir gelişmenin test edilmesidir.

Onaylama ve doğrulama işlemleri ön üretim esnasında ve üretim modelleri bulunana kadar sabit aralıklarla tekrarlanmalıdır. Ama bu modeller miktar ve her araç ilk örnek özelliklerine göre ortaya çıkartılır. Her aşamanın sonunda fonksiyonlar, parça veya sistemler onaylanır.

6.3.1. Dinamometre testleri ile performans değerlendirmeleri

ABS dinamometreleri her araç için özel bir şekilde tasarlanarak üretilir. Birçok farklı boyutları mevcuttur. Örneğin yolcu araçları için, kamyonlar ve hafif ticari araçlar için ayrı ayrıdır. Fabrikalarda test hattı olarak hattın sonuna yerleştirilerek araçlar test edilmektedir. Bu dinamometreler yüksek seviyede frenleme enerjisi dönüşümünü sağlayarak, fren döngüsünün oluşmasına ve gerçek sürüş durumlarına izin verir.

Araçta frenleme esnasındaki enerji dönüşümü, dönen tamburlarda simüle edilir. Test sistemi ayrıca temel ABS fonksiyonlarının izlenmesini de sağlamaktadır.

ABS test dinamometreleri fabrikalarda araçlara yerleştirilen elektronik kontrollü fren sistemlerini hızlı ve kolay bir şekilde test etmek için kullanılır. Test sonuçları araç üzerinde frenleme performansının yeterli olup olmadığını ve bütün tekerleklerde aynı olup olmadığını, frenleme kuvvetleri ön ve arka akslar için eşit dağıtılıyor mu? ABS valflerine sistemin cevabı nedir? gibi sonuçların bulunmasına izin verir.

6.3.2. Yol testleri ile performans değerlendirmeleri

Fren sistemi parçaları matematiksel model analizleri kullanılarak tasarlanır ve dinamometre testleri ile test edilirler. Ancak bu parça ve sistemlerin araç üzerinde

birbirleri ile kendi çalışma yerlerinde ve şartlarında, çalışma yeteneklerinin test edilmesi gerekmektedir.

Testler kullanıcının da hem fikir olduğu Tasarım Doğrulama Planları (DVP) üzerinde yapılır. Yol testleri yapılacağı zaman, fren sistemi üreticilerine farklı tasarım özelliklerine sahip araçlar sağlanır. Bu araçlar üzerine de her bir araç için farklı fren sürtünme elemanları ve sistem parçaları temin edilmektedir.

Örnek fren elemanları her bir araç için kendi aralarında da test edilerek sonuçta elde edilen veriler dinamometre testleri ile karşılaştırılarak kabul edilir veya edilmez. Gerçek araç üzerinde yapılan testler ile sistemlerin haricen test yapılması sonucunda elde edilen farklar, fren sistemi açısından yorum yapılmasına imkân sağlamaktadır.

Test araçları düzenli ve sürekli veri elde edebileceğimiz test ekipmanları ile donatılır. Aşağıdaki parametreler standart ölçüm verileridir.

- Fren pedal hareket miktarı,
- Fren pedal kuvveti,
- Fren basıncı,
- Araç yavaşlama ivmesi,
- Araç hızı ve durma mesafesi,
- Fren disk, fren akışkanı vb. elemanların sıcaklıkları.

Testler sonucunda elde edilen verilerin analizi için uygun yazılımlar kullanılmalıdır. Objektif analiz yapabilmek için genellikle ölçülen verilere ek olarak fren sistemi ile ilgili 1 den 10 kadar aralıklı performans ölçüm sistemi kullanılmaktadır. Sürücüler ve test elemanları tarafından değerlendirilen bu sistemde 10 daima en iyi sonucu 1 de en kötü sonucu sahip sistemi göstermektedir.

Araçlarda yol testlerinin birçok yapılma sebebi vardır. Bunlar kısaca maddeler halinde şöyle sıralanabilir;

1. Temel ölçümler,
2. Fren balataları sürtünme testleri,
3. Performans testleri,
4. Konfor testleri,
5. Dayanıklılık testleri,
6. Yasal gereklilikler.

Bazı test araçları kemer sistemleri, devrilme koruyucuları, spor koltuklar gibi güvenlik sistemlerine sahiptir. Araç üzerindeki bazı sistemler yeni oldukları için özellikle acil durumlarda gerekli oldukları zaman çalışmaması için kapalıdır. Araçlardaki diğer değişiklikler ise sonradan eklenen araç ölçüm sistemleridir. Araçlardaki ölçüm sistemleri ile genellikle aşağıdaki parametreler ölçülmektedir (Şekil 6.1).



Şekil 6.1. Araç içine yerleştirilmiş veri toplama üniteleri ve test sistemi

- Elektronik kontrol ünitesinden gelen bütün verileri alan dijital ölçüm üniteleri,
- Analog ölçüm üniteleri (aşağıdaki ölçüm sensörlerini içerir),

- 1 Fren pedal hareket miktarı,
- 2 Fren pedal kuvveti,
- 3 Fren basıncı,
 - a. Bütün tekerleklerdeki fren basıncı,
 - b. Merkez silindir basıncı,
- 4 Doğrusal ve yanal ivmelenme,
- 5 Savrulma momenti,
- 6 Direksiyon açısı,
- 7 Araç hızı ve durma mesafesi,
- 8 Sıcaklık (fren elemanları ve fren akışkanı vb.).

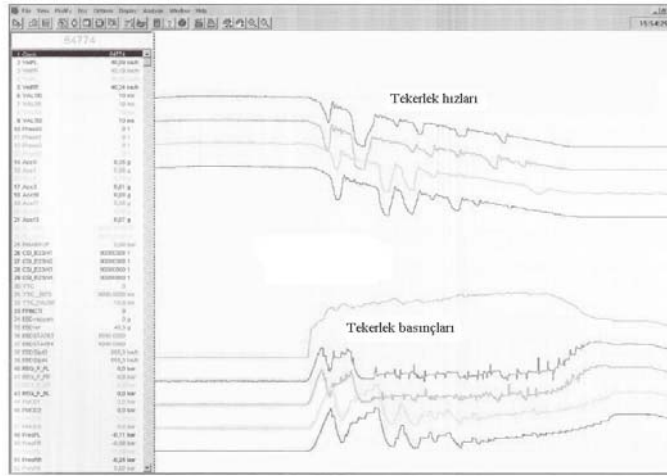
Araç üzerinde verileri kaydetmek ve ekipmanları kontrol etmek için bir bilgisayar ve yazılım olarak bir ara yüz kullanılmaktadır.

Örneğin böyle bir sistemle 8000 dijital, 40 analog ve 100'ün üzerinde CANbus değişkeni çevrim başına (10 ms'de) kaydedilir. Yüzlerce değişken gerçek zamanda veya test bittikten sonra bilgisayarda görülebilmektedir. Testler esnasında bu şekilde elde edilen veriler yeniden analiz sistemlerine yüklenir, analiz edilir ve gerektiğinde işleme konulmaktadır.

Dinamometre ve yol testleri 5. bölümde geniş bir şekilde ele alınmaktadır.

6.3.3. Test değerlendirme yöntemleri

Test değerlendirmeleri toplanan subjektif veya objektif verilere bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Subjektif veriler genelde düzgün bir şekilde toplanır, ortalaması alınır ve raporlanır. Objektif veriler ise bir yazılım ile görsel hale getirilir ve uygun bir şekilde değerlendirilir. Şekil 6.2'de normal ABS fren sisteminin atlamalı (jump) manevradaki değişimi görülmektedir.



Şekil 6.2. ABS fren sisteminin atlamalı (jump), bölünmüş yoldaki veri değişimleri

Bir test serisi değerlendirilirken test raporu teknik rapor veya onaylama raporları bütün sonuçlardan elde edilir. Ek olarak kritik durumlar veya tatmin edilmeyen test sonuçları gelişim durum raporuna (veri tabanına) kaydedilir.

Subjektif değerlendirme

Subjektif değerlendirme manevra yaparlarken sürücülerin izlenimlerini yansıtır. Her sürücünün farklı algı sürüş ve değerlendirme becerileri olduğu için subjektif değerlendirmenin temsili (geçerli) sonuçları elde etmek için birçok sürücü ile gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Burada sistemle ilgili 1 den 10 kadar aralıklı ölçüm sistemi kullanılmaktadır. 10 daima en iyi 1 de en kötü sonucu gösterir. Aşağıdaki değerlendirmeler subjektif olarak elde edilmektedir.

Kontrol edilebilirlik ve kararlılık: Sürücülerin araçtan gelen davranışlara tepkilerinin tespiti açısından önemli olan bir aşamadır. Bu aşamada kişisel kriterler ön plandadır.

Kişisel kriterler;

- I. Geri bildirim/cevap: Sürücünün komutları ne kadar çabuk uygulandı?
Süspansiyon/direksiyon sistemlerinden gelen geri bildirimler ne kadar iyi?

II. Yönlendirilebilirlik: Sürücünün komutlarına araç ne kadar iyi cevap verdi?

III. Kararlılık: Taşıt içe veya dışa savruldu mu?

Konfor: Araç içinde ses ve gürültü açısından rahatsızlık veren faktörler üzerindeki sürücünün tepkisinin tespit edildiği aşmadır.

Duyarlılık: Sürücünün bozuk zemin şartlarından, özel yollardan veya farklı sürüş türlerinden olumlu veya olumsuz nasıl etkilendiğinin sorgulandığı süreçtir.

Objektif değerlendirme

Sürüş manevralarından gelen ölçümlerin değerlendirilebilmesi için, tanımlı özellikler, kullanıcılardan veya testlerden elde edilen değerlerin her birisinin yorumlanması gerekir. Ayrı ayrı veriler olması gereken en iyi değerlerle kıyaslanır.

ABS yol testlerinde objektif değişkenleri aşağıdaki gibi sıralanabilir;

1.Durma mesafesi

2.Yavaşlama ivmesi

3.İvmelenme

4.Kararlılık kriterleri

- Maksimum savrulma oranı,
- Maksimum yanal ivmelenme,
- Maksimum direksiyon açısı,
- Yanal kayma ve devrilme açısı,
- Doğrultu dışına sürüklenme.

Test parametresi olarak sürücü girdisi

Sürüş manevraları esnasında, sürücü etkisini en aza indirmek için sürücülerin hareketleri belirlenir. Sürücü hareketleri 2 türdür.

Birincisi sürücünün manevra yapıp sonrasında herhangi bir hareket yapmaması durumudur. Diğeri ise sürücünün bütün manevra boyunca aktif müdahalelerine izin verilmesi durumudur.

Testlerde sürücü hareketlerini ve müdahalelerini aşağıdaki araç sistemlerin kontrolleri ile birlikte değerlendirmek gerekmektedir.

a. Gaz pedalını konumlandırması;

- Tam gaz pozisyonu,
- Gaz pedal pozisyonu sabit,
- Hızın sabit kaldığı gaz pedal pozisyonu,
- Gaz pedalına basılı değil.

b. Fren pedalı konumlandırması;

- ABS'nin olmadığı normal frenleme,
- Maksimum frenleme / ABS frenlemesi,
- Hızlı ve sert panik frenleme.

c. Vites pozisyonlaması.

d. Direksiyon konumu;

- Sabit direksiyon pozisyonunun devam ettirilmesi,
- Aracı doğrultuda tutmak için direksiyon düzeltmesi,
- Direksiyon açısındaki ani değişiklik,
- Gereğinden fazla direksiyon manevrası sonucu içe veya dışa savrulma eğilimini teşvik etmek,
- Direksiyon çevirme hızı (Hızlı 500 %/saniye den fazla, Normal 200 %/saniye den fazla, Yavaş 200 %/saniye den az).

Testlerde yol yüzey parametresi ve değişimi testlerin en önemli kısımlarından birisini oluşturmaktadır. Farklı zeminlerde etkinlik testlerinde yol şartlarının tespiti ve bu yol

şartlarındaki dinamik kontrollerin önceden hesaplanması gerekmektedir. Test parametresi olarak yol yüzeyi değişkenleri;

- Yüksek tutunma katsayısına sahip yol,
- Normal tutunma katsayısına sahip yol,
- Düşük tutunma katsayısına sahip yol,
- Bölünmüş yol,
- Atlamalı parçalı yol (jump),
- Karmaşık yol olarak sınıflandırılabilir.

Testlerde değerlendirme aşamasında ve test yapılırken dış etkenler olarak adlandırılan araç ve çevre parametreleri göz ardı edilmemelidir. Aracı ve çevresel şartları etkileyen faktörler;

- Çevresel etkiler; hava sıcaklığı gibi,
- Yol yüzeyi,
- Taşıt ağırlığı; Yüklü veya yüksüz,
- Tekerlekler ve şasi'dir.

6.4. ABS Testlerinde Aracın Durma Mesafesine Etki Eden Faktörler

Durma mesafesine etki eden birçok faktör vardır. Bunlardan bazıları aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

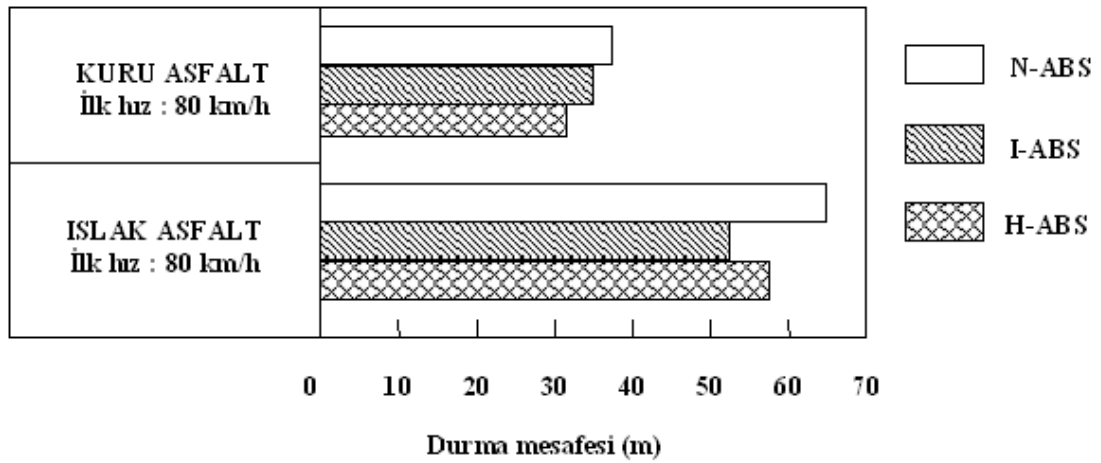
- Fren sistemi ile ilgili faktörler,
- Tekerlek/yol-zemin şartları ve çevre şartları ile ilgili faktörler,
- Sürücü ile ilgili faktörler.

Ön ve arka tekerleklerin kontrol yöntemlerindeki değişikliğin ve yol-zemin şartlarının durma mesafesi ve taşıt kararlılığına etkileri yapılan testlerle açıkça ortaya konulmuştur [1].

Bu amaçla yapılan bir testte kullanılan üç değişik taşıtın özellikleri şöyledir;

- a) N-ABS: ABS kullanılmayan taşıt,
- b) H-ABS: Yüksek duyarlı (Select-high) tekniğinin ön tekerleklerde, düşük duyarlı (select-low) tekniğinin arka tekerleklerde uygulanması,
- c) I-ABS: Bağımsız kontrol tekniğinin ön tekerleklerde, düşük duyarlı (Select-low) tekniğinin arka tekerleklerde uygulanması.

Bu üç tekniğin kullanıldığı taşıt için değişik yol şartlarında alınan durma mesafeleri, Şekil 6.3'de verilmiştir.



Şekil 6.3. Değişik kontrol teknikleri için bulunan durma mesafeleri [50]

Şekil 6.3'de görüldüğü gibi, kuru asfalt yolda yapılan deneyde I-ABS ve H-ABS kullanan taşıtların durma mesafeleri birbirine çok yakın ve N-ABS'ye göre daha kısadır. Islak beton yolda 80 km/h ilk hızda H-ABS I-ABS'ye göre daha uzun mesafede durmaktadır. Buna karşılık, ABS'siz bir taşıta göre de % 10 kadar daha kısa durma mesafesine sahiptir. Ancak, pürüzlü yol şartlarında, ABS'siz bir araç ABS'li araca göre daha kısa durma mesafesi verebilir. Bunun nedenleri aşağıdaki gibi açıklanabilir:

a) Normal, düzgün yüzeyli bir yolun aksine pürüzlü bir yolda yol ile lastik tekerlek arasındaki sürtünme (tutunma) katsayısı çok yüksek olduğundan, kilitleme anındaki tekerlek en yüksek tutunma katsayısı ile yüzeye sürtünürken, aracın daha kısa mesafede durmasını sağlayarak ABS ile kontrol edilen tekerleklere göre daha etkili bir frenleme ortaya koymaktadır.

b) ABS'nin pürüzlü yüzeylerde tekerlekleri kontrol etmesi sırasında, sürekli değiştirilen tekerlek devri, yani zaman zaman azaltılan frenleme kuvveti dolayısıyla durma mesafesi daha uzun olmaktadır. Ancak, "yüksek duyarlı" olarak bilinen ve her iki taraftaki tekerleği kilitlemeden sonra kontrol eden teknikle daha kısa duruma mesafesi sağlanabilir.

Maksimum frenleme kuvvetini ve buna bağlı olarak durma mesafesini etkileyen en önemli faktör, yol ile tekerlek arasındaki tutunma katsayısıdır. Değişik yol yüzeylerinin etkisi ile farklı sürtünme/kayma eğrileri oluşmaktadır. Zemin şartlarına göre çok farklı frenleme kuvveti katsayısı ortaya çıkmaktadır. Tutunmanın düşük olduğu ortamda, ister ABS'li isterse ABS'siz taşıt olsun, istenilen kısa durma mesafesini elde etmek mümkün değildir. Ancak, kaygan yol şartlarında ABS'li bir araç, tekerleklerin kızaklanması önlendiği için optimum frenleme ve tutunma sağlayacağından daha kısa durma mesafesi verecektir. Yol-tekerlek tutunma değerlerini ve buna bağlı durma mesafelerini etkileyen diğer şartlar, tekerleklere gelen düşey yükler, tekerlek diş derinliği, zemindeki su seviyesi gibi faktörlerdir [1].

7. GELİŞTİRİLEN ABS TEST SİSTEMİ VE METODU

7.1. Geliştirilen ABS Test Sistemi

Yol testleri esnasında şartlarda meydana gelen değişiklikler ve testlerde aynı parametreler üzerinden değerlendirme yapma imkânı çok düşüktür. Hatasız ve objektif değerlendirmeler için test şartlarının ve parametre değişkenlerinin kesinlikle benzer değişimler göstermesi gerekmektedir. Yeni tasarlanan test düzeneği ile her araç üzerinde ABS donanımı aynı şart ve parametrelerde test etme imkânı ortaya çıkmıştır. Yapılan testlerde önceden oluşturulan test matrisleri üzerinden hareketle her araç için aynı prosedürler uygulanmıştır.

Aracın farklı tekerleklerinde, farklı kayma değerleri oluşturularak elde edilen frenleme şartlarında, taşıtın yol şartlarında geliştirebileceği yavaşlama ivmesi gibi değerler sabit tutulmuştur. Sabit tutulan ivme değişimlerinde de ABS etkinlikleri ayrıca gözlemlenmektedir. Bunun sonucunda ise aynı test için yavaşlama ivmesi değişiminin farklılıklarından kaynaklanan kontrol değişimleri ortadan kaldırılmıştır. Ayrıca ivme değişimi de diğer parametre olarak ortaya çıkmıştır. Bir diğer değişken olan fren pedal kuvveti değişiminin ABS fren sistemi üzerindeki etkileri de incelenerek ABS'ye etkileri gözlemlenmiştir. Farklı araç hızları ve hız değişim miktarları da simüle edilerek aracın hız değişkenine bağlı olarak frenleme etkinliği de incelenmiştir.

Çalışmadan elde edilen deneysel verilerden taşıt test ekipmanları ile ABS donanımlı otomobillerin frenleme esnasındaki fren basınç değişimleri gözlemlenerek bu değişimlerin aracın dinamik yapısına etkileri hakkında yorumlar elde edilmiştir. Farklı hızlarda, farklı pedal kuvvetlerinde ve farklı yavaşlama ivmelerinde ABS'li taşıtların fren performansları ve kontrol teknikleri incelenmiştir. Farklı kontrol tekniklerine sahip araçlarda frenleme parametrelerinin birbirlerine göre değişimlerini bu sistemle incelemek mümkün olmaktadır.

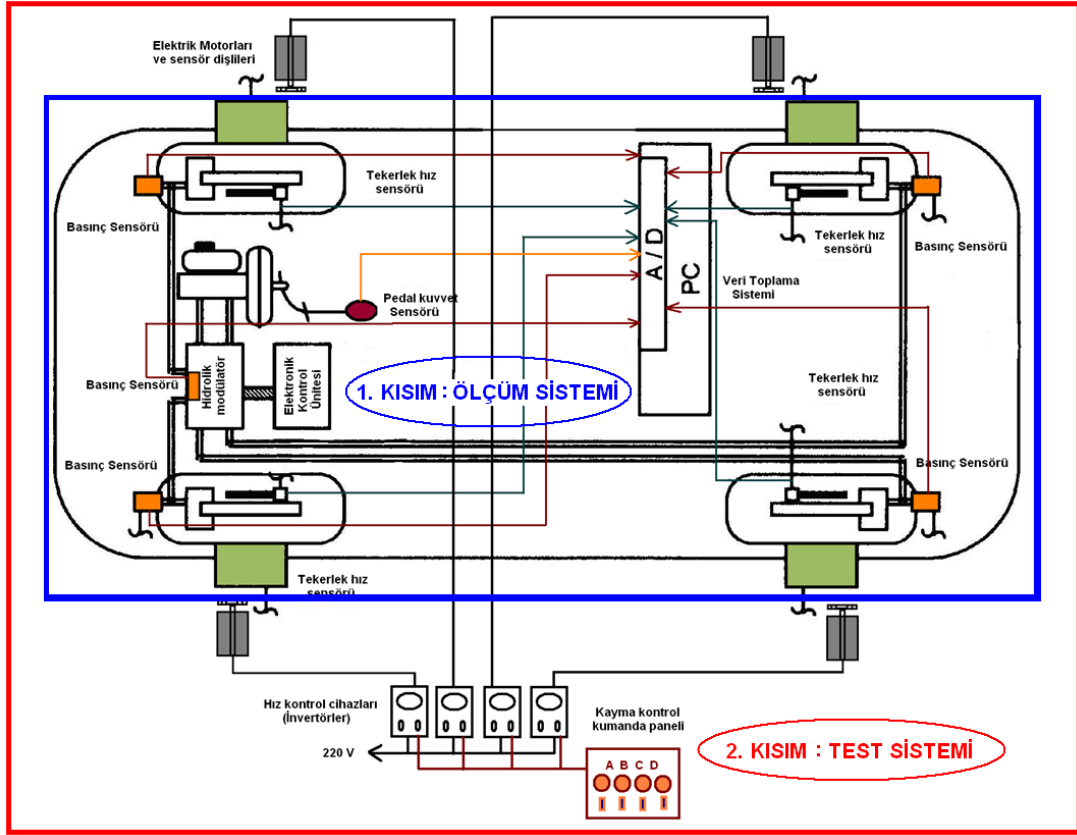
Özellikle farklı zemin şartları ve bölünmüş yol testleri ABS kontrol tekniğini inceleme açısından çok büyük önem arz etmektedir. Ülkemizde mevcut çalışma yapılacak pistlerde bölünmüş yol şartlarını temin etmek oldukça zordur. Fren performansına etki eden parametrelerin birbirleri ile ilişkilerini inceleyip, bu parametrelerin ABS'nin çalışmasında ne derece etki ettiğini ifade edebilmek için yol şartlarının değişiklikleri testlerde önemli bir faktör olmaktadır. Bu sınırlılıklardan dolayı laboratuvar ortamında oluşturulan ve çok farklı şartların test edilebildiği bir sistem oluşturulmuştur.

ABS etkinliğine yönelik yeni geliştirilen bu test metodolojisinde sistem temel düzeyde 2 kısımdan meydana gelmektedir.

1. kısım araçta yol şartlarının oluşturulması için gerekli parametrelerin sağlandığı yol simülatörü ve kayma kontrol ünitesi,
2. kısım ise gerekli şartların oluşturulmasından sonra elde edilen verilerin toplanması ve işlenmesini sağlayan veri toplama ünitesidir (Şekil 7.1).

Test yapılan araçlarda frenleme parametreleri değiştirilerek aynı şartlarda testler gerçekleştirilmiştir. Yine benzer şartlar farklı araçlar içinde oluşturulabilmektedir. Bu çalışmada testlerde kullanılan frenleme değişkenleri ve bunların birbirleri ile olan değişimleri sonucunda her araç için 168 test gerçekleştirilmiştir. Toplamda 504 test yapılarak cihaz testleri tamamlanmıştır. Bu testlerin birçoğu benzer kontroller sonucunda aynı sonuçları vermektedir. Bundan dolayı değerlendirme aşamasında elde edilen farklı sonuçlara göre testler gruplara ayrılmıştır.

Yol şartlarındaki farklılıkları tespit edip cihaz testleri ile karşılaştırma yapabilmek için temel düzeyde yol şartlarında da testler gerçekleştirilmiştir. ABS fren basınç ve pedal kuvvet değişimleri açısından benzer değişimlerin elde edildiği yol testleri cihaz testlerinin doğrulanmasında araştırmacılara iyi bir fikir sağlamaktadır.



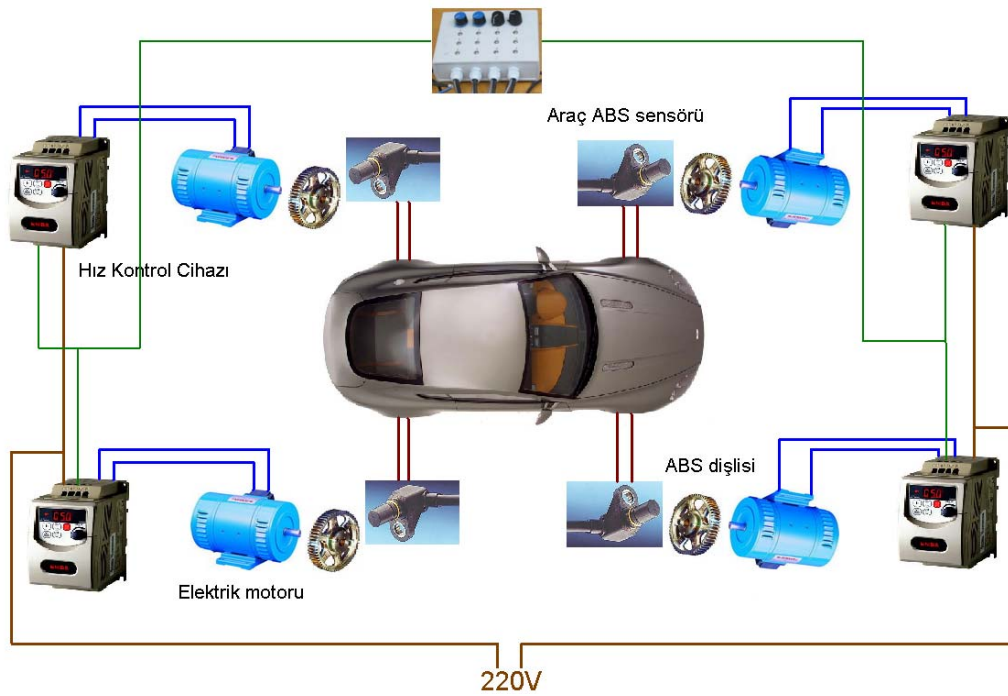
Şekil 7.1. Geliştirilen test sistemi (1.kısım veri ölçüm, 2.kısım yol simülasyon sistemi)

7.1.1. Yol şartlarının sağlandığı test simülasyonu

Şekil 7.2’de görülen şematik test sisteminde 2.kısım olarak adlandırılan ve içerisinde tekerlek hız tamburları ve hız kontrol cihazları ile birlikte kayma kontrol paneli bulunan sistemlerin tamamı yol simülasyonu olarak adlandırılmıştır.

Bu sistemde yol şartlarındaki tekerlek hızları her bir tekerlek için elektrik motorları üzerine yerleştirilmiş dişli tamburlar ve indüktif sensörler ile sağlanmaktadır (Şekil 7.3). Elektrik motorlarını kontrol eden invertör (hız kontrol) cihazları ile tekerlek hızlarındaki değişimler simüle edilmektedir. Kullanılan sensörlerin bağlantı uçları araç sensör bağlantısı çıkarılarak onun yerine bağlanmaktadır. Dolayısı ile tekerleğin hareket halinde ürettiği hız sinyalleri artık simülasyon motorları ve sensörleri üzerinden üretilmektedir.

Simulator motorlarının hız ve ivme değişimlerini istenildiği gibi değiştirebildiğinden araçta yol şartlarında frenleme esnasında oluşan hız farklılıkları oluşturulabilmektedir. Aracın kendi sensörlerinde üretilen hız sinyalleri elektronik kontrol ünitesine gitmektedir. Araca test sistemi bağlandığında artık test cihazının sensörlerinden gönderilen sinyaller sisteme gitmektedir.



Şekil 7.2. Yol simülatör sisteminin araca monte edilmiş şematik gösterimi

Gönderilen sinyallerin özellikleri elektronik kontrol ünitesinin algılayabildiği sinyallerin aynısı olmak mecburiyetindedir. Aksi durumda aracın hem ABS kontrol ünitesine hem de bütünleşik kontrol ünitesi olması halinde aracın bütün kontrollerini sağlayan elektronik kontrol ünitesine (ECU) zarar verilebilir. Bu noktada en önemli husus araç üzerindeki sensörün tipinin belirlenmesi ve ona uygun sensör kullanılmasıdır. Aynı tip sensörlerin bulunamaması durumunda aracın kendi sensörleri de sistemde kullanılabilmektedir.



Şekil 7.3. Hız kontrollü simülatör motorları ve indüktif sensör bağlantısı

Hız simülatör motorlarından sistemde 4 adet kullanılmaktadır (Şekil 7.4). Elektronik kontrol ünitesi bu 4 adet motordan elde edilen tekerlek hızlarının ortalama hızlarından referans taşıt hızını hesaplamaktadır. 4 adet motoru hız kontrol cihazları, hız kontrol cihazlarını da kayma kontrol paneli kontrol etmektedir. Frenleme esnasında meydana gelen kayma bu motorlar arasındaki hız farkı ile oluşturularak kontrol ünitesinin bu esnadaki kayma kontrolü gözlemlenmektedir.



Şekil 7.4. Yol simülatörü (hız kontrol cihazları, simülatör motorları, sensörler ve kayma kontrol paneli)

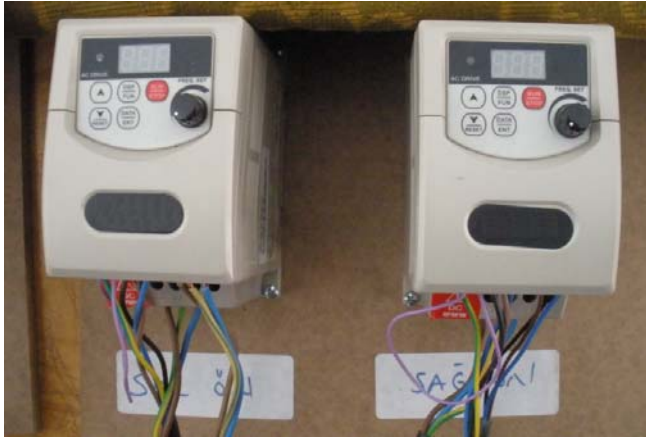
Simulator motorlarının hızları, yavaşlama, hızlanma süreleri ve bu değişimlerdeki ivmeleri her bir motor için bir hız kontrol cihazı (invertör) ile kontrol edilmektedir. Sistemde kullanılan invertörler frekans kontrollü hız invertörleridir. Genellikle otomasyon kontrolünde kullanılan invertörler bilgisayar yardımı ile programlana bildikleri gibi kendi üzerlerinde bulunan fonksiyon özellikleri ile de istenilen hız değerlerine ayarlanabilmektedir (Şekil 7.5). İvme değişkenlerinin ayarlanabilmesi sistemde frenleme esnasında tekerleklerde oluşan yavaşlama ivmelerini oluşturabilmektedir. Önceden araç sınıfına kütesine göre tespit edilmiş bir yavaşlama ivmesi değişimini kontrol cihazları ile hız simulatorlerine uygulatabilmektedir.



Şekil 7.5. Hız kontrol (invertör) cihazları ve kayma kontrol paneli

Test cihazında kullanılan hız kontrol cihazlarında (Şekil 7.6) dâhili bir hafıza bulunmaktadır. Bu hafıza üzerine kaydedilen bilgiler doğrultusunda zamana göre programlanmış işlemleri yerine getirmektedir. Frenleme işlemi ile birlikte tekerleklerde hız azalması meydana getirmek için veya frenlemeden hemen sonra kayma oluşturmak için önceden belirlenen hız bilgileri cihazlara kaydedilmiştir. Aracın ABS sisteminin aktif olmasını müteakip test edilecek tekerlek veya tekerleklerdeki ivme değişimleri de cihazlara önceden programla belirlenen ivme

değerine göre işlemler otomatik olarak kontrol edilmektedir. Hız kontrol cihazları teknik özellikleri ve cihaz kontrolleri için yazılan program Ek 1’de verilmiştir.



Şekil 7.6. Test sisteminde kullanılan ön tekerlek kontrollerini gerçekleştiren hız kontrol cihazları (invertör çifti)

Hız kontrol cihazlarında programlanan hız ve ivme değişimleri kayma kontrol ünitesi olarak adlandırılan kontrol panelindeki butonların kontrolüne bağlanarak test sürücüsü tarafından araç içerisinde rahatlıkla kontrol edilebilmektedir (Şekil 7.7). Test sürücüsü araç içerisinde kayma kontrol panelini testler esnasında aktif kullanarak aracın farklı tekerleklerinde farklı hız ve ivme değişimleri meydana getirebilmektedir. Bu esnada pedal kontrolünü de buradan gerçekleştirerek verileri kaydetme imkânına sahiptir.



Şekil 7.7. Kayma kontrol paneli ve örnek kayma değer butonları (%15, 25, 35)

Yol test simülatör kısmındaki simülatör motorları ve hız kontrol cihazları 220 V gerilim ile çalışırken kayma kontrol paneli 12 V ile çalışmaktadır. Üzerinde bulunan her bir tekerlek için 4 adet potansiyometreler ile tekerlek hızlarında istenilen bütün değerler çok hassas bir şekilde ayarlanabilmektedir. Hız kontrol cihazlarında 0-50 Hz frekans kontrolünde motorlarda 3600 min^{-1} değişim 0,001 Hz kontrol ile gerçekleştirilmektedir.

Ayrıca hız kontrol cihazlarına RS 232 bağlantısı ile bilgisayar programında değişiklikler yapılarak yine 0-50 Hz frekansta hızın iki katına kadar yükseltilebilen bir değişiklik yapılabilir. Tekerlekteki frenleme ivmesi veya hareket esnasındaki hızlanma ivmesi ise hız kontrol cihazlarının belirlenen frekanslar arasındaki hızlanma ve yavaşlama zamanlarının programlanması ile mümkün olmaktadır. Örneğin testlerde 5 m/s^2 ve 8 m/s^2 yavaşlama ivmeleri kullanılmıştır. Hız değişimleri ise 50 km/h ve 100 km/h'dir. Bu hızlara göre frekans ve ivme değişimleri Çizelge 7.1'de gösterilmektedir. Tablodaki maksimum hızlanma ve yavaşlama süreleri simülasyon motorlarının 0'dan 50 km/h veya 100 km/h hıza çıkma ve frenlerken de aynı ivme ile durana kadar geçirdikleri maksimum sürelerdir. % 15, 25 ve 35 kayma değerlerine düşene kadar geçen sürelerde bu tablo üzerinden hesap edilmektedir.

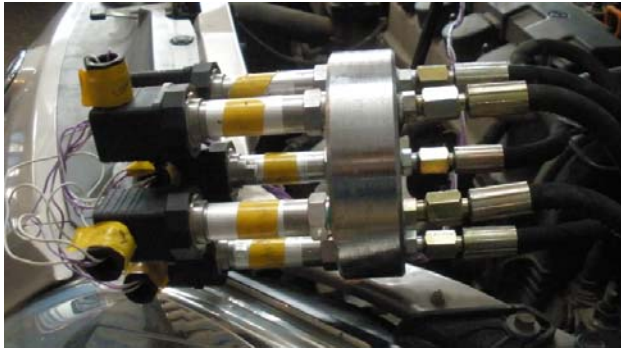
Çizelge 7.1. Hız kontrol cihazlarındaki test hızlarının ve ivme değişimlerinin örnek hesaplanmış frekansları, hız değişim süreleri

	Kayma değeri		
Hız / Frekans	% 15	% 25	% 35
50 km/h - 6,79 Hz.	5,7715 Hz.	5,0925 Hz.	4,4135 Hz.
100 km/h - 12,23 Hz.	10,3955 Hz.	9,1725 Hz.	7,9495 Hz.
	Hızlanma ve yavaşlama süreleri		
İvme değerleri	0-50 km/h	0-100 km/h	
5 m/s^2	2,357 saniye	3,333 saniye	
8 m/s^2	1,863 saniye	2,635 saniye	

7.1.2. Veri ölçüm ve analiz sistemi

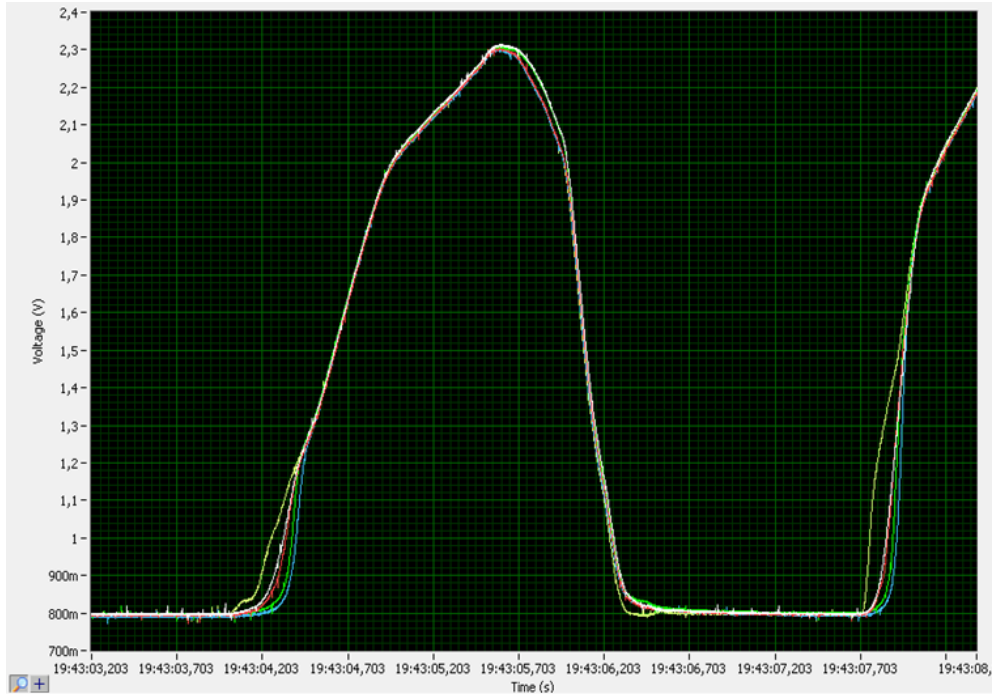
1. kısım olarak adlandırılan veri ölçme sistemi, yol simülasyon ünitesinde gerekli frenleme şartlarının oluşturularak elektronik kontrol ünitesine gönderilmesinden sonra sistemde meydana gelen basınç, tekerlek hızı ve fren pedal kuvveti değişimlerini analiz için geliştirilmiş sistemdir. Sistemin temel elemanları basınç ölçümleri için kullanılan basınç sensörleri, fren pedal kuvvet sensörü ölçüm ünitesi, tekerlek hız ölçüm bağlantıları, veri toplama kartı, bilgisayar ünitesi, veri analiz programları ve güç kaynaklarından meydana gelmektedir.

Basınç ölçüm ünitesi tekerleklerin ABS hidrolik modülatörü tarafından frenleme esnasında nasıl kontrol edildiğini ve sistem basınçlarının nasıl değişim gösterdiklerini incelemek için geliştirilmiş bir ölçüm tekniğidir. Her bir tekerleğin ayrı ayrı kontrol edildiği ve ayrıca bunlar ile birlikte değişim gösteren sistem basıncının kontrol edildiği basınç ölçüm sistemi (akümülatör) yapılmıştır (Şekil 7.8).



Şekil 7.8. 5 adet basınç sensörü ve hidrolik bağlantıları bulunan basınç akümülatörü

Akümlatör üzerine yerleştirilen basınç sensörleri hidrolik bağlantı ve parça elemanları ile ABS modülatörüne bağlanmaktadır. Sensörlerden alınan veriler, veri toplama kartının 5 farklı kanalına gönderilmektedir. Veri kartından alınan bilgiler analiz programında filtre edilerek ve değerlendirilerek basınç değişim eğrilerine dönüştürülmektedir. Frenleme şartlarının olmadığı durumlarda basınç akümülatöründen elde edilen basınç eğrileri Şekil 7.9'da görülmektedir. Basınç sensörleri ile ilgili teknik bilgiler Ek 2'de verilmiştir.



Şekil 7.9. Örnek alınmış işlenmemiş basınç sensörlerinden gelen basınç sinyalleri

Basınç ölçüm ünitesi aracın hidrolik modülatör bağlantılarına göre 1 giriş kanalı 4 çıkış tekerlek kanalları üzerine yerleştirilmektedir. Fren güçlendirici sistemi bulunan araçlarda çift kademeli ve pompa kontrollü basınç artışı söz konusu olduğu için araç model ve markasına göre 2 giriş basınç sensörü de kullanılabilir. Şekil 7.10'da basınç ölçüm akümülatörünün örnek bir test aracına bağlantı şekli görülmektedir.



Şekil 7.10. Hidrolik modülatöre basınç ölçüm sisteminin monte edilmiş hali

Hidrolik modülatördeki basınç artışı pedal kuvvetine göre değişim göstermektedir. Hidrolik modülatör ünitesi aracın çalışıp çalışmama durumuna göre sistemde basınç artışına müdahale etmemektedir. Araç çalışmasa dahi tekerleklerde fren basıncı artışı pedal kuvveti artışı ile elde edilebilmektedir. Ancak sadece konvansiyonel fren sistemi devrede ve sadece frenleme etkisini o oluşturmaktadır. Aracın çalışması ile sürücü panelindeki ABS lambası söndüğü zaman artık ABS aktif kullanıma geçmiştir. Yani frenleme anında kayma algılandığı zaman ABS sisteme müdahale edecektir.

Fren pedal kuvveti değişimleri sürücülere göre farklılıklar arz etmektedir. Genellikle üretici firmalar sürücülerden ABS fren sistemi kullanılan araçlarda fren pedalına sonuna kadar basmaları konusunda uyarmaktadırlar. Bundan dolayı test cihazında sürücülerin pedal kuvvetini düşük veya yüksek uygulamalarındaki ABS etkinliğinin değişimini gözlemlemek için veri alma işlemlerinde bir pedal kuvvet ölçüm sisteminden yararlanılmıştır (Şekil 7.11). Pedal kuvvet ölçüm sisteminde pedala yerleştirilen bir kuvvet sensörü (loadcell) bulunmaktadır. Yük hücresi (loadcell) ölçümlerinde genellikle loadcell bir strain gauge köprüsü üzerine bağlanarak kullanılmaktadır. Bu işlem için hazır bir strain gauge giriş modülü (ADAM 3016) kullanılmıştır. Modül aracın içerisine yerleştirilen 2 adet 12V'luk akü sayesinde 24V ile beslenmektedir.



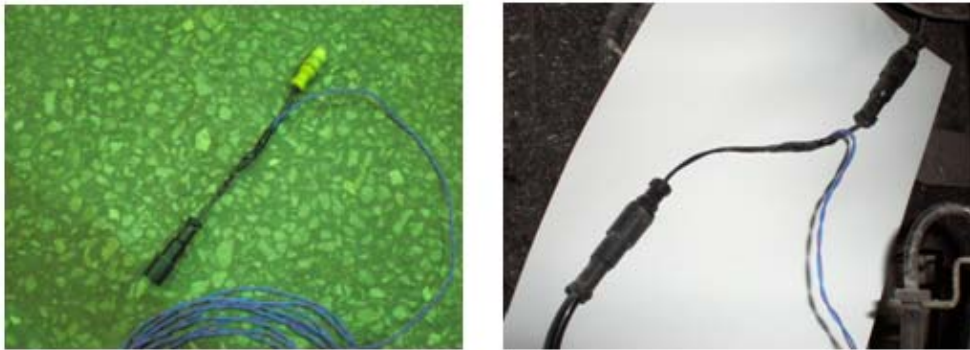
Şekil 7.11. Pedal kuvvet sensörü, ADAM 3016 modül ve araç üzerindeki görünüşü

Fren pedalı üzerine takılan pedal kuvvet sensöründen elde edilen veriler ADAM 3016 üzerinde gerilim sinyallerine dönüştürülerek veri toplama kartına aktarılmaktadır. Testlere başlamadan önce kalibrasyon ağırlıkları (Şekil 7.12) ile kalibre edilen ölçüm sistemi kullanılmıştır.



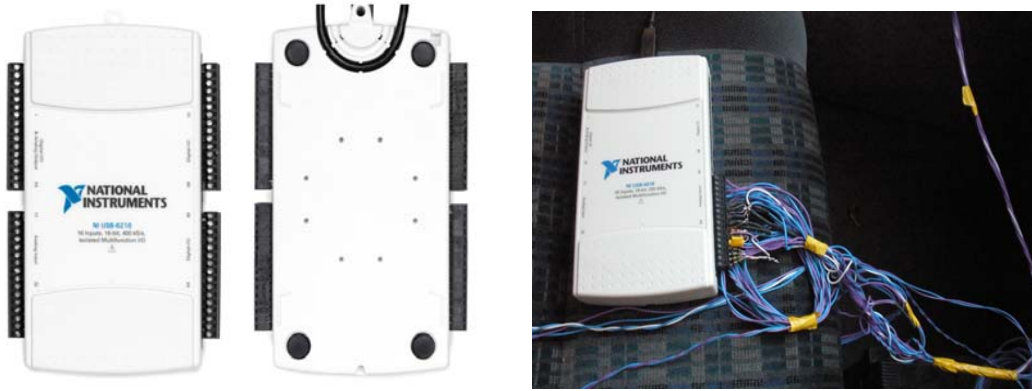
Şekil 7.12. ADAM 3016'nın ağırlık kontrolü ile kalibrasyon ayarı

Yol simülatöründe kullanılan motorların başlangıç hızları ve son ulaşmaları gereken hızlar (kayma değerlerine göre) belli olduğu için tekerleklerden ayrıca bir hız verisi kaydetme ihtiyacı olmamaktadır. Ancak sistemin kontrolü açısından simülatör sensörleri ile araç kontrol ünitesi arasındaki soket bağlantılarına bir ek bağlantı adaptörü yapılarak istenildiği zaman tekerlek hızları da kontrol edilebilmektedir (Şekil 7.13).



Şekil 7.13. Hız sensörleri ara bağlantı soketleri

Hidrolik modülatöre bağlı basınç sisteminden gelen basınç verileri, pedal kuvveti verileri ve hız verileri farklı kanallardan veri toplama kartına gelmektedir. Sistemde 64 kanallı saniyede 250.000 veri alan NI 6216 USB bağlantılı bir veri toplama kartı kullanılmaktadır (Şekil 7.14). Kartın özellikleri detaylı olarak Ek 3’de verilmiştir.



Şekil 7.14. NI 6216 USB bağlantılı veri toplama kartı

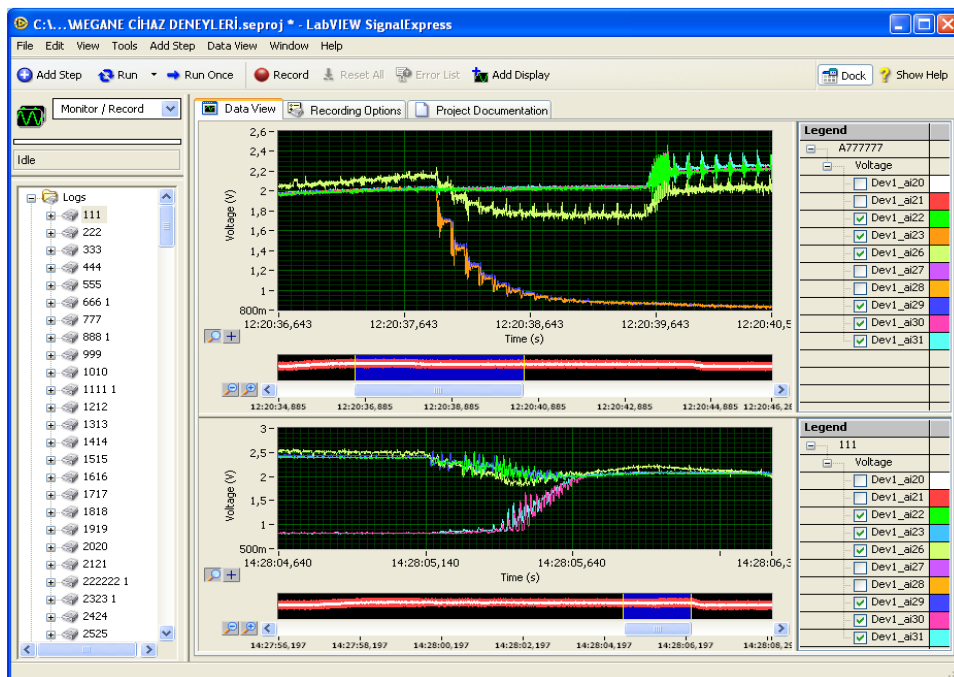
Özellikle ABS’de basınç değişimlerinin saniyenin 1/10’u gibi kısa bir sürede değiştiği düşünülecek olursa alınması gereken veri hızının çok yüksek olması gerektiği anlaşılmaktadır. Veri toplama kartı ile birlikte araç içerisinde AMD Turion 64X2 1,7 GHz işlemci ve 1 GB Ram bulunan bir bilgisayar kullanılmaktadır (Şekil 7.15).

Veri toplama kartı ile bilgisayara aktarılan veriler LabVIEW SignalExpress 2.5 programında işlenerek analizleri yapılmaktadır. Gelen sinyallerden karakteristikleri bozulmadan filtre edilerek elde edilen veriler programın grafik ara yüzü ile görsel hale getirilmektedir. Daha sonra program üzerinde hangi verilerin basınç, hız ve kuvvet verileri olduğu tanımlanmaktadır.



Şekil 7.15. Veri toplama kartı, bilgisayar sisteminin araçtaki bağlantısı

Program aracılığı ile veriler her bir kanal için Excel formatına dönüştürülebildiği gibi grafik özelliklerinden faydalanarak çok küçük zaman aralıklarındaki veri değişimleri de gözlemlenebilmektedir. Örnek bir grafik gösterimi ve analizi Şekil 7.16’da görülmektedir.



Şekil 7.16. LabWIEV Signal Express programında verilerin işlenmiş grafik hali

7.2. Test Prosedürü ve Test Sisteminde Dikkat Edilecek Hususlar

ABS testleri yapılacak araç üzerine test sistemi yerleştirilmeden önce aracın ABS donanımı üzerindeki elektrik bağlantıları ve elemanları ayrı ayrı kontrol edilmelidir. Araç üzerindeki donanımların elektrik ve hidrolik bağlantılarının şemaları incelenmelidir. ABS’de kullanılan hız sensörleri, çeşitleri ve bağlantı noktaları tespit edildikten sonra sistemin kanal sayısı ve her bir tekerlekteki için basınç kontrolünü nasıl? yaptığı belirlenmelidir.

Hız sensörlerinin bağlantıları tespit edildikten sonra bağlantı konnektörlerinden aracın kendi sensörleri çıkarılmalıdır. Daha sonra bir avometre ile bu sensörler arasında ortak bir bağlantı (şase) olup olmadığı kontrol edilmelidir. Yine avometre ile sensörlerin çeşidine göre çalışma gerilimleri veya hıza bağlı olarak değişen direnç değerleri ölçülmelidir. Birçok araçta kullanılan hız sensörlerinin şaseleri ortak bağlantılı olduğundan dolayı ortak şase tespit edilmeden haricen bağlanacak sensörler sisteme zarar verebilmektedir. Ayrıca diğer sensörlerinde elektronik kontrol ünitesi tarafından zarar görmesine sebep olmaktadır. Özellikle aracın kendi ABS donanımına zarar vermemek ve sistemi kontrol dışı bırakmak için bu hususa dikkat edilmelidir.

Hidrolik modülatör elektrik bağlantılarına müdahale edilmemelidir. Sadece modülatör üzerinde giriş ve çıkış kanalları tespit edilerek hangi kanalın hangi tekerlek veya tekerleklere ait olduğu tespit edilmelidir. Günümüzde birçok araç üzerindeki modülatör çıkışları her bir tekerlek için ayrı ayrı olabildiği gibi bazı eski araçlarda ortak solenoid valf kullanımı olduğundan çıkışlarda ortak olmaktadır. Bu durumda hangi basınç sensörlerinin nerelere yerleştirileceği tespit edilmelidir.

Basınç sensörlerini ölçüm ünitesi üzerine kanal sayısına göre bağladıktan sonra ölçüm sistemi hidrolik modülatöre rekor ve hortumlar vasıtası ile bağlanır. Burada da en önemli husus modülatör seviyesinden çok yüksekte olan sensörlerde ölçüm yanlışlıkları veya hataları ortaya çıkmaktadır. Bundan dolayı sensörlerin mümkün

olduğu kadar hidrolik modölatör ünitesine yakın olması gerekmektedir. Ayrıca basınç sensörlerinin de bir gerilimle beslenmesi gerekir. Bunun için ayrıca bir 12V'luk akü kullanılmalıdır. Araç çalışırken testler gerçekleştirileceği için akü gerilimlerindeki değişimler basınç sensörlerindeki ölçüm hassasiyetini de değiştirecektir ve dolayısı ile yanlış ölçümlere sebebiyet verebilecektir.

7.2.1. Test işlemine hazırlık

Testler esnasında araç üzerinde yapılacak işlemleri aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür;

- Araç düz bir zemin üzerinde veya lift türü platformlar üzerinde test edilmelidir.
- Araç testlerine başlanmadan önce hız sensörü çeşitleri ve bunların bağlantı noktaları tespit edilmelidir.
- ABS hidrolik modölatöründe ve fren sisteminde kullanılan hidrolik akışkanın türü (DOT 4,5, pentosin) tespit edilerek yedek olarak bu akışkandan bulundurulmalıdır.
- Hidrolik modölatör bağlantıları sökülürken kesinlikle fren pedalına basılmamalıdır. Birçok hidrolik modölatörde çıkış kanalları açıldığı zaman sistem hava almamaktadır. Fakat bazı araçlarda sistemdeki hidrolik boşaldığı için hidrolik konulduktan sonra hava alma işlemi gerçekleştirilmelidir.
- Aracın aküsünün şarj durumu kontrol edilmelidir. ABS testleri esnasında sürekli solenoid valfler ve hidrolik modölatöre bağlı elektrik motoru akım çekmektedir. Bu esnada aküdeki problemler sistemin çalışmasını etkileyebilecektir.
- Tekerleklerdeki sensörlerin çeşitleri tespit edildikten sonra araç uygun sensörler hız motorları üzerine yerleştirilerek araç üzerindeki pozisyonlarının aynısı olacak şekilde dişli ile aralarındaki boşluk ayarı yapılmalıdır.
- Araç üzerinde poyrada bulunan dişli sayıları belirlenerek test sistemindeki dişli ile sayıları karşılaştırılmalıdır. Eğer aralarında farklılıklar varsa bu fark

oranına göre elektrik motorlarının dönüş hızları ayarlanmalıdır. Birçok araçta ön ve arka tekerleklerde tamburlardaki diş sayıları aynı iken bazı araçlarda ön ve arka tekerlekler arasında dişli çap ve diş adet farklılıkları görülmektedir.

- Tekerlek simülatörlerini kontrol eden hız invertörlerinden her bir tekerlek için test hızlarına karşılık gelen değerler belirlenmeli ve invertörlerin hafızalarına kaydedilmelidir.
- Kayma kontrol panelinde bulunan butonlarda testlerde kullanacağımız kayma değerleri (%15,25 vb.) tespit edilerek bilgisayar programında ayarlanarak sisteme yüklenmelidir.
- Hız kontrol sistemlerindeki test hızları ve kayma değerleri ayarlandıktan sonra sistem çalıştırılarak simülatör motorları kontrol edilmelidir. Bu kontrolde ilk bağlantı esnasında takometre ile devir kontrolü en iyi yöntem olarak tavsiye edilmektedir.
- İvme değişkenleri için ayarlamalar yapıldığı zaman yine simülatör motorlarının zamana göre hız değişimleri gözlemlenmelidir.
- Birinci aşamada sensör, tekerlek simülatörleri ve hız kontrol cihazları bağlanıp test edilirken araç kesinlikle çalıştırılmamalıdır. Aksi halde tekerleklerdeki sensörler söküldüğünde elektronik kontrol ünitesi ABS donanımını arıza durumuna geçirmektedir.
- İkinci aşamada veri toplama sistemi kurulmalıdır. Araç üzerinde basınç sensör bağlantıları yapıldıktan sonra veri toplama kartına bağlanmalıdır.
- Fren pedal kuvvet sensör bağlantısı için pedal üzerine takılan bir aparat yapılmıştır. Bu aparat üzerine takılan sensör straingauge modülüne bağlanarak 24 V gerilim ile beslenmelidir.
- Tekerlek sensörlerindeki bağlantı konektörlerinden gelen hız verilerini de almak için ara bağlantılar yapılabilir.
- Bütün veri toplanan sistemlerden veri kartına gelen verilerin anlamlandırılabilmesi için analiz programı SignalExpress’de gerekli basınç, kuvvet ve hız tanımlamaları yapılmalıdır.

- Test sisteminde testler esnasındaki işlem basamakları aşağıdaki sıra ile uygulanmalıdır;

- ABS simülatör ve veri toplama sistemleri bağlantıları tamamlandıktan sonra ilk önce simülatör çalıştırılarak tekerlekler istenilen hız değerlerine getirilmelidir. Daha sonra araç çalıştırılarak servo güç ünitesinin pedal kuvvetini artırması sağlanmalıdır.
- Belirlenen hız değerlerinde düşük veya yüksek pedal kuvvetleri uygulanarak frenleme yapılmalıdır. Ancak bu durumda tekerlekler aktif hareket etmediği için bütün sistem ve tekerleklerde basınç değişimleri lineer değişim göstermelidir.
- Kayma kontrol panelinden önceden belirlenen kayma değerinde hangi tekerlekte ne kadar kayma oluşturulacaksa o değerlere göre sistem çalıştırılmalıdır.
- Bu esnada elektronik kontrol ünitesi kayma değeri kritik sınırlara ulaşana kadar değişikliklere cevap vermeyebilir, ancak o araç için üreticinin belirlediği kritik kayma değerlerine ulaştığı zaman modülatör devreye girer ve basınç değişimleri veri olarak sisteme gönderilebilir.
- Gerek fren pedalında gerekse hidrolik modülatör bağlantılarında titreşim, elektrik motoru çalışma sesi gibi değişimler test elemanı tarafından hissedilebilir.
- İstenildiği kadar bu basınç değişim verileri kaydedilebilir. Ancak normal kullanımda araç üzerindeki gerek solenoid valfler gerekse elektrik motorları çok kısa sürelerde çalışmaktadırlar. Gerçek frenleme şartlarında çok yüksek hızlarda dahi panik frenlemelerde maksimum 10 saniye civarında çalıştıkları için sistem çok fazla akım ve gerilim değişimlerine maruz kalmamaktadır. Bundan dolayı test sistemi üzerinde de test süresinin gereğinden fazla uzatılması sistem elemanlarına zarar verebilir.
- Test işlemi tamamlandıca veri toplama sistemi durdurulur.
- Fren pedalı bırakılarak araç motoru durdurulur.

- Simülatör motorları durdurulur.
- Araç motoru durdurulmadan (kontak kapatılmadan) simülatör motorları durdurulur ise araç, ABS'yi yine arıza moduna geçirmektedir.
- Bütün işlemler tamamlandıktan sonra değişimleri analiz etmek için bilgisayar analiz programından yararlanılarak veriler anlamlandırılır.

İşlem basamakları genellikle bütün araçlar için değişmez bir uygulamadır. Bazı araçlarda kullanılan sistem farklılıklarına göre sensör ve modülatör bağlantılarında değişiklik olmaktadır. Bunlar içinde universal bağlantı adaptörü ve bağlantı şekilleri tasarlanabilir. Testler esnasında ABS arıza lambasının yanması genellikle bu işlem basamaklarının sıra ile uygulanmamasından kaynaklanmaktadır. Bu durumda aracın kendi sensörlerinin takılıp aracın yaklaşık 100-150m hareket ettirilmesi gerekmektedir. ABS arızaları genellikle geçici arıza değerlendirmeleridir. Kalıcı sistemden kaynaklı bir problem varsa arıza giderilmeden lamba sönmez ancak bu tür test uygulamalarında sistem elemanlarından tekrar sinyal gelmesi sistemi kısa bir süre sonunda aktif hale geçirmektedir.

7.2.2. Kayma, hız ve pedal kuvveti değişkenlerinin uygulanması

Frenleme başlangıç hızının yani frenleme esnasındaki aracın sahip olduğu hızın, bu esnada frenleme sonucunda ortaya çıkan kayma değerinin büyüklüğü ve sisteme uygulanan pedal kuvvetinin sistem etkinliğini nasıl değiştirdiğini anlayabilmek için testlerde hız, fren pedal kuvveti ve kayma değerleri temel değişkenler olarak kullanılmıştır.

Testlerde fren pedal kuvveti minimum ve maksimum olmak üzere 2 farklı şekilde uygulanmaktadır. Pedal serbest hareket etmekte ve uygulanan kuvvet değeri sürücülere göre değişiklik göstermektedir. Pedal kuvvetinin düşük olduğu değerler genellikle 75-80 N civarındadır, yüksek pedal kuvveti değerleri ise test araçlarına göre farklılıklar göstermektedir. 500 N ile 550 N arasında değişen pedal kuvvetleri panik fren durumlarını oluşturmaktadır.

Test sistemi çalıştırılıp ölçümler başladığında pedala basılan kuvvet değişimine göre ABS devreye girmemektedir. ABS'yi aktif çalışma durumuna getiren bu pedal kuvveti karşılığında sisteme gönderilen kayma değeridir. Testlerde %15, 25 ve 35 kayma kullanılmaktadır. Başlangıç hızı 50 km/h olan testlerde % 15 kayma değerinde tekerlek hızı 42,5 km/h, % 25 kaymada 37,5 km/h ve % 35 kayma değerinde ise 32,5 km/h'dir. Bu değerleri oluşturabilmek için hız kontrol cihazlarının hafızasına bu hız değerlerini oluşturacak frekans değerleri kaydedilmektedir (Tablo 7.1).

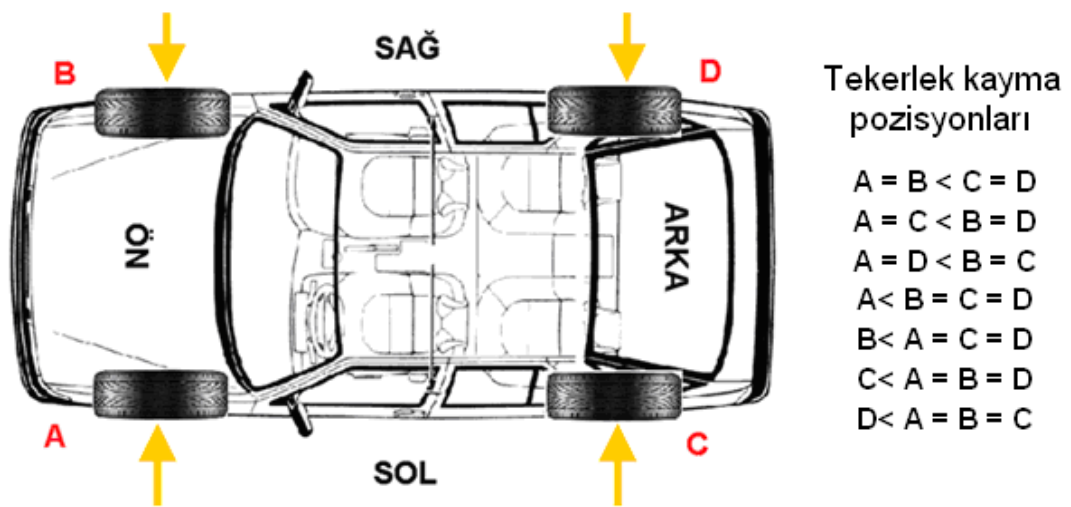
Testlerde Ek 4'de detayları görülen test matrisi uygulanmıştır. Kayma değerleri % 15, 25, 35 olarak değişmektedir ama kaymanın uygulandığı tekerleklerin 7 durumda değişimleri incelenmiştir. Bir test grubu için örnek matris Çizelge 7.2'de verilmiştir.

Çizelge 7.2. Test matrisinden seçilmiş bir test grubu

Araç Marka Modeli		ABS Modeli			
Renault Safrane		Bosch			
		Tekerlek Hızları (km/h)			
Tekerlek hız farklılıkları	Kayma (%)	(A) Sol ön tekerlek	(B) Sağ ön tekerlek	(C) Sol arka tekerlek	(D) Sağ arka tekerlek
% 15 kayma değerinde, 50 km/h frenleme başlangıç hızında 5 m/s² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde 75 N fren pedal kuvvetinde yapılan testler					
A = B < C = D	15	42,5	42,5	50	50
A = C < B = D	15	42,5	50	42,5	50
A = D < B = C	15	42,5	50	50	42,5
A < B = C = D	15	42,5	50	50	50
B < A = C = D	15	50	42,5	50	50
C < A = B = D	15	50	50	42,5	50
D < A = B = C	15	50	50	50	42,5

Test matrisinde her grup test için uygulanması ön görülen 7 farklı tekerlek kayma durumu bulunmaktadır. Tekerleklerin birbirlerine göre aynı kayma değerinde

değişimleri incelenmektedir. Farklı tekerlerin farklı kayma değişim değerleri de test edilebilmektedir ancak çok fazla test olması ve test matrisinin karmaşıklaşmasından dolayı tercih edilmemektedir. Ayrıca test metodunun etkisini görmek ve yapılan testlerden elde edilen temel değişimleri görmek için örnek test matrisi oluşturulmuştur. Bir problem veya araştırmaya yönelik yapılacak testlerde daha farklı değişim parametrelerinin olduğu test matrisleri de geliştirilebilmektedir.



Şekil 7.17. Araç tekerleklerinin pozisyonları ve kayma uygulanan tekerlekler

7.2.3. Frenleme esnasındaki kayan tekerlek tercihleri

Testlerde ön, arka ve diyagonal (çapraz) kaymaların yanı sıra ayrı ayrı tekerleklerin kilitlenme durumları gözlemlenmektedir. Sistemde her bir tekerlekte bağımsız kayma oluşturulabilmesi yol şartlarında gerçekleştirilmesi çok zor bir durumdur. Ancak sistem üzerinde rahatlıkla kontrol edilebilen ve bağımsız değerlendirme yapmada çok iyi sonuçlar veren bir model oluşturulmuştur. Özellikle kontrol farklılıkları açısından her bir tekerleğin ayrı kontrol edilmesi performans değerlendirmesinde aracın kendi elemanları arasındaki farkları da göstermektedir.

Sağ veya sol taraftaki tekerleklerde kayma oluşturulması genellikle bölünmüş yol testlerinde kullanılan yöntemdir. Burada sağ ve sol tekerleklerin birlikte kontrolleri ile bu yol şartlarında oluşturulan frenlemeler simüle edilmektedir.

Ön arka kayma kontrolü panik frenlemelerde ve manevra testlerinde özellikle kullanılan geçişli yol şartlarını (yüksek tutunmadan düşük tutunmaya) simüle etmektedir. Örneğin kuru zemin şartlarında giderken ıslak zeminlere geçişlerde yapılan panik frenleme şartları oluşturulmaktadır.

Sol ön ve sağ arka tekerlek kayma kontrolünde ise atlamalı (jump) yol şartlarında araçtaki diyagonal kontrol simüle edilmektedir. Diğer taraftan sağ ön ve sol arka tekerlek kontrolü denenmemiştir. Benzer şartların oluşacağı tahmin edilerek bir çapraz kontrol yeterli görülmektedir.

7.3. Test Sisteminde Kullanılan Araçlar

Testlerde kullanılmak üzere 3 adet ABS donanımlı araç tercih edilmiştir. Testleri yapılacak araçlar aynı sınıf ve binek otomobildir. Ağırlık ve özellikler açısından benzer şartlara sahip olan araçların laboratuarda ABS donanımları incelenerek benzerlik ve farklılıkları tespit edilerek tercih edilmiştir. Testleri gerçekleştirilen araçların bağlantı soketlerinin ve sensör özelliklerinin aynı olması testler esnasında kolaylık sağlamıştır. Farklı araçların test edilmesi halinde her araç için farklı bağlantı adaptörleri kullanılması gerekmemiştir. Bundan dolayı araçlar tercih edilirken araç özelliklerinden ziyade ABS donanım özellikleri göz önünde bulundurulmuştur.

1996 Renault Safrane, 1999 Renault Megane, 2001 Honda Civic (Şekil 7.18) araçlarda farklı özelliklerde ABS donanımları olduğu tespit edilerek test ekipmanları bu araçlara adapte edilerek testler yapılmıştır. Geliştirilen test sistemi Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Anabilim Dalına ait Taşıt Teknolojisi Laboratuvarına kurulmuştur. Testlerin gerçekleştirileceği araçlar laboratuara getirilerek ABS donanımları ile ilgili inceleme ve değerlendirme burada yapılmıştır.



Şekil 7.18. Test araçları (Renault Megane , Safrane, Honda Civic)

7.4. Araçlara Test Sistemlerin Yerleştirilmesi

Araçların ABS modülatörlerine uygun bağlantılar ile basınç ölçüm üniteleri sırası ile monte edilmiştir. Daha sonra veri toplama sistemleri ve pedal kuvveti ölçüm sistemleri yerleştirilmiştir. Her araç için devre şemaları ve özellikleri incelenerek bağlantılar yapılmıştır.

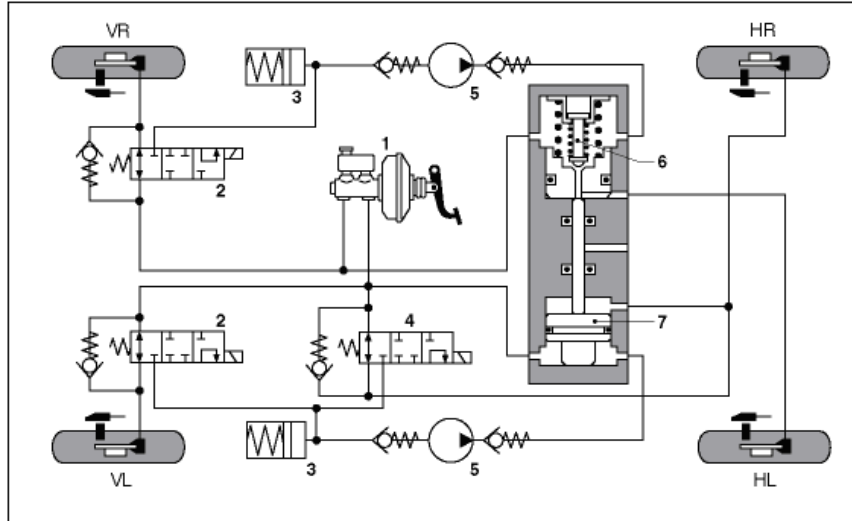
Test sisteminde kullanılan USB bağlantılı veri toplama kartı sayesinde veriler araç içerisinde rahatlıkla alınarak bilgisayar ortamına aktarılmaktadır. Ayrıca verileri anlık olarak kabin içerisinde gözlemlemekte mümkün olmaktadır. Hem elektrik motorlarının hız bilgileri hem de diğer veriler karta alınmaktadır (Şekil 7.19).



Şekil 7.19. ABS test sisteminin araca monte edilmesi

7.4.1. Renault Safrane test aracı

Safrane test aracı üzerinde Bosch ABS 2E modeli bulunmaktadır. Sistem elemanları ve valf grubu Şekil 7.20’de görülmektedir.

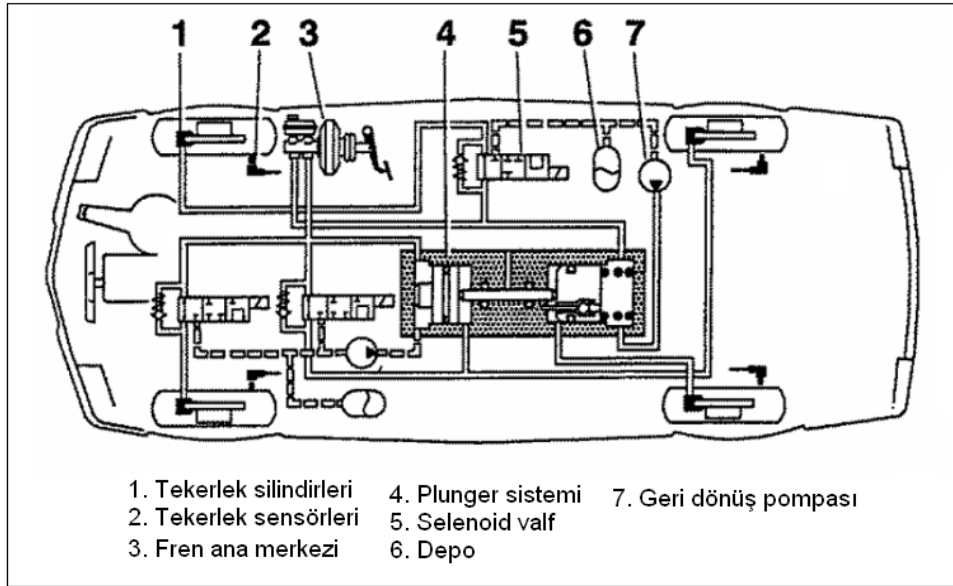


Şekil 7.20. Renault Safrane test aracındaki Bosch ABS 2E model şeması

4 kanallı 4 sensörlü bir sistem olan Bosch ABS 2E modelinde sensörler indüktif sensör, ön tekerleklerin kontrolünü sağlayan solenoid valflerde 3/3 valf grubundandır.

Arka tekerlek kontrolü için Şekil 7.20’de görülen piston (plunger) sistemi kullanılmıştır.

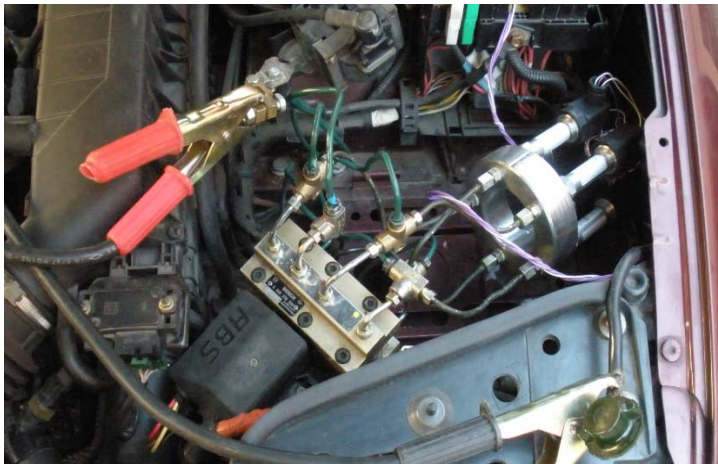
Şekildeki (1) fren servosu, (2) Solenoid valfler, (3) Toplayıcı (Akümülatör) odası, (4) Arka aks solenoid valfi, (5) 2-devreli geri dönüş pompası, (6) Merkez valfi, (7) İtici piston (plunger)’dır. (V) ön, (H) arka, (R) sağ, (L) sol tekerlekleri tanımlamaktadır [64].



Şekil 7.21. Bosch ABS 2E versiyonunun araç üzerindeki yerleşimi

Hidrolik modülatöre basınç ölçme sistemi bağlantıları ve modülatörün araç üzerindeki durumu Şekil 7.22’de görülmektedir. Bu araçta hidrolik modülatör aracın alt kısmına yerleştirilmiş durumdadır.

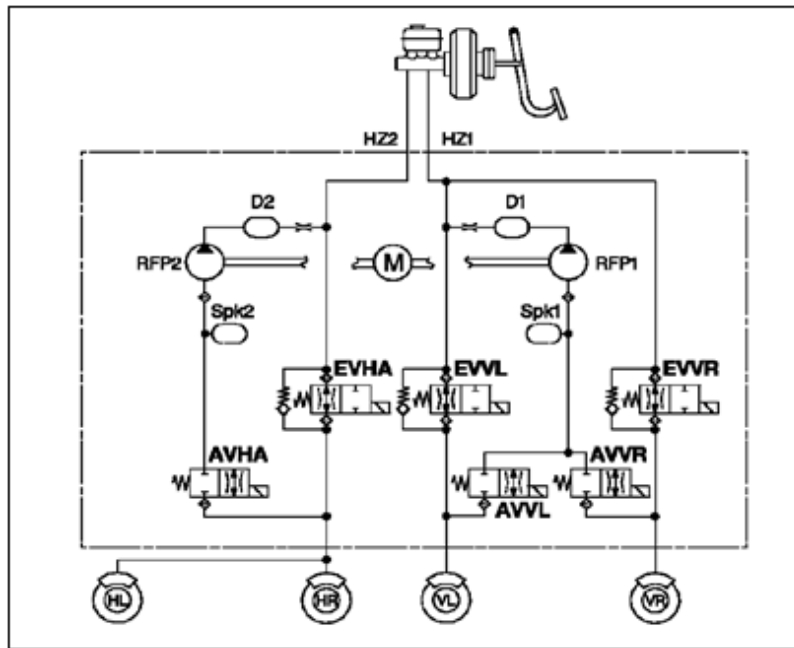
Ölçüm ünitesi yukarıda olduğu için ölçümlerde problem olmaması açısından modülatör yerinden çıkarılarak biraz daha motor bölümünün üst kısımlarına çıkartılmıştır. Ayrıca araçta X fren basınç dağıtım sistemi mevcuttur.



Şekil 7.22. Renault Safrane için hidrolik modülatör bağlantı şekli

7.4.2. Renault Megane test aracı

Araç üzerinde ABS Bosch 5 serisi bir fren donanımı kullanılmıştır. Arka tekerleklerde müşterek kontrol sağlayan bir solenoid valf takımı bulunurken ön tekerlekler için bağımsız fakat birbirleri ile ilişkili 2 solenoid valf takımı kullanılmıştır (Şekil 7.23). 2/2 solenoid valflerin kullanıldığı sistemde ön ve arka sistem için geri dönüş pompası, titreşim sönümleme odası ve toplayıcı akümülatör kullanılmıştır. Geri dönüş pompaları için bir adet elektrik motoru kullanılarak her iki pompada kontrol edilmektedir. (AVHA) arka aks çıkış valfi (EVHA) arka aks giriş valfidir. Ön tekerleklerin çıkış valfleri birbirlerine bağlanmış durumdadır (AVVL/AVVR) ve giriş valfleri müstakil çalışmaktadır (EVVL/EVVR)[64].



Şekil 7.23. Renault Megane test aracındaki Bosch ABS 5 model şeması

Hidrolik modülatör araç üzerinde motor kabininde en sol tarafta yukarıdadır. Modülatörün basınç sistemine bağlantıları Şekil 7.23’de görülmektedir. Bosch 5 sistemi fren dağıtım sistemi X veya II olan tipler için kullanılmaktadır. Bu araçta dağıtım şekli X dağıtım sistemidir.



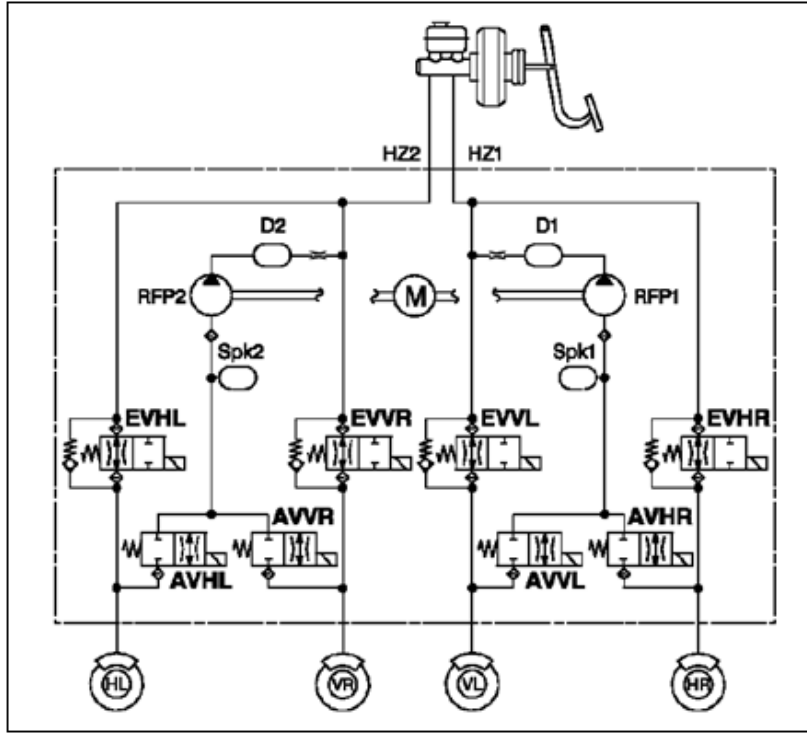
Şekil 7.24. Renault Megane için hidrolik modölatör bağlantı şekli

7.4.3. Honda Civic test aracı

Honda test aracında ABS 5 ailesinden biraz daha ilerletilmiş bir model olan Bosch ABS 5.3 sistemi kullanılmaktadır. 5 serisinden elemanlar açısından farkı bulunmayan fakat bağlantı şekilleri farklı olan ve 5 serisine ilave giriş ve çıkış kanalları biraz daha sayı olarak fazla olan bir sistemdir (Şekil 7.25).

X dağıtım şekli için yine kullanılan sistemde ön ve arka tekerleklerin çıkış valfleri (AVHL, AVVR/AVVL, AVHR) birbirlerine bağlanmışken giriş valfleri (EVVL, EVHR, EVVR, EVHL) bağımsız çalışmaktadır.

Ayrıca 5 serisine ilave olarak arka tekerleklerin giriş valfleri de ayrı ayrıdır. Bu arka tekerleklerin de bağımsız ayrı ayrı kontrolünü sağlamaktadır.



Şekil 7.25. Honda Civic test aracındaki Bosch ABS 5.3 model şeması [64]

Test aracının hidrolik modölatörü motor kabininde sağ üst köşeye yerleştirilmiştir. Basınç bağlantı sisteminin modölatöre bağlantısı Şekil 7.26’da görölmektedir.



Şekil 7.26. Honda Civic için hidrolik modölatör bağlantı şekli

8. TEST SONUÇLARININ TARTIŞILMASI

Test araçlarında uygulanan Ek 4'deki test matrisi sonucunda bütün araçlarda frenleme parametreleri değiştirilerek aynı şartlarda testler gerçekleştirilmiştir. Testlerde kullanılan değişkenler ve bunların birbirleri ile olan değişimleri sonucunda her araç için 168 test gerçekleştirilmiştir. Tekerleklerin birlikte veya bağımsız kayma hareketlerine göre toplam 7 durum seçilmiştir. Araçta ön ve arka tekerleklerin aynı anda kaymaları sol ve sağ taraftaki tekerleklerin aynı anda kaymaları, sol ve sağ tekerleklerde ön/arka çapraz kayma hareketi ve her bir tekerleğin ayrı ayrı tek kaymaları esnasındaki değişimler incelenmiştir. Bu 7 durum bir test grubunu oluşturmaktadır. Her bir test grubu % 15, 25, 35 kayma değerleri için uygulanarak kaymanın ABS performansına etkisi gözlemlenmiştir. Frenleme başlangıç hızının 50 km/h ve 100 km/h seçilmesi ile hız değişkeninin belirtilen kayma değişimleri ile birlikte ABS performansına etkisi incelenmiştir. Bütün bu değişkenler ise 5 m/s^2 ve 8 m/s^2 ivme değişimleri ile birlikte incelenerek yavaşlama ivmesinin de ABS'li sistemlerde tekerlek frenlemelerine etkisi gözlemlenmiştir. Ayrıca fren pedal etkinliği için test matrisinde bütün testler düşük pedal kuvveti (yaklaşık 70-80 N) ve panik fren durumlarında oluşan maksimum fren kuvveti (500-550 N) değerleri için uygulanmıştır. Aralık değerleri araçlara göre değişim göstermektedir.

Toplam 504 test yapılarak cihaz testleri tamamlanmıştır. Ancak bu testlerde parametre değişimlerine rağmen birçok testte kontrol bakımından sonuç değişmemiştir veya benzer kontrollerde sadece basınç ve pedal kuvvetleri değişmiştir. Bu tür test sonuçları değerlendirilmemiştir. Çizelge 8.1'deki tabloda test grupları üzerinde benzerlikler gösteren testler belirtilerek gruplandırılmıştır.

8.1. Test Parametrelerinin Seçimini Etkileyen Faktörler

Testlerde ABS performansına yönelik frenleme başlangıç hızı (taşıt hızı), frenleme değişim ivmesi (frenleme ivmesi), pedal kuvveti ve farklı kayma değişkenleri

incelenmiştir. Test sonuçları da bu değişkenlerin araçlar üzerindeki etkileri şeklinde gruplandırılarak verilmiştir.

Frenleme başlangıç hızları taşıtların şehir içi ortalama seyir hızları ve şehirlerarası yollardaki ortalama taşıt hızlarına göre tercih edilmiştir. Genellikle performans testlerinde yol şartlarında düşük hızlarda 50 km/h, yüksek hızlarda ise bazı çalışmalarda 100 km/h bazılarında ise 110 km/h tercih edilmiştir. Testlerde bu şartlara benzerlik göstermek açısından düşük hız 50 km/h (şehir içi) ve yüksek hız 100 km/h (şehirlerarası) değerleri kullanılmıştır.

Frenleme başlangıç hızları ve pedal kuvveti değerine göre farklı zeminlerde araçlar farklı yavaşlama ivmeleri geliştirmektedirler. Bu değişimleri test sisteminde simüle etmek amacı ile simülasyon motorlarında kayma uygulanacağı zaman 2 değişik ivme değeri seçilmiştir. Test araçlarının sınıfına uygun olarak yol şartlarında geliştirebilecekleri normal frenlemelerle benzerlik göstermesi açısından yavaşlama frenlemeleri için 5 m/s^2 , panik frenlemeler için 8 m/s^2 değerleri tercih edilmiştir.

Pedal kuvveti değişimleri sürüş şartlarındaki normal yavaşlama frenlemesi ve panik frenleme olarak adlandırılan maksimum pedal kuvveti değişimleridir. Özellikle panik frenlemelerde frenleme etkinliği açısından ABS'nin devrede olması veya olmaması durumlarını karşılaştırmak için pedal değişimleri incelenmiştir. Düşük pedal kuvvetleri ile ABS'nin normal yavaşlama frenlemeleri için gerçekleştirilen frenlemelerde ne zaman etkin olduğunun görülmesi açısından pedal kuvveti parametresinin incelenmesi etkili olmuştur.

Kayma değişkenleri ABS'nin en önemli değerlendirme kriteridir. Geliştirilen test cihazında ve ölçüm sisteminde kayma değişkeni üzerine kurulu bir metot oluşturulmuştur. ABS etkinliğinin görülebilmesi için kayma şartlarının meydana getirilmesi gerekmektedir. Testlerde kayma %15, %25 ve %35 olmak üzere 3 değişken şeklinde incelenmiştir. Genellikle ABS fren sisteminin %15 - %30 arasında bir etkinlikte çalıştığı bilinmektedir. Ancak bu durumun bütün araçlarda benzer bir

değişim gösterip göstermediğini tespit edebilmek amacı ile sınır değerleri ve ara bir değer seçilmiştir.

8.2. Testlerin Uygulanması

Önceden tespit edilen test matrisi veya test grubuna uygun hız, ivme değişkenleri hız kontrol cihazlarına yüklendikten sonra test cihazının bağlandığı araçlarda yol simülatörü çalıştırılarak tekerlekler eşit hızlarda hareket ettirilmektedir. Daha sonra araç motoru çalıştırılarak kontrol ünitesi ve sistemler normal çalışma koşullarına getirilmektedir.

Veri toplama sistemi ve bilgisayar programında gerekli işlemler yapılarak test matrisindeki numara ve değişkenlere göre yapılacak teste bir isim verilerek kayıt işlemine başlanmaktadır.

Pedal kuvveti uygulanması gereken değerde (minimum veya maksimum) tatbik edildikten sonra istenilen değerde kayma meydana getirmek için, kayma gerçekleştirilecek tekerlekleri kumanda eden kontrol butonları panel üzerinden açık konuma getirilmektedir. Kaymanın meydana gelmesi ile birlikte sistemde meydana gelen pedal kuvveti ve basınç değişim verileri kayıt edilmektedir. Daha sonra kayma butonu kapatılarak tekerlekler tekrar eşit hız değerlerine ulaştırılır. Fren pedalı bu işlemten sonra bırakılarak frenleme ortadan kaldırılır. Bütün testler için aynı işlem uygulanmaktadır. Her bir test için pedal kuvveti artırma aşamasından başlamak kaydı ile fren pedalı bırakılana kadar geçen süre maksimum 15s'dir. Genellikle bütün testlerde süre eşit tutularak sistemlerin tepkileri ve basınç değişimleri bu aralıkta takip edilmiştir. Testler araç marka ve modeline göre sınıflandırılarak ayrı ayrı incelenmiştir. Sonuçlarından kontrol tekniği aynı olan, basınç değişim değerleri aynı olan testler her araca göre ayrı ayrı numara ve rakamlar ile gruplandırılmıştır. Grup halindeki sonuçlar test matrisi üzerinde harf ve rakamlar ile sınıflandırılarak Çizelge 8.1'de verilmiştir.

Çizelge 8.1. Test matrisinde benzer sonuçları gösteren test grupları

Araç	Test Grubu	Test Grubunun Özellikleri
SAFRANE	A	Sol ön ve sağ ön tekerleklerde kayma
	B	Sol ön tekerlekte kayma
	B2	Sağ ön tekerlekte kayma
	C	Sol ön/sol arka birlikte, sol ön/sağ arka birlikte, sol veya sağ arka tekerleklerde ayrı ayrı kayma
	D	Sol ön/sol arka veya sol ön/sağ arka tekerleklerde 5 m/s^2 , %35 kayma
	E	Sol ön/sol arka veya sol ön/sağ arka tekerleklerde 100 km/h ve 8 m/s^2 de kayma
	F	Maksimum pedal kuvvetlerinde bütün tekerleklerde kayma
MEGANE	1	Sol ön ve sağ ön tekerleklerde kayma
	2	Sol ön/sol arka veya sol ön/sağ arka tekerleklerde kayma
	3	Sol ön tekerlekte kayma
	4	Sağ ön tekerlekte kayma
	5	Sol arka veya sağ arka tekerlekte ayrı ayrı kayma
	6	Sol ön/sol arka veya sol ön/sağ arka tekerleklerde kayma
	7	Sol ön/sol arka veya sol ön/sağ arka tekerleklerde %25 kayma
	8	Düşük pedal kuvvetlerinde sol arka veya sağ arka tekerlekte ayrı ayrı kayma
	9	Maksimum pedal kuvvetlerinde bütün tekerleklerde kayma
civic	I	Sol ön ve sağ ön tekerleklerde kayma
	II	Sol ön tekerlekte kayma
	III	Sağ ön tekerlekte kayma
	IV	Düşük pedal kuvvetinde 5 m/s^2 ivmede sol ön tekerlekte kayma
	V	Düşük pedal kuvvetinde 5 m/s^2 ivmede sağ ön tekerlekte kayma
	VI	Sol arka veya sağ arka tekerlekte ayrı ayrı kayma
	VII	Düşük pedal kuvvetinde sol ön ve sağ arka tekerleklerde %35 kayma

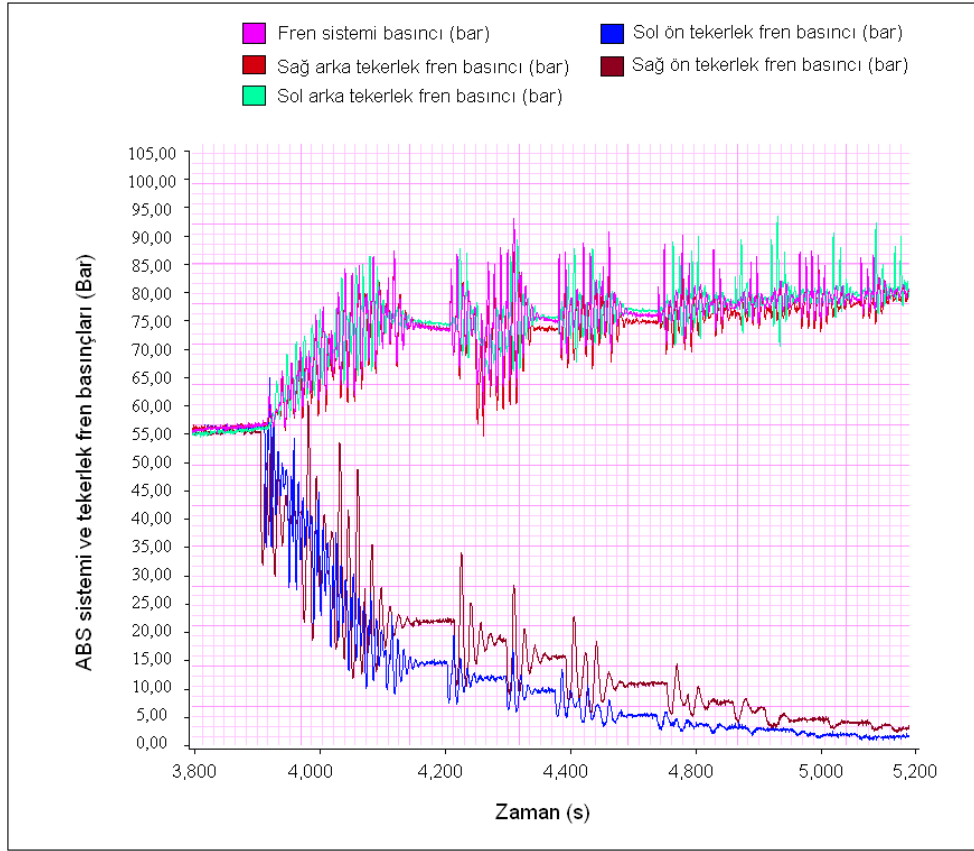
8.3. Renault Marka Safrane (1996) Model Araç ABS Testleri

Safrane üzerinde yapılan 168 adet testten ön incelemeler sonucunda net olarak değişimleri gözlemlenebilen düşük pedal kuvvetlerinde 5 adet, yüksek pedal kuvvetinde ise 1 adet ABS testi değerlendirilmiştir. Birçok test sonucunda elde edilen kontrol değişimleri veya sayısal değerler aynı olduğu için sadece temel değişim eğrileri açıklanmıştır.

8.3.1. Safrane sol ön ve sağ ön tekerleklerde birlikte kayma testleri (A)

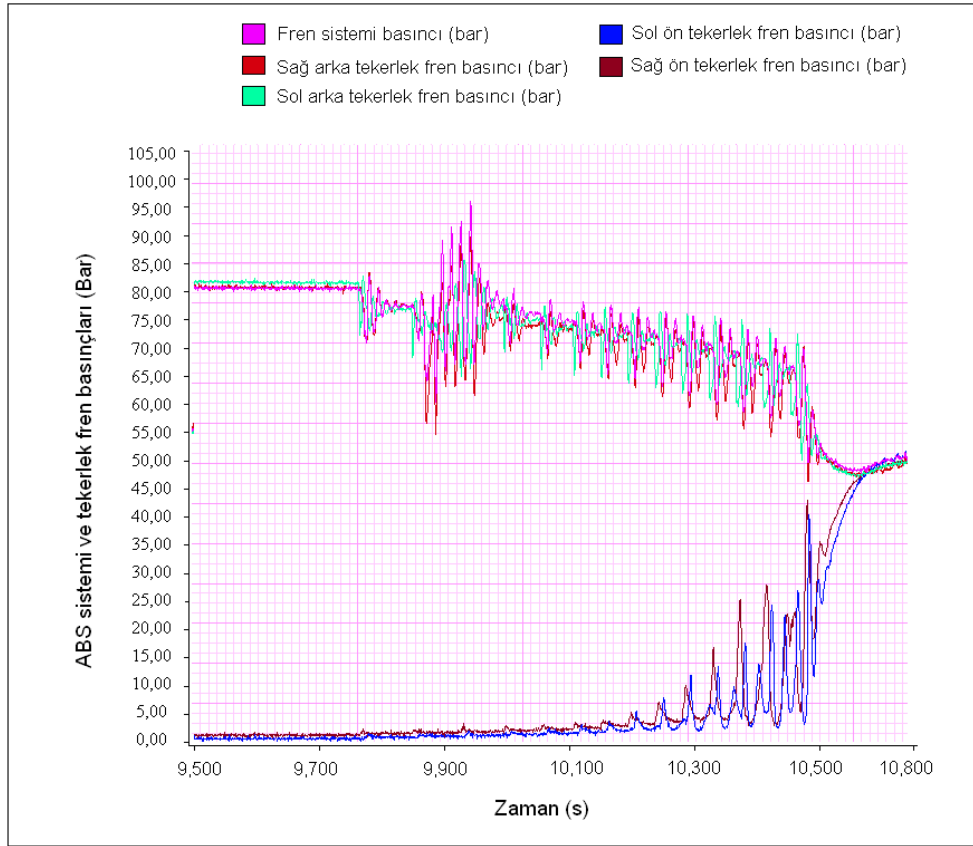
Şekil 7.16'da görülen 7 farklı tekerlek kayma durumu içerisinde 1. sırada olan sol ön ve sağ ön tekerleklerin kayması durumudur. Bu durum normal ve panik frenlemelerde ön tekerleklerin kilitlenme arka tekerleklerin normal frenleme hareketlerini simüle etmektedir. Diğer değişkenler ise ivme, kayma değeri, pedal kuvveti ve frenleme başlangıç hızıdır.

Şekil 8.1'de sol ve sağ ön tekerleklerin kayması durumunda sistemin tekerleklerdeki basınçları kontrolleri görülmektedir. Düşük pedal kuvvetlerinde (70-75 N) bütün tekerlekler 55 bar civarında bir frenleme basıncı ile frenlenirken 3,9 s sonunda kayma meydana getirilmiştir. Bu esnada sistem sol ve sağ ön tekerleklerin basınçlarını 0,9 s'de 2 bar gibi bir değere düşürmüştür. Sol ve sağ arka tekerleklerde bu basınç azalmasına bağlı olarak ve sistem basıncındaki yükselmeye bağlı olarak artmaktadır. Başlangıçta ani bir artış gösteren diğer tekerlekler ve sistem basıncı 0,2 s sonunda sabit 75 bar değerinde tutulmuştur. Bu esnada ön tekerleklerdeki kademeli basınç düşmesine bağlı olarak arka tekerleklerde de sistem basıncında da ani artış ve azalmalarla 75 bar civarında basınç değişimleri gözlemlenmektedir. 1,4 s sonunda ön tekerleklerin basıncı tamamen düşürülmüş arka tekerleklerdeki basınç değişimleri de azaltılmıştır.



Şekil 8.1. Safrane test aracında sol ve sağ ön tekerleklerin kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme başlangıcı)

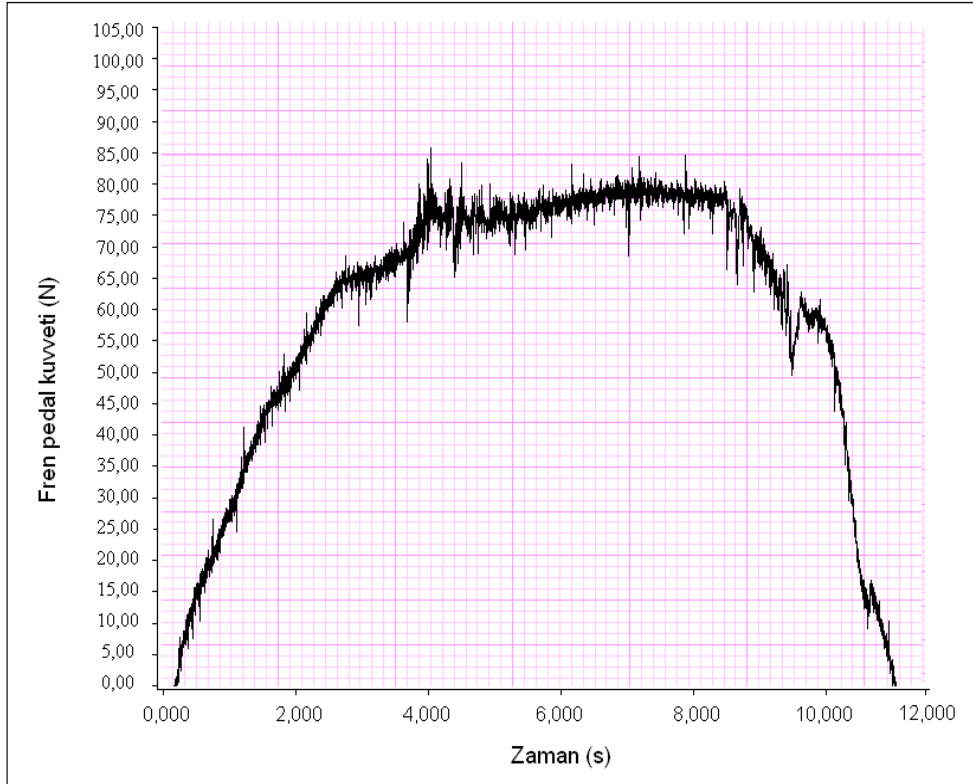
5,2 s'den 9,5 s'ye kadar basınç değişimleri artış göstermemektedir. 9,8 s'de kayma değeri ortadan kaldırılınca elektronik kontrol ünitesi modülatörde basınçları düşmüş olan ön tekerleklerin basınçlarını hızlı ve ani bir şekilde tekrar frenleme başlangıcındaki basınç değerine çıkartmaktadır. Kaymanın ortadan kalktığı ilk esnada arka tekerlekler ve sistem basıncında büyük bir değişim gözlemlenmekte ve bunların basınç değerleri de ilk frenleme başlangıç basınç değerlerine 0,8 s'de düşürülmektedir (Şekil 8.2).



Şekil 8.2. Safrane test aracında sol ve sağ ön tekerleklerin kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme bitimi)

Frenleme esnasında meydana getirilen kayma değerine ve ivme değişimine göre farklılık göstermeyen kontrol sistemi bu tekerleklerin kontrolü için yapılan testlerin tamamında aynı değişimleri göstermiştir. Pedal kuvvetine bağlı olarak sadece sistemdeki ulaşılan basınç değerleri farklılık gösterirken kontrolde bir değişim gözlemlenmemiştir. Şekil 8.3’de pedal kuvveti değişimi görülmektedir. 3,9 s’de 65 N pedal kuvvetine ulaşıldığı zaman kayma meydana getirildiğinde pedal kuvvetinde de ortalama 80 N’a kadar bir artış görülmektedir. Bu artışın temel sebebi ABS modülatöründeki pompanın devreye girmesi ile sistem basıncında artış ve bundan dolayı da pedal üzerinde bir titreşimle birlikte geri yönlü bir tepki kuvveti oluşmasıdır. Bu esnada ayağımızı sabit tuttuğumuz için bu titreşim ve tepkiden dolayı pedala basılıyormuş gibi ölçüm ünitesinde artış gözlemlenmektedir. Ayrıca 3,9 s’den sonra grafikte basınç değişimleri artıştan çok titreşim şeklinde görülmektedir. 9,8 s’de kaymanın ortadan kalkması ile sistem basıncı aniden düşme

eğiliminde olduğundan pedalda ani bir kuvvet azalması şeklinde değişim olmaktadır. Bu düşüş titreşim etkisinin ortadan kalkmasından dolayı oluşan azalmadır. Sistemde basınçların eski değerlerine ulaşması ile pedal kuvveti değeri de ilk tatbik edildiği hale gelmektedir (Şekil 8.3).

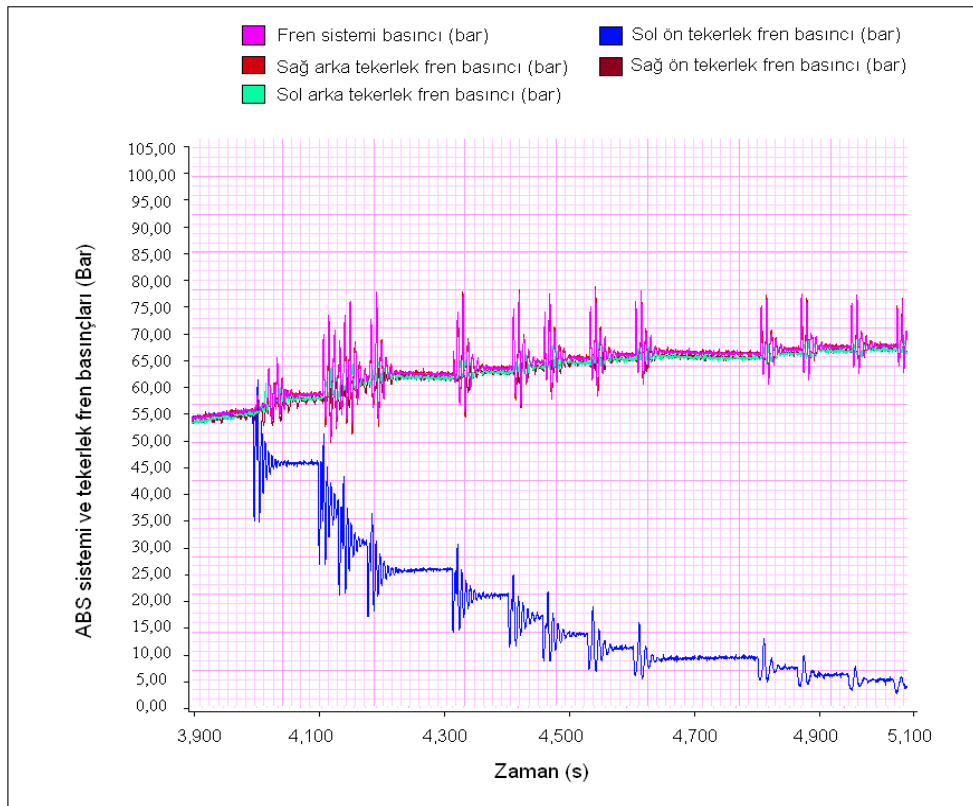


Şekil 8.3. Safrane test aracında sol ve sağ ön tekerleklerin kayması esnasındaki pedal kuvveti değişimi

8.3.2. Safrane sol ön tekerlekte kayma testleri (B)

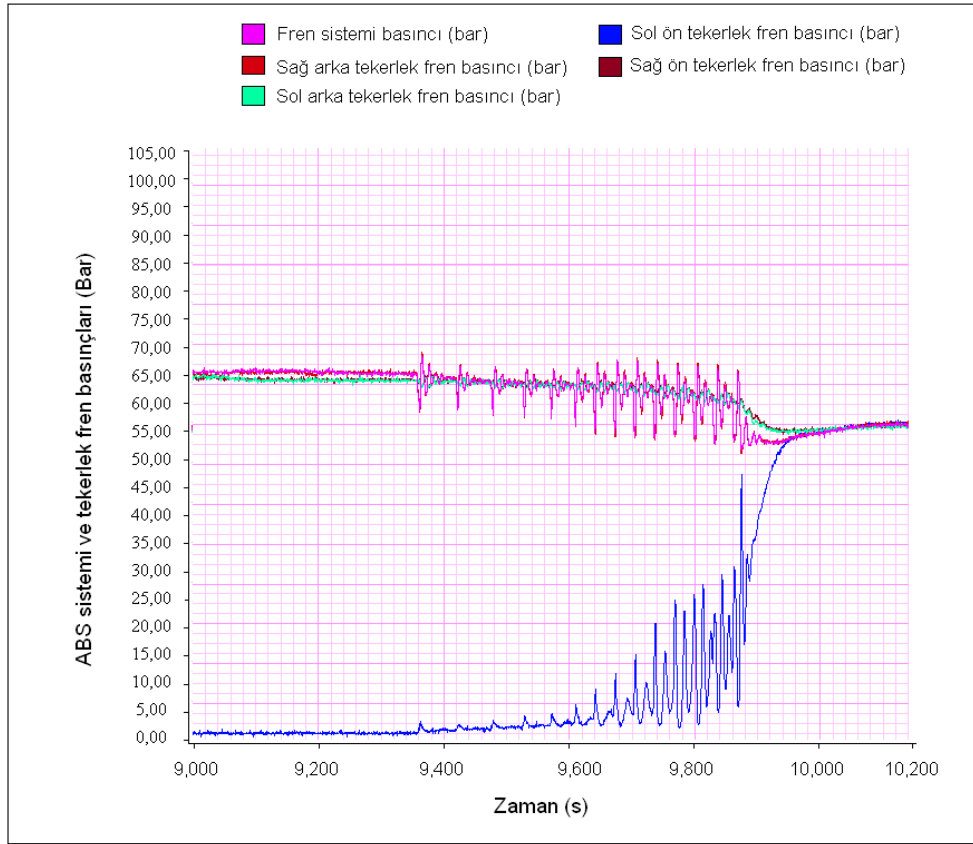
Toplam 24 adet testte sol ön tekerlekte müstakil kayma meydana getirilerek testler gerçekleştirilmiştir. Bu testlerin her birisinde sol ön tekerlek için sistem bağımsız kontrol yaparak tekerleklerdeki fren basınçlarını Şekil 8.4'deki gibi düzenlemiştir. 3,95 s'de başlayan kayma değerine bağlı olarak sistem kademeli bir şekilde sol ön tekerlek basıncını azaltmaktadır. Bunun sonucunda sadece sistem basıncında ani bir artış gözlemlenirken arka tekerleklerin ve sağ ön tekerleğin her birisinin de basınçlarının yavaş yavaş arttığı görülmektedir. Sol ön tekerlekteki kademeli basınç

düşüşüne bağlı olarak diğer tekerleklerde ve sistemdeki basınç 55 bar'dan 65 bar değerine çıkmaktadır. Ancak sistem basıncı diğer kayma oluşturulmayan tekerleklerden farklı olarak 55 bar ile 80 bar arasında ani değişimler sergilemektedir. Kaymaya bağlı olarak ABS motorunun devreye girmesi bu değişimlere sebep olmaktadır. Sol ön tekerlekten boşaltılan hidrolik, sisteme gönderildiği için sistem basıncını daha çok etkilemektedir. Basınç düşürme işlemi yaklaşık 1 s'de olmaktadır.



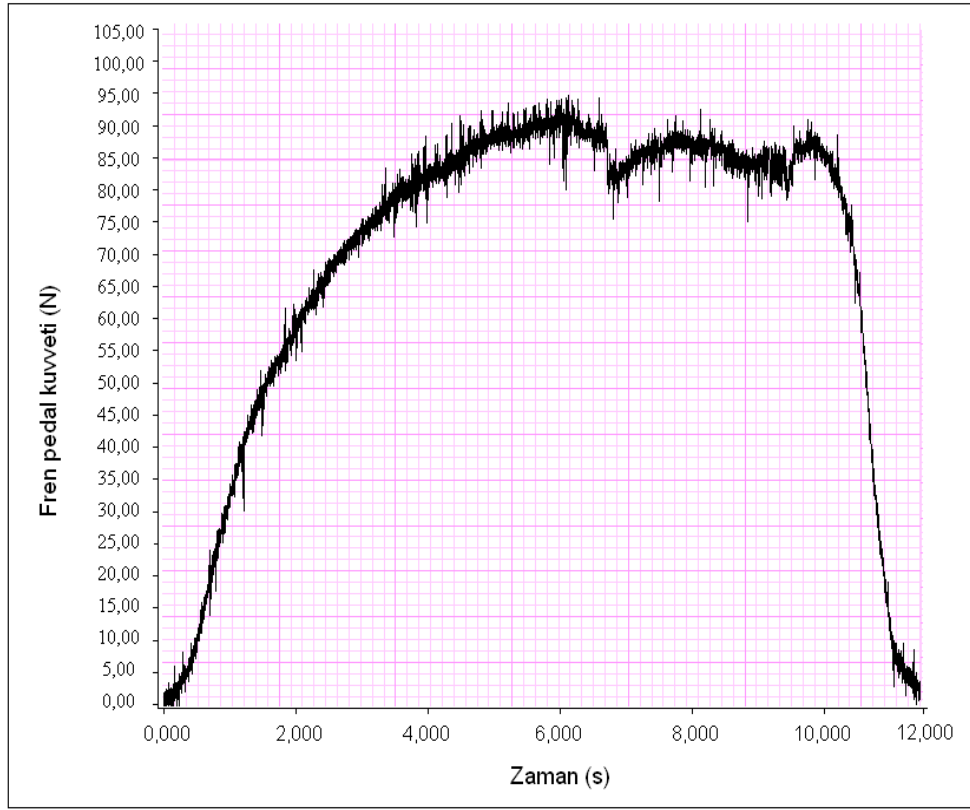
Şekil 8.4. Safrane test aracında sol ön tekerleğin kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme başlangıcı)

9,35 s'de kayma etkisinin ortadan kaldırılması ile sistemdeki bütün tekerleklerin basınçları tekrar 55 bar değerine gelmektedir. 0,7 s'de gerçekleşen bu basınç düzenlemesi esnasında sol ön tekerleğin basıncı ani bir şekilde yükselirken sistem, sol ön, sağ arka ve sol arka tekerleklerin basınçları azalmaktadır. Şekil 8.5'de bu değişim görülmektedir.



Şekil 8.5. Safrane test aracında sol ön tekerleğin kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme bitimi)

Şekil 8.6’da sol ön tekerleğin kontrolü esnasındaki fren pedal kuvveti değişimleri görülmektedir. 4 s’den sonra pedal kuvvetinde sol ön tekerlek basıncının azalmasına bağlı olarak elektrik pompasının etkisi ile bir artış görülmektedir. (A) testlerindeki pedal titreşim hissi bu testler içinde geçerlidir.



Şekil 8.6. Safrane test aracında sol ön tekerleğin kayması esnasındaki pedal kuvveti değişimi

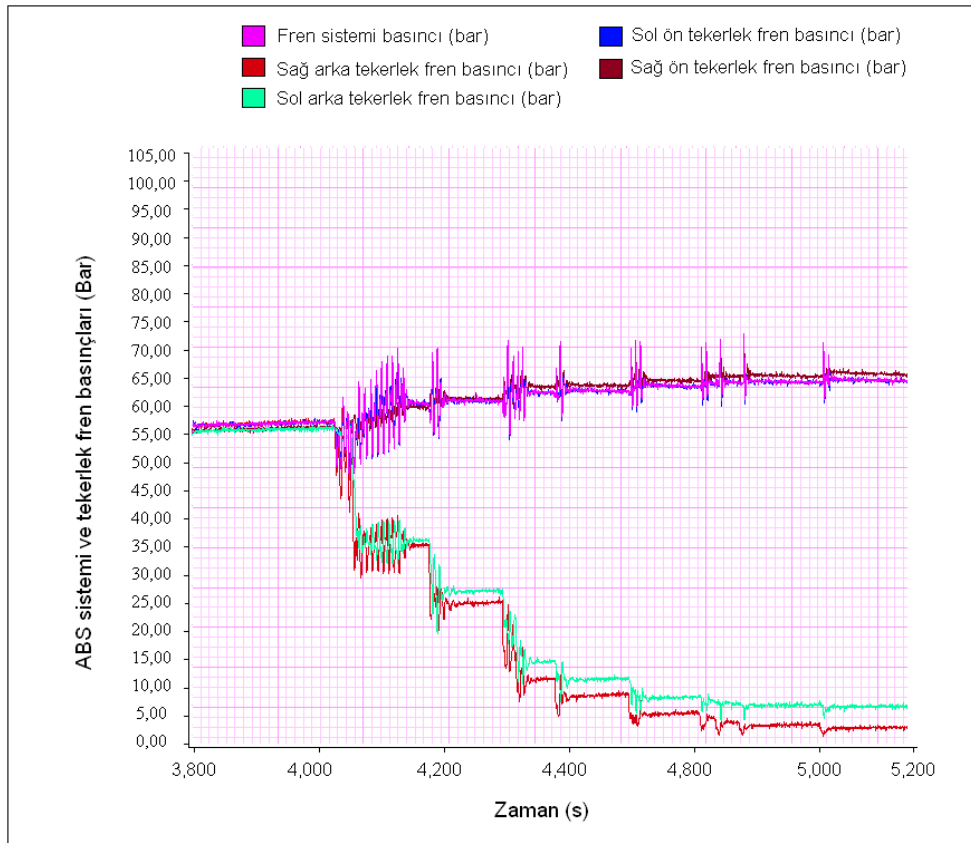
8.3.3. Safrane sağ ön tekerlekte kayma testleri (B2)

Kontrol ünitesi (B) testlerindeki değişimin aynısını sağ ön tekerlek kontrolü içinde gerçekleştirmektedir. Sağ ve sol ön tekerleklerde toplam 48 adet test gerçekleştirilmiş, hepsinde sol ve sağ ön tekerleklerin ayrı ayrı kontrol edildiği gözlemlenmiştir. (B2) testleri sonucunda elde edilen değişimler Ek 5’te verilmiştir.

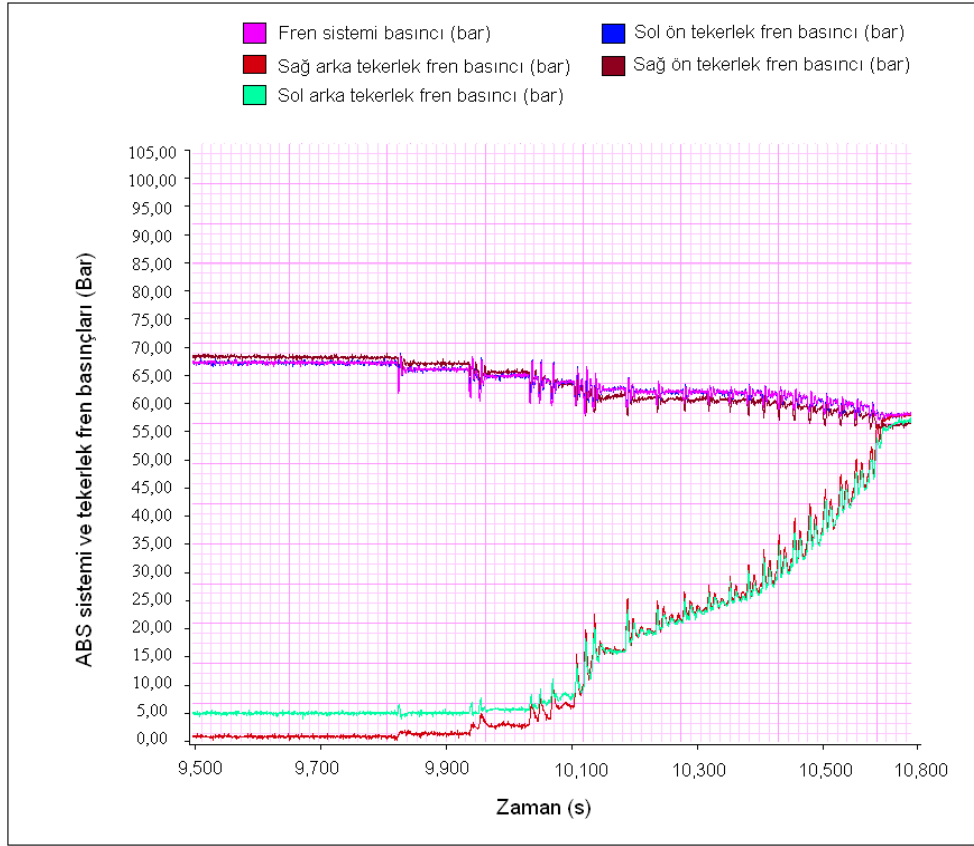
8.3.4. Safrane sol ön/sol arka birlikte, sol ön/sağ arka birlikte, sol veya sağ arka tekerleklerde ayrı ayrı kayma testleri (C)

5 m/s² ve %15 kayma değerlerinde maksimum ve minimum pedal kuvvetleri değişimi için gerçekleştirilen 16 testte sol ön ve arka, sol ön ve sağ arka çapraz kontrollerinde hiçbir değişim olmamış ve ABS aktif hale gelmemiştir. Ancak diğer

24 testte Şekil 8.7'deki değişimler görülmüştür. Aynı zamanda bu değişimler sol ön ve sol arka, sol ön ve sağ arka çapraz kontrolleri için de görülmüştür. Yani düşük pedal kuvvetinde 5 m/s^2 ivme değerinde, 50 km/h ve 100 km/h hızlarda, ayrıca %25 kayma değerinde, aynı kayma ve ivme değeri için maksimum pedal kuvveti uygulamaları için de bu sonuçlar aynı değerleri ihtiva etmektedir. Diğer yüksek ivme değişimlerinde farklı kontroller görülmüştür. Bu benzer testler ile birlikte 16 test daha eklenerek benzer sonuçların elde edildiği 40 test olmuştur. Burada sistem sol ön tekerlek ile birlikte sağ veya sol arka tekerleği kaydırduğunda bu 16 testte sadece arka tekerleğe müdahale olmuştur. Arka tekerleklerin her ikisinde de değişim olması arka tekerleklerin birlikte kontrol edildiği sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Şekil 8.7'deki kontroller incelendiği zaman sistemin arka tekerlekleri her zaman birlikte kontrol ettiği görülmektedir.



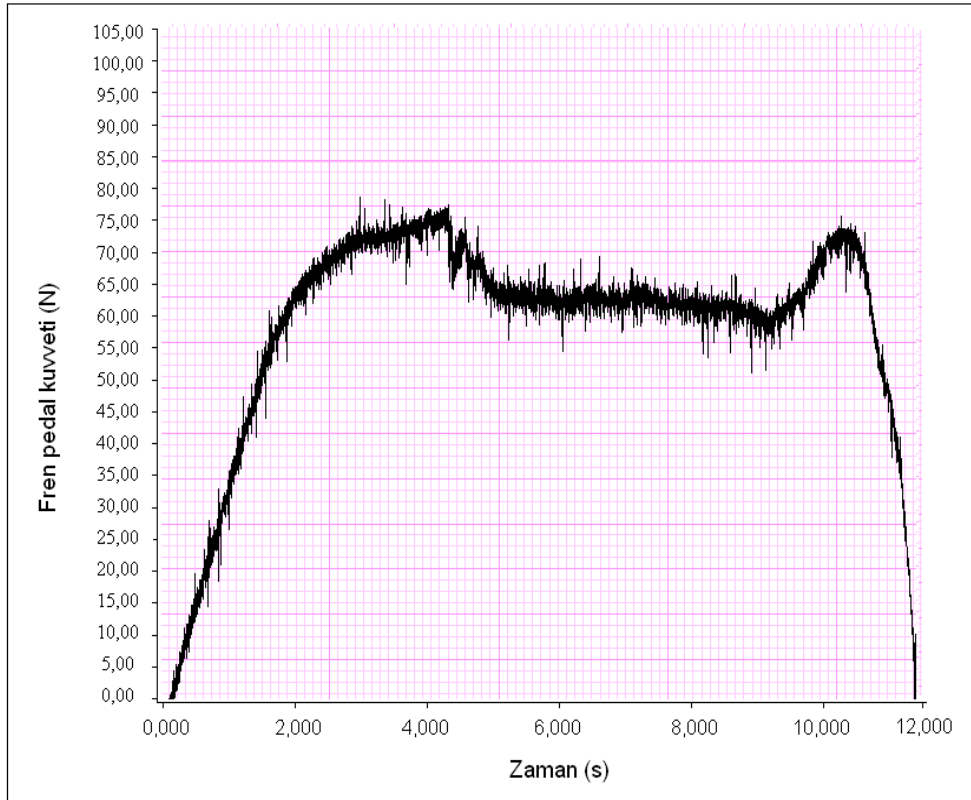
Şekil 8.7. Safrane test aracında sol arka veya sağ arka tekerleklerin ayrı ayrı kayması ve sol ön, sol arka veya sol ön, sağ arka tekerleklerin çapraz kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme başlangıcı)



Şekil 8.8. Safrane test aracında sol arka veya sağ arka tekerleklerin ayrı ayrı kayması ve sol ön, sol arka veya sol ön, sağ arka tekerleklerin çapraz kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme bitimi)

Frenleme başlangıç ve bitişleri incelendiği zaman fren basıncı düşürme aşamasının diğer durumlarla benzer fakat basınç yükseltme sürelerinin arka tekerlek kontrollerinde daha uzun olduğu görülmektedir. Ayrıca pedal kuvveti değişimleri Şekil 8.9’da incelenecek olursa pedal kuvvetinin 75 N değerinde sabit kaldığı ABS’nin devreye girmesi ile birlikte pedal kuvvetinde bir düşüş yaşandığı görülmektedir. Burada arka tekerleklerdeki fren basıncını düşürerek sistem hidroliği basınç akümülatörü olarak adlandırılan odalara göndermekte ve buralarda titreşim sönümler odaları ile basınç titreşimleri (salınımları) elimine edilmeye çalışılmaktadır. Dolayısı ile sisteme geri bir basınç dönüşü olmayınca pedala geri tepme veya titreşim şeklinde bir tepki kuvveti oluşmamakta tam tersi basınç düşüşünden dolayı pedal bir miktarda hareket ederek boşa düşmektedir. Daha sonra sistemdeki kaymanın ortadan kaldırılması ile bu hidrolik tekrar sisteme gönderilerek

pedalın eski konumuna gelmesi sağlanmaktadır. Titreşimler tam olarak absorbe edilemediği için şekil üzerinde pedaldaki titreşimler görülmektedir.

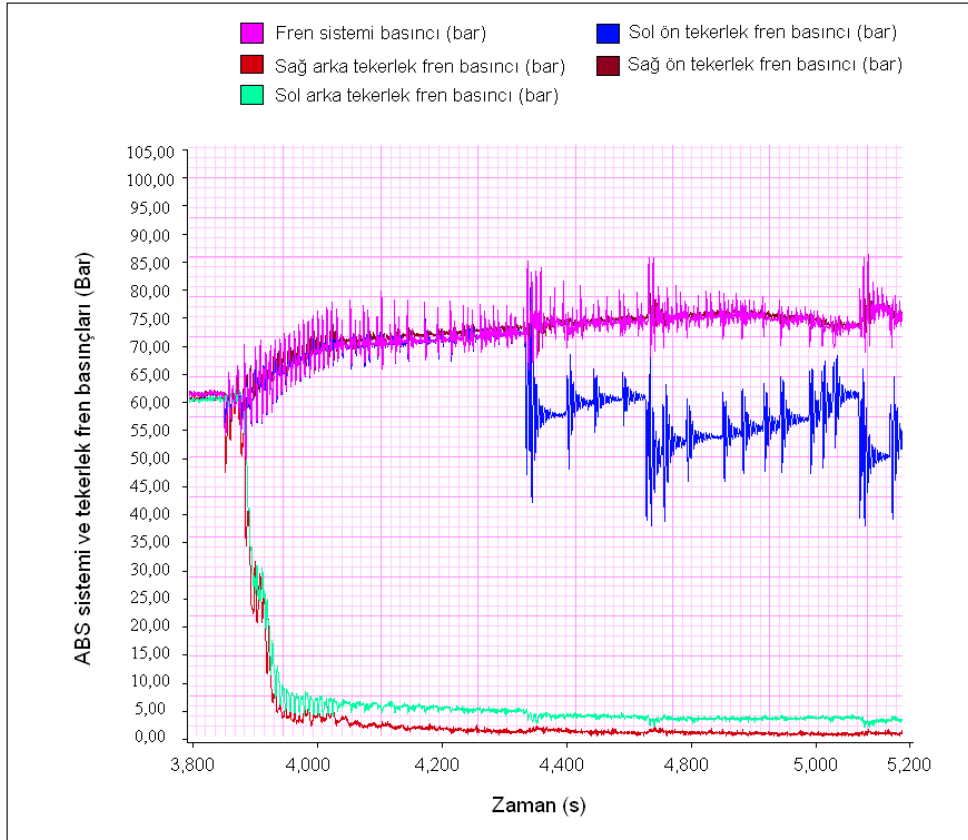


Şekil 8.9. Safrane test aracında sol arka veya sağ arka tekerleklerin ayrı ayrı kayması ve sol ön, sol arka veya sol ön, sağ arka tekerleklerin çapraz kayması esnasındaki pedal kuvveti değişimleri

8.3.5. Safrane sol ön/sol arka veya sol ön/sağ arka tekerleklerde birlikte 5 m/s^2 ivme, %35 kayma testleri (D)

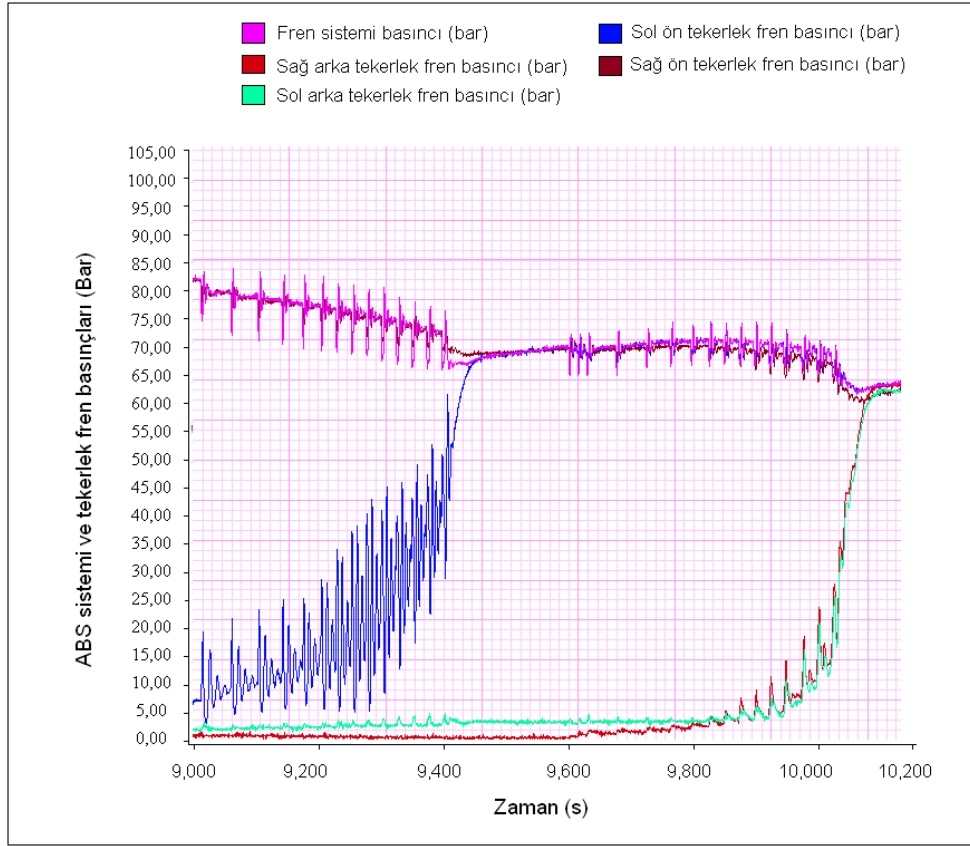
Bu testlerdeki değişimler sadece yüksek kayma oranı %35'de, düşük frenleme ivmelerinde 5 m/s^2 minimum ve maksimum pedal kuvvetlerinde görülen bir kontrol değişimidir. 8 test esnasında gözlemlenmiş kontrol değişimleri Şekil 8.10'da görülmektedir. Sol ön ve arka ile sol ön ve sağ arka diyagonal kayma kontrolü için gözlemlenen sonuçlar incelendiği zaman sistemin öncelikle arka tekerlekleri daha sonra sol ön tekerleği kontrol ettiği görülmüştür. Özellikle bu testlerde elde edilen sonuçların aynı şartlarda bazı testlerde elde edilen (C) grubu testleri ile bağlantısı

sadece (C) grubu testlerinde arka tekerlekler kontrol edilirken kayma değerinin büyümesi ile burada sol ön tekerleğinde kontrol edildiği gözlemlenmiştir. Ayrıca sistemin bu testlerde arka tekerleklerden sonra ön tekerlek basıncını çok ani ve büyük basınç değişimleri ile kontrol etmesi en önemli farktır.



Şekil 8.10. Safrane test aracında sol ön, sol arka veya sol ön, sağ arka tekerleklerin çapraz kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme başlangıcı)

Arka tekerleklerdeki ani basınç düşmesine bağlı olarak sistem basıncında değişimler göstermektedir. Ancak ön sol tekerleğin basıncının düşürülmesi ile sistem basıncı daha büyük değişimler göstermektedir.

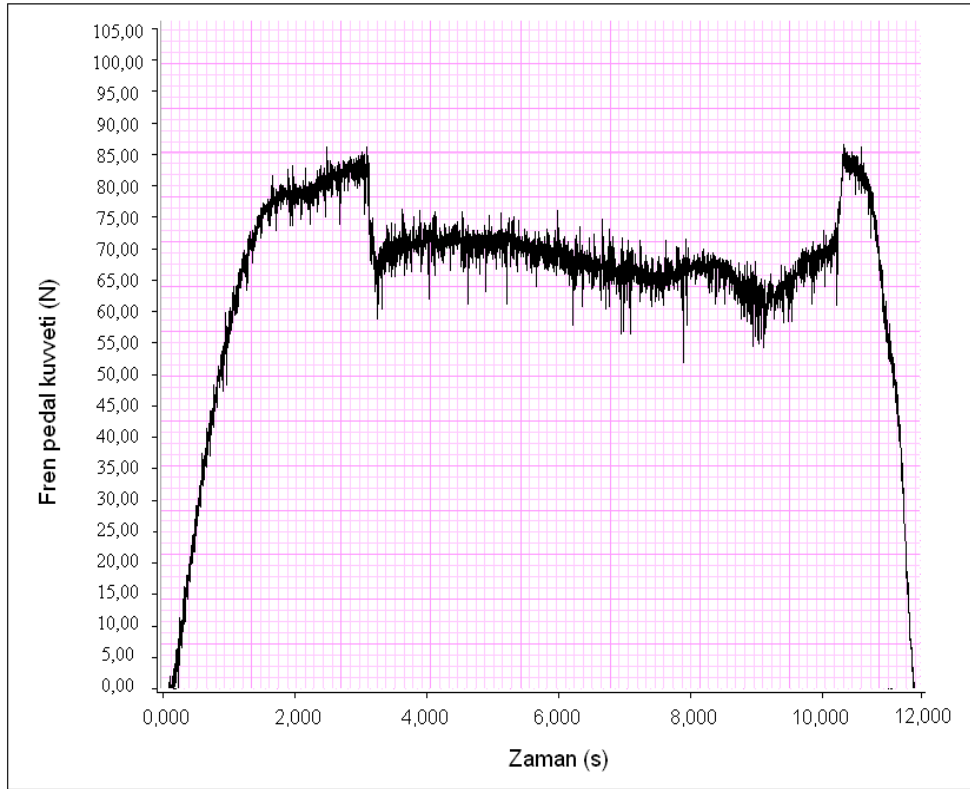


Şekil 8.11. Safrane test aracında sol ön, sol arka veya sol ön, sağ arka tekerleklerin çapraz kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme bitimi)

Basıncın yükseltilme safhası diğer test sonuçlarından çok farklıdır. Öncelikle son olarak düşürülmüş sol ön tekerleğin basıncı yükseltilerek daha sonra arka tekerleklerin basınçları yükseltilmektedir. Sol ön tekerleğin basıncının ilk uygulanan fren basıncına ulaşmasından sonra sistem basıncı ve diğer sağ ön tekerleğin basınçları 0,2 s kadar bir süre sabit kalmakta daha sonra arka tekerleklerin basınçlarının yükselmesine paralel olarak basınç değişimleri tekrar ortaya çıkmaktadır (Şekil 8.11).

Fren pedal kuvveti değişimi de yine diğer testlere göre daha fazla titreşim ve değişim sergilemektedir. 3,8 s'deki ani bir pedal kuvveti azalması sistemdeki arka tekerleklerin basınçlarının düşmesi ile meydana gelmektedir. 9 s'den sonraki süreçte ise sol ön tekerlek basıncının yükselme aşamasında titreşimler görülmektedir. Arka

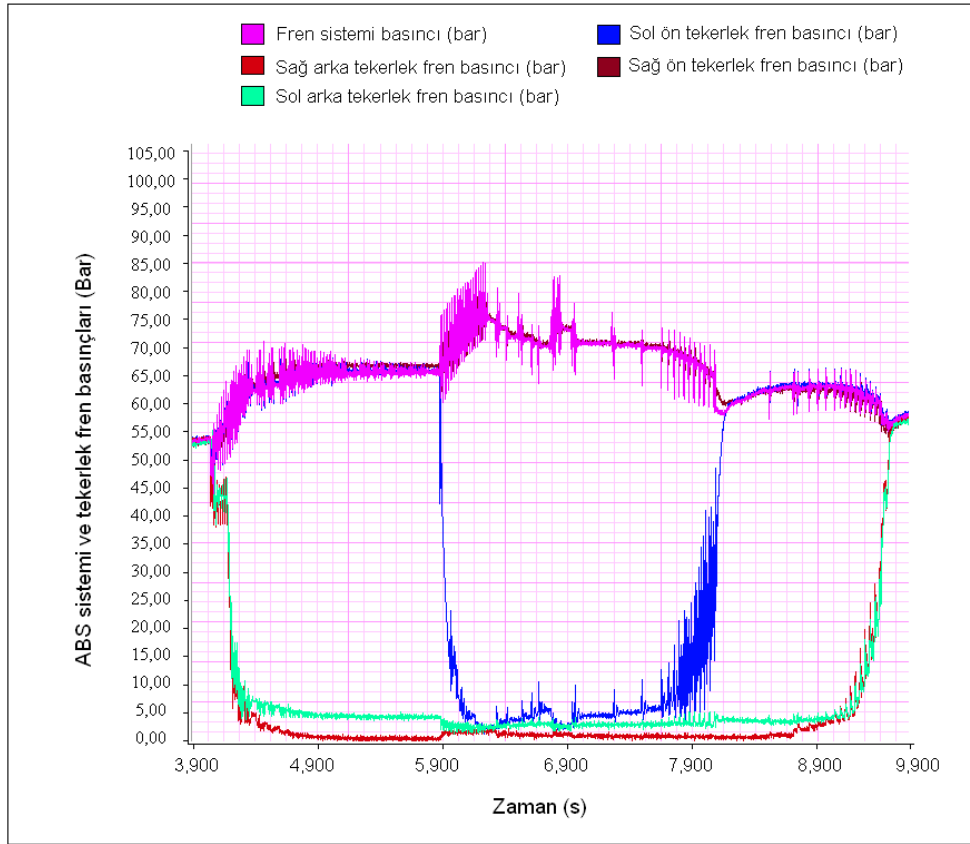
tekerleklerin basınç yükselme safhasında fazla titreşim oluşmamakla birlikte pedal kuvveti de ani bir değişim göstermektedir (Şekil 8.12).



Şekil 8.12. Safrane test aracında sol ön, sol arka veya sol ön, sağ arka tekerleklerin çapraz kayması esnasında oluşan pedal kuvveti değişimleri

8.3.6. Safrane sol ön/sol arka veya sol ön/sağ arka tekerleklerde 100 km/h ve 8 m/s²'de kayma testleri (E)

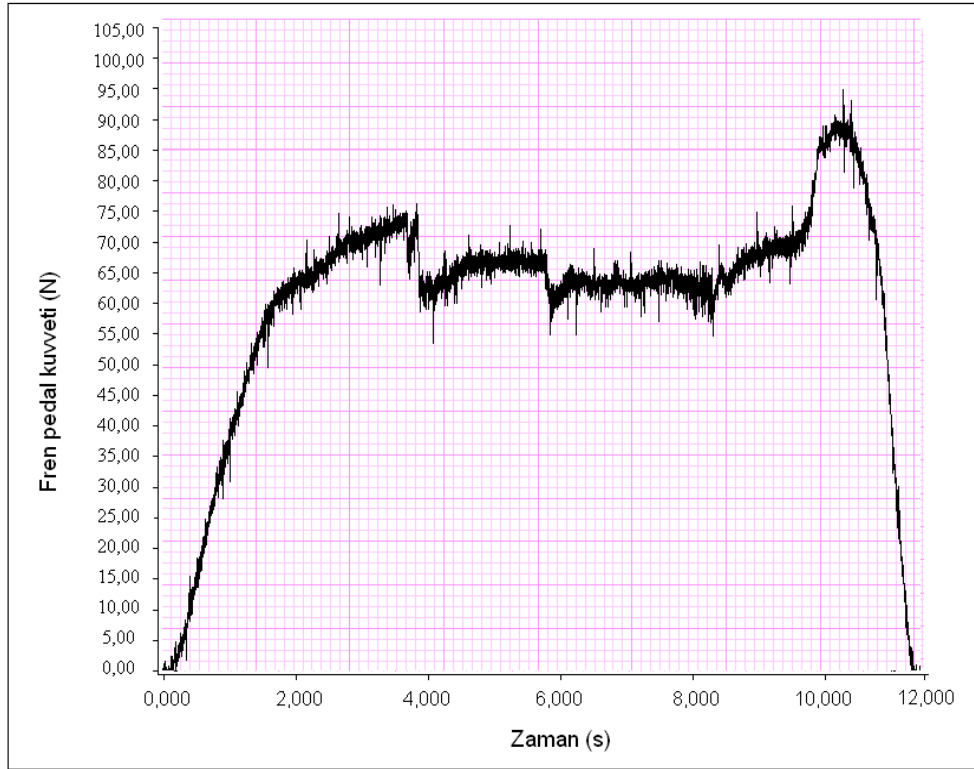
Maksimum ve minimum pedal kuvvetinde 8 farklı test uygulamasında ortaya çıkan bu durumda yavaşlama ivmesi değişimi % 35 ve taşıt hızı 100 km/h'dir. Yüksek hızlarda yüksek yavaşlama ivmesindeki değişim Şekil 8.13'de tek grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 8.13. Safrane test aracında yüksek hız ve yavaşlama ivmesinde sol ön, sol arka veya sol ön, sağ arka tekerleklerin çapraz kayması esnasında oluşan ABS kontrolü

Bu testlerde çok kısa sürede ani basınç değişimleri gözlemlenmektedir. Özellikle önce arka tekerleklerin daha sonra ön tekerleğin basınç düşüşü yüksek hızlarda ani yavaşlama ivmesi ile frenlenmesi, tekerleğin bu hızlarda kilitlenmesinin çok riskli olduğunu göstermektedir. Bu sebeple sistemin cevap süreleri de oldukça kısadır. Sol ön tekerlek hemen hemen 0,1 s’de basınç değişimi göstermiştir. Yani o tekerleğin basıncı 0,1 s’de 0 değerine düşürülmüştür.

Fren pedal kuvveti değişimleri de yine arka tekerleklerin basınç düzenlemesi esnasında az değişimler gösterirken basınç yükselme safhasında daha büyük değişimler göstermektedir.



Şekil 8.14. Safrane test aracında yüksek hız ve yavaşlama ivmesinde sol ön, sol arka veya sol ön, sağ arka tekerleklerin çapraz kayması esnasındaki pedal kuvveti değişimleri

8.3.7. Safrane maksimum pedal kuvvetlerinde bütün tekerleklerde kayma testleri (F)

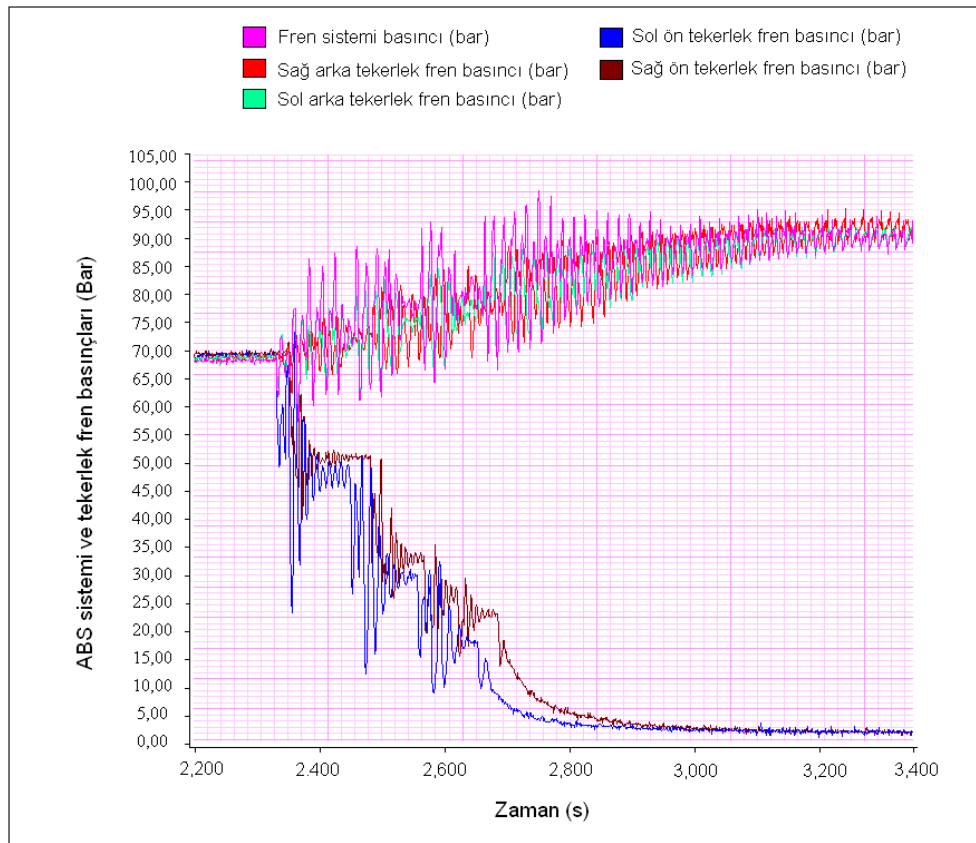
Maksimum pedal kuvveti uygulamaları ile minimum pedal kuvveti uygulamaları arasında bu ABS sistemi için fark görülmemiştir. Bütün testler esnasında değişimler daha çok yavaşlama ivmesi ve kayma değerleri değişimine göre farklılık göstermiştir. Ek 5'te örnek olması açısından sadece ön tekerleklerin kayma değerlerinin değiştirilerek ABS'nin aktif hale getirildiği bir test sonuç grafiği görülmektedir. Diğer değişimlerde benzer basınç ve pedal kuvveti değişkenleri için aynıdır. Kontrol yöntemleri ise yukarıda bahsedilen ve Ek 4'teki matriste verilen test isimleri ile aynıdır.

8.4. Renault Marka Megane (1999) Model Araç ABS Testleri

Megane üzerinde yapılan 168 adet testten ön incelemeler sonucunda net olarak değişimleri gözlemlenebilen ABS testleri değerlendirilmiştir.

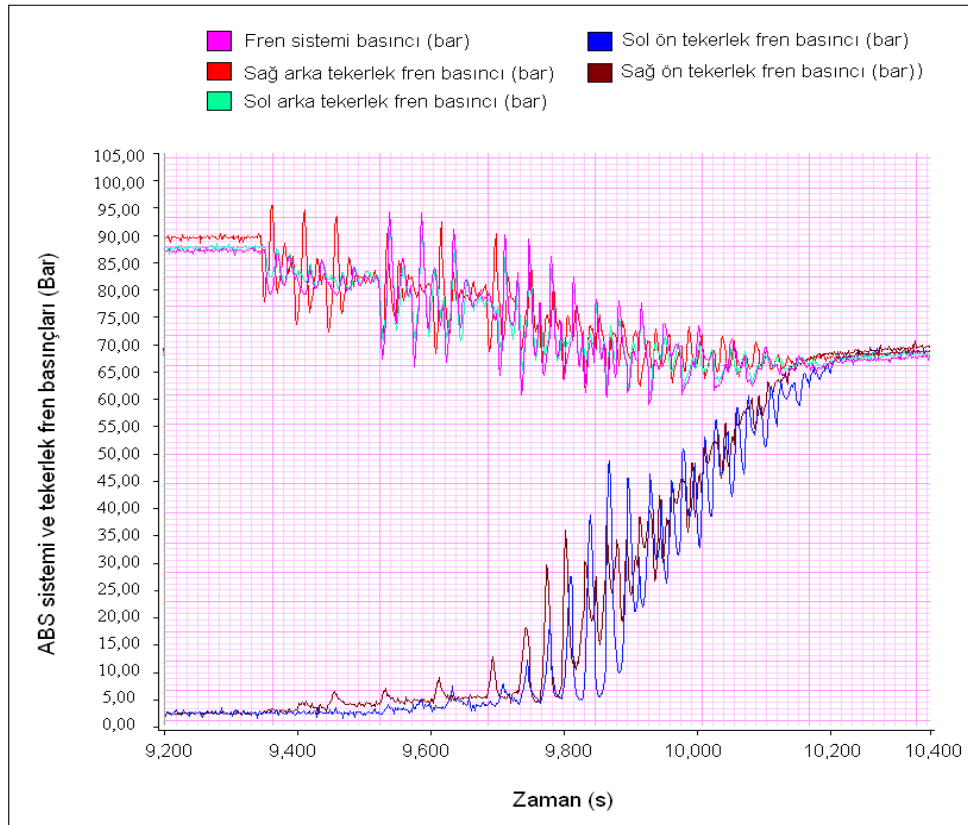
8.4.1. Megane sol ön ve sağ ön tekerleklerde kayma testleri (1)

Megane üzerinde gerçekleştirilen 24 adet testte Safrane (1) grubu testlerinde olduğu gibi aynı kontrol sonuçları elde edilmiştir (Şekil 8.15). Ancak bu araç üzerinde aynı 70 N pedal kuvvetine karşılık sistemde oluşan frenleme basınçları 70 bar ve daha yüksektir. Ön tekerlerdeki fren sistemi basıncı düşmesine karşılık sistem ve arka tekerlek basınçları daha fazla artış göstermektedir.



Şekil 8.15. Megane test arcında sol ve sağ ön tekerleklerin kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme başlangıcı)

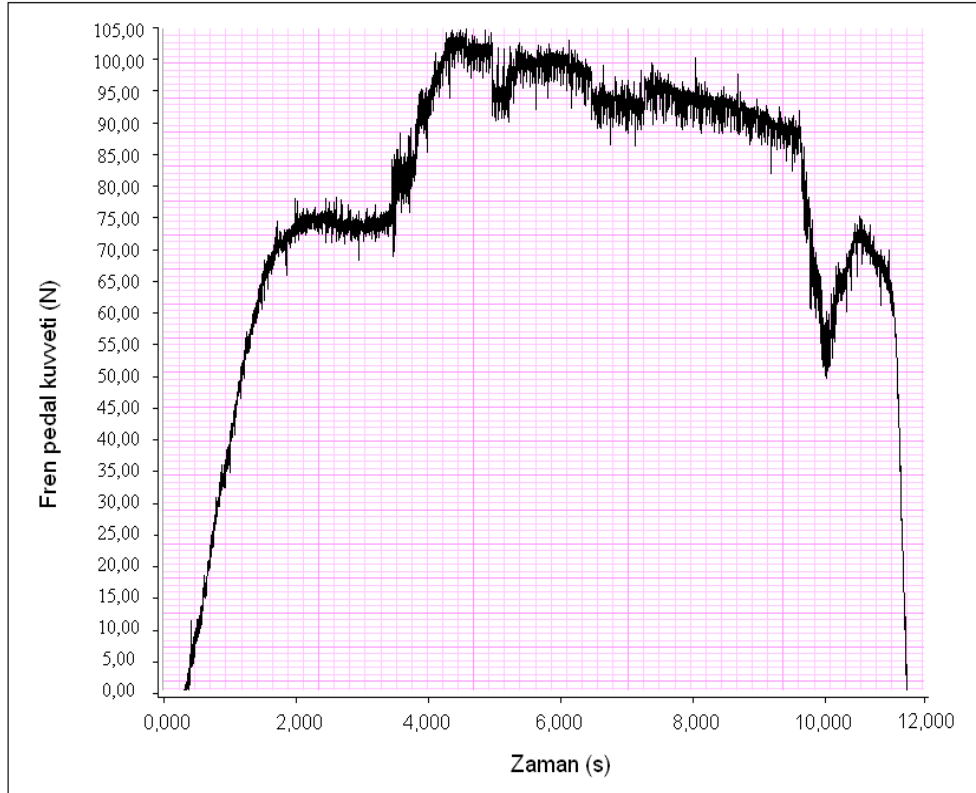
Aynı zamanda Megane (1) grubu testlerinde sistemin, kayma gerçekleşen tekerleğe müdahalesi ile o tekerleklerdeki fren basıncı düşürme safhaları daha hızlıdır. Ön tekerleklerdeki frenleme basınçları 0,5s içerisinde minimum değere ulaştırılmaktadır. Basınç yükselme aşamasında ise sistem kaymanın ortadan kalkması ile 0,9 s içerisinde bütün tekerleklerin basınçlarını frenleme başlangıç değerlerine getirmektedir (Şekil 8.16). Bu testler Safrane (1) grubu testlerine göre farklı olan en önemli fark fren basınçlarının daha yüksek değerlerde olması ve ABS'nin frenlemeye müdahalesi esnasında oluşan basınç değişimlerinin de 15-20 bar arasında olmasıdır.



Şekil 8.16. Megane test aracında sol ve sağ ön tekerleklerin kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme bitimi)

Fren pedal kuvveti değişimleri için Şekil 8.17 incelenecek olursa 2,3 s'de ABS'nin müdahalesi ile ön tekerleklerin basınçları düşürülürken yükselen fren sistemi basınç değerine bağlı olarak fren merkezindeki basınç artırılmaktadır. Bundan dolayı

pedalda oluşan tepki kuvvetleri ve titreşimler pedal kuvvetini 105 N'a kadar çıkarmaktadır. Basınç düşürme aşamasında ise pedal üzerinde meydana gelen kuvvetlerde ani bir azalma meydana gelerek pedal kuvveti tekrar başlangıçta uygulanan değerine gelmektedir.



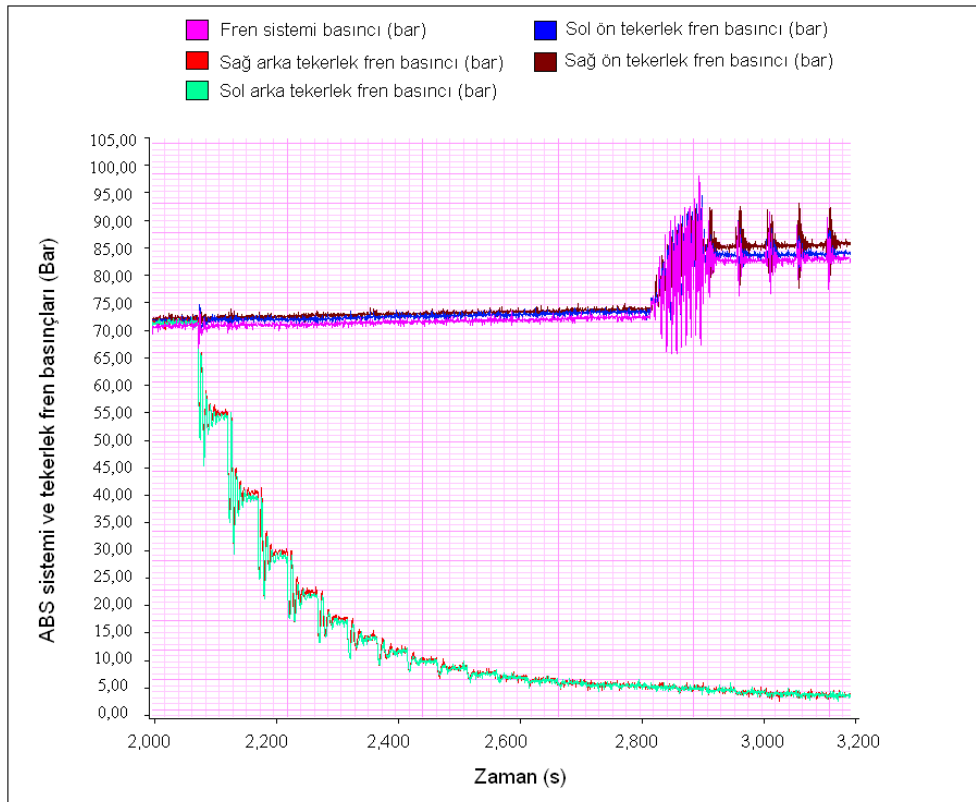
Şekil 8.17. Megane test aracında sol ve sağ ön tekerleklerin kayması esnasında oluşan pedal kuvveti değişimleri

8.4.2. Megane sol ön/sol arka veya sol ön/sağ arka tekerleklerde birlikte kayma testleri (2)

Bu test grubu sol ön ve sol arka, sol ön ve sağ arka çapraz kontroller için uygulanmıştır. Buradaki kontroller düşük pedal kuvvetlerinde %15, %25 kayma değerlerinde 50 km/h hızda 5 m/s² ivmede, maksimum pedal kuvveti değişimlerinde ise %15 kayma 50 km/h hız ve 5 m/s² ivme değişimlerinde görülmektedir. Sol ön tekerlek ile birlikte kaydırılan arka tekerleklerden herhangi birisinin kontrolü esnasında ivme ve hız düşük olduğu için sistem sadece arka tekerleği kontrol

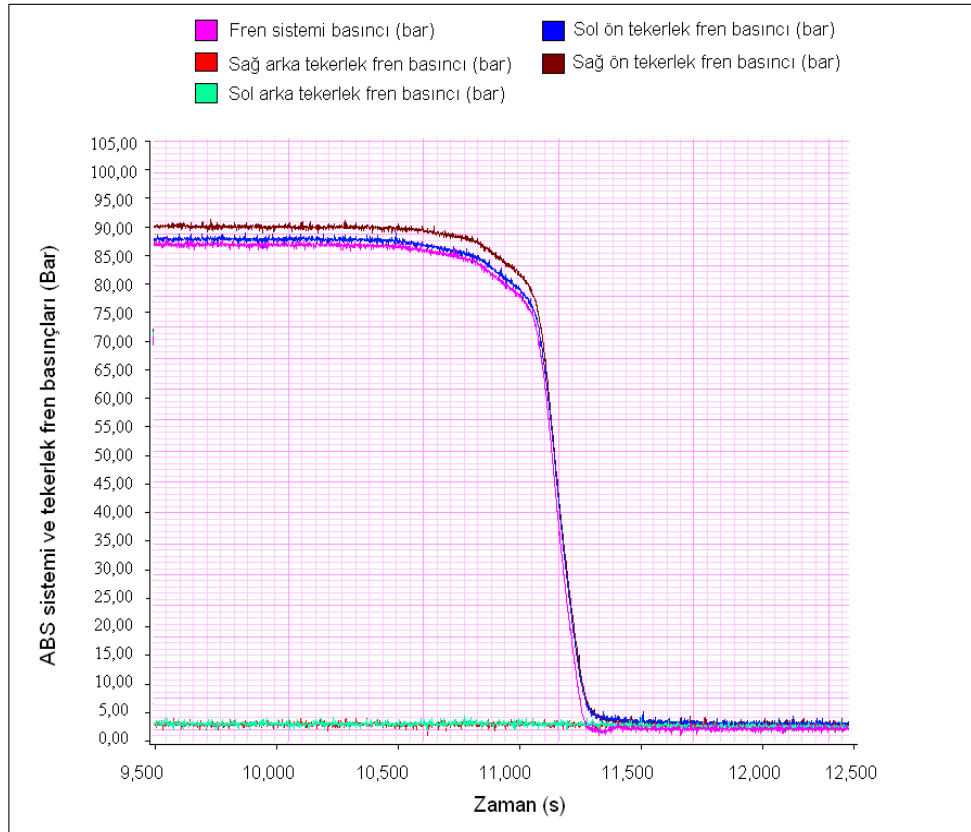
etmektedir. Safrane testlerinde olduğu gibi arka tekerlek kontrollerinide müşterek gerçekleştirirken sistemde arka tekerlek basınçları 0,9 s'de düşürülürken ön tekerleklerde ve sistem bacağında bu esnada hiçbir basınç değişimi gözlemlenmemektedir.

Arka tekerlek basınçları sıfır değerine ulaştığında elektronik kontrol ünitesi sistem ve ön tekerlek basınçlarını aniden 85 bar değerine ulaştırmaktadır (Şekil 8.18). İlk basınç yükseltilmesi esnasında gerçekleşen basınç salınımları daha sonra periyodik basınç değişimlerine dönmektedir. Kayma ortadan kaldırılana kadar bu durum devam ederken bu salınımlarda ortadan kalkarak basınçlar sabit kalmaktadır.



Şekil 8.18. Megane test aracında sol ön, sol arka veya sol ön, sağ arka tekerleklerin çapraz kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme başlangıcı)

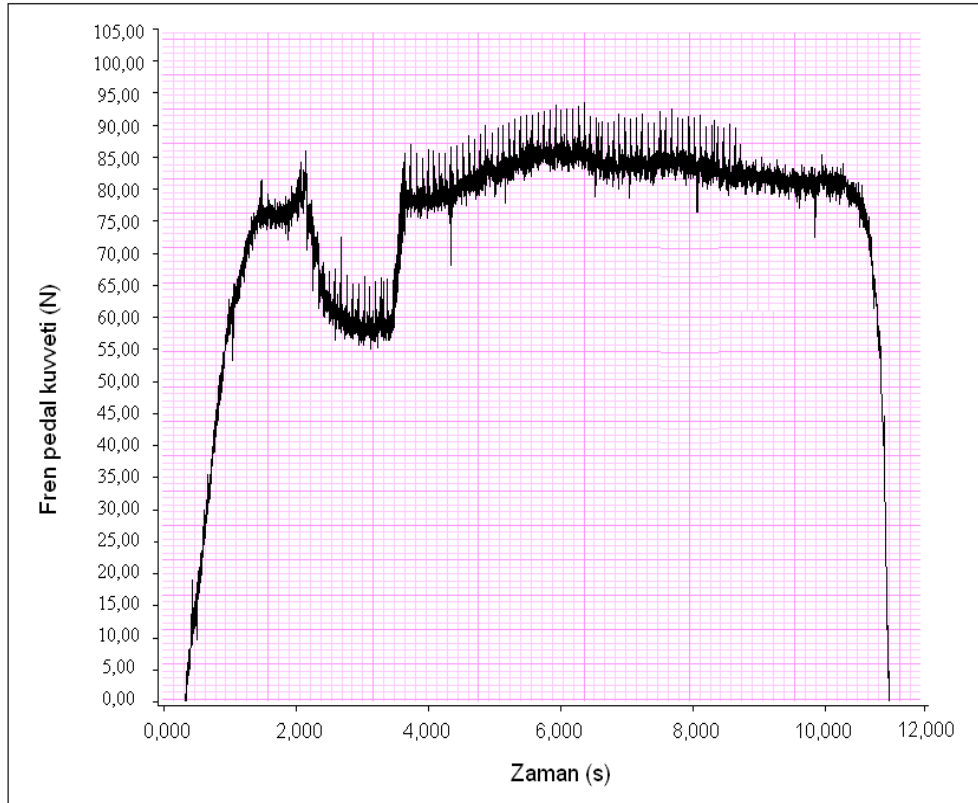
Kaymanın ortadan kaldırılması ile sistemde basıncı düşürülmüş arka tekerleklerdeki basınç fren pedalı bırakılana kadar yükseltilmemektedir (Şekil 8.19).



Şekil 8.19. Megane test aracında sol ön, sol arka veya sol ön, sağ arka tekerleklerin çapraz kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme bitimi)

Şekil 8.20'de fren pedalı kuvveti değişimleri görülmektedir. Ön tekerleklerin kayması durumundaki pedal kuvveti artışının tersine burada arka tekerlek basınçları düşürülünce pedal bir miktar hareket ederek üzerindeki kuvvet azalmaktadır.

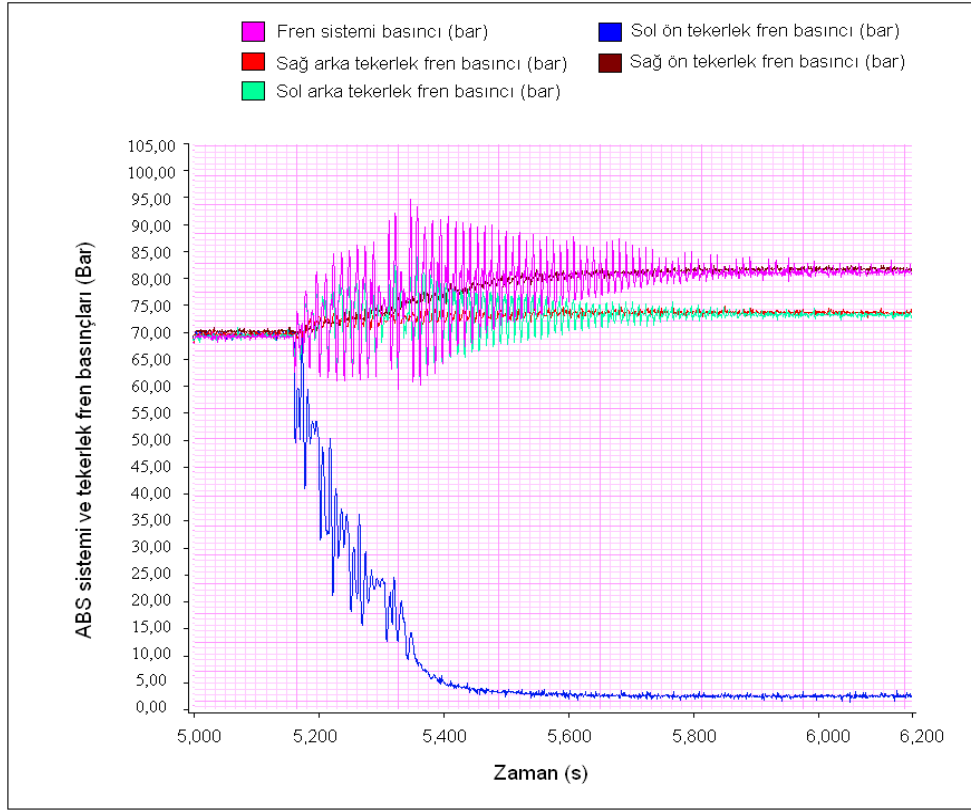
Daha sonrasında sürekli titreşim oluşan pedal da, kaymanın ortadan kalmasından sonra tekrar kuvvet artışı gözlemlenmektedir.



Şekil 8.20. Megane test aracında sol ön, sol arka veya sol ön, sağ arka tekerleklerin çapraz kayması esnasındaki pedal kuvveti değişimleri

8.4.3. Megane sol ön tekerlekte kayma testleri (3)

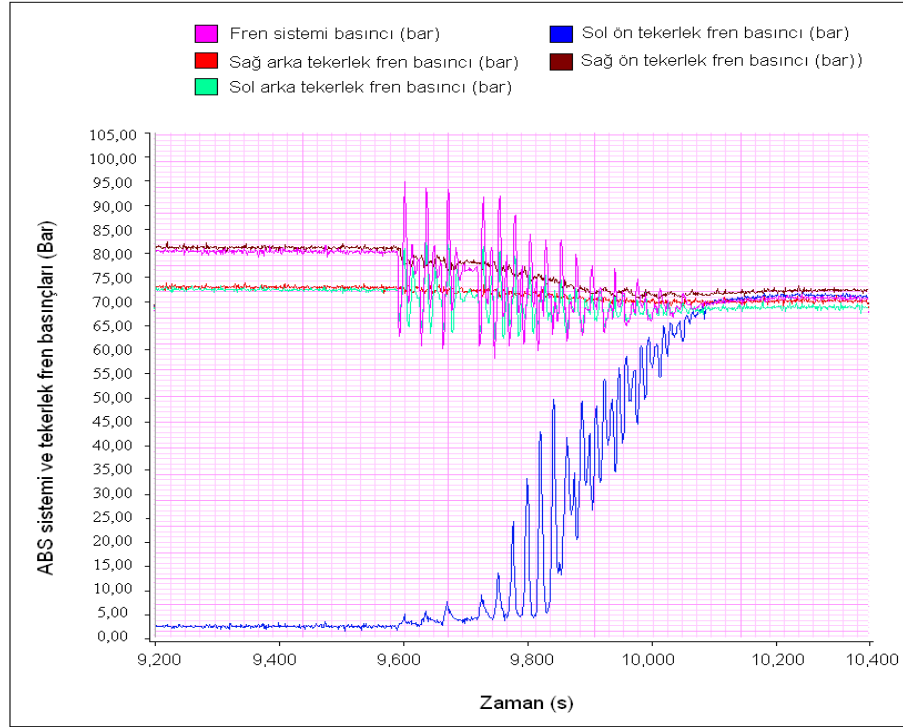
Bu test grubunda sol ön tekerleğin müstakil kontrolünde sistem sadece sol ön tekerleğe müdahale ederek bağımsız bir basınç kontrolü sağlamaktadır. Bütün durumlarda kısa bir sürede 0,3 s içerisinde sol ön tekerlek basıncı minimum değere düşerken buna bağlı olarak sistem basıncında ani artışlar görülmektedir. Bu esnada sistem basıncına bağlı olarak sağ ön ve arka tekerleklerin her ikisinde de basınç artışı vardır. Ancak bu araç üzerinde EBD kullanıldığı için arka tekerleklerin her ikisindeki basınç değeri 75 bar'da sabit tutulmaktadır. Sağ ön tekerlek basınç değeri 80 bar'a kadar yükselmektedir.



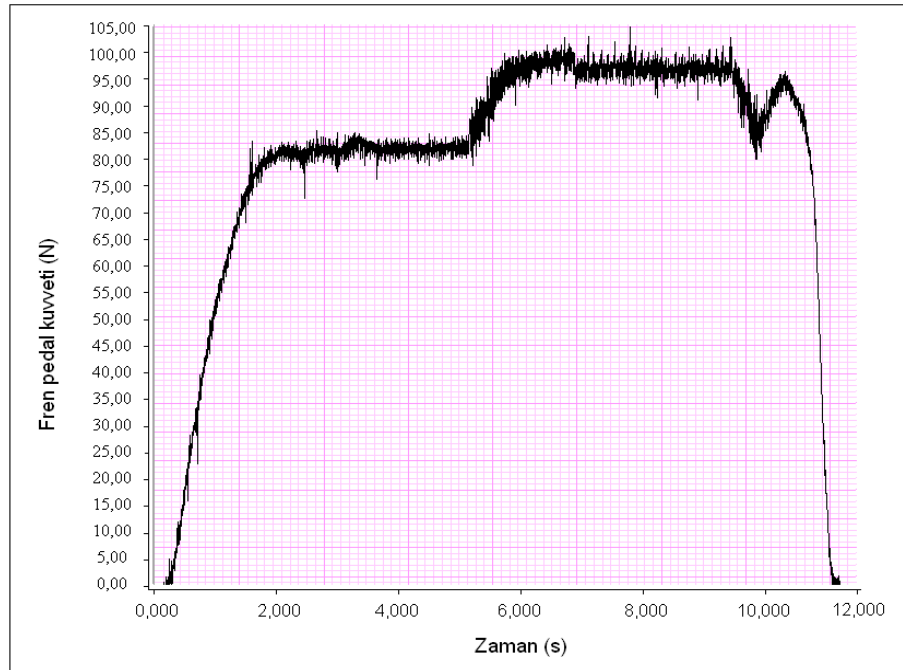
Şekil 8.21. Megane test aracında sol ön tekerleğin kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme başlangıcı)

Kayma kontrolünün sona ermesi sonucunda yani kaymanın ortadan kaldırılması ile sol ön tekerlek tekrar ani bir şekilde 0,4 s içerisinde frenleme başlangıç basınç değerine ulaşmaktadır. Bu esnada gerek sistem basıncı gerek sağ ön tekerlek basıncı gerekse sınırlandırılmış arka tekerlek basınçları da frenleme başlangıç değerlerine ulaşmaktadır (Şekil 8.22).

Fren pedal kuvveti değişimi ise (1) grubu testlerindeki benzer bir değişim sergilemektedir. Şekil 8.24’de pedal kuvveti değişimi ve titreşimler görülmektedir.



Şekil 8.22. Megane test aracında sol ön tekerleğin kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme bitimi)



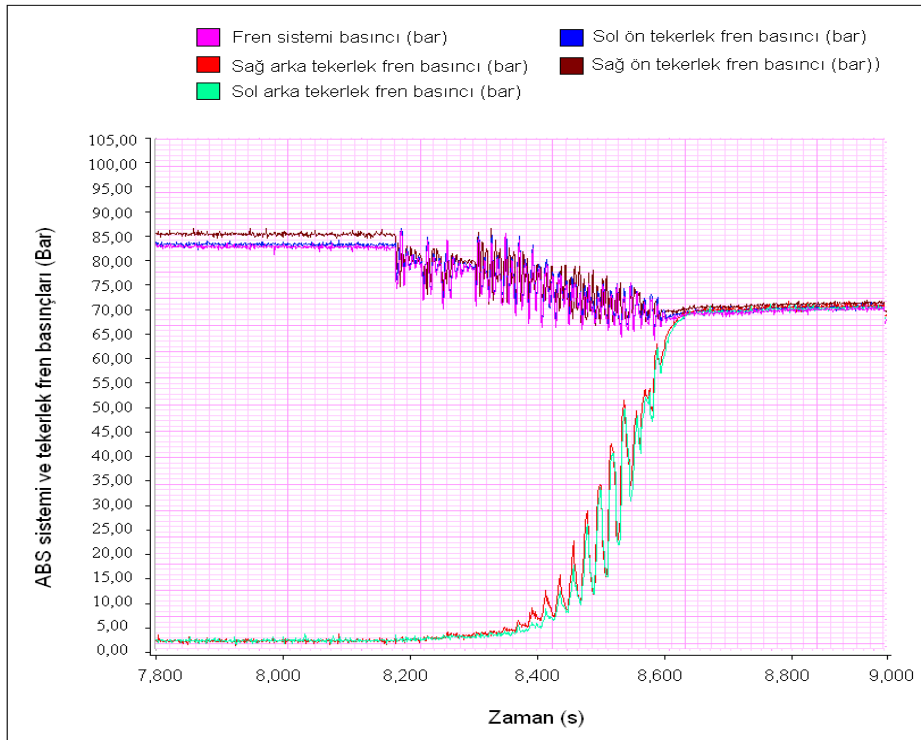
Şekil 8.23. Megane test aracında sol ön tekerleğin kayması esnasındaki pedal kuvveti değişimleri

8.4.4. Megane sağ ön tekerlekte kayma testleri (4)

Sağ ön tekerleğin müstakil kontrolünde de kontrol çevrimi aynen sol ön tekerlekteki gibi değişim sergilemektedir. Bu testlerde elde edilen sonuçlar Ek 5'te görülmektedir.

8.4.5. Megane sol arka veya sağ arka tekerlekte ayrı ayrı kayma testleri (5)

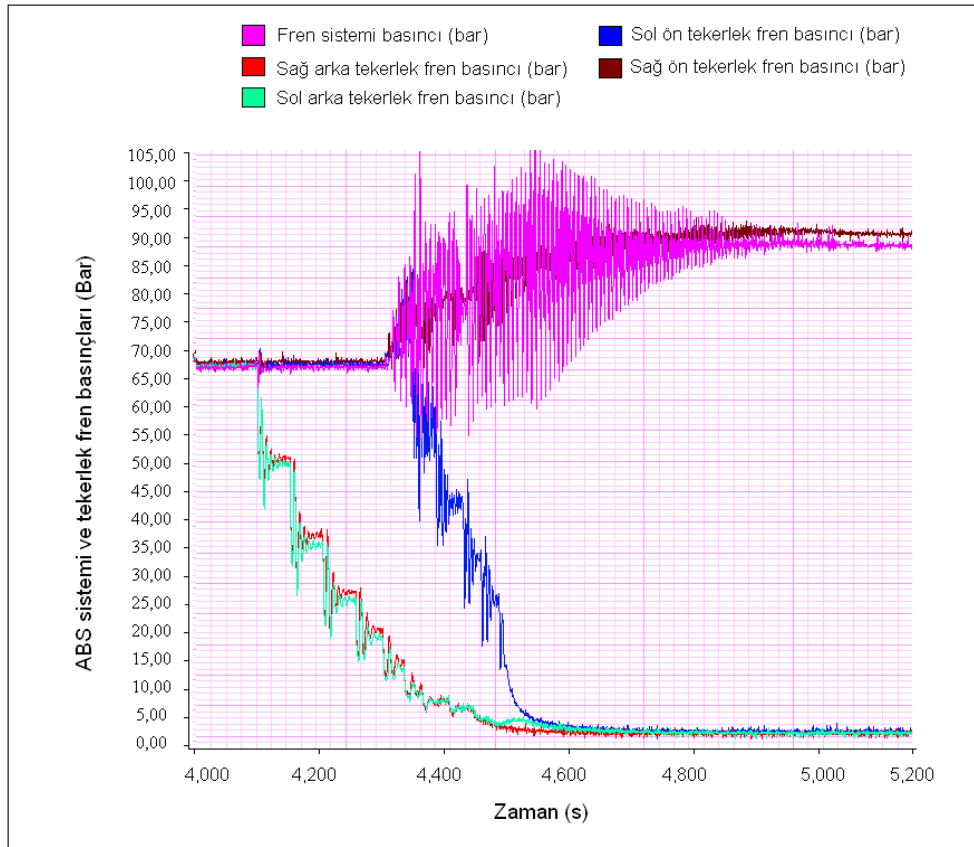
Düşük pedal kuvvetleri değişiminde %15 kayma değerlerinde her türlü hız ve ivme değişimine bağlı olarak, maksimum pedal kuvvetleinde %35 kayma değerlerine bağlı olarak değişim gösteren bir kontrolün olduğu test grubudur. Kayma başlangıcında basınç düşürme esnasında arka tekerleklerdeki kontrolü (2) grubu testlerindeki aynısıdır (Şekil 8.18). Basınç düşürme ve pedal kuvveti değişimleri Ek 5'te görülmektedir. Kaymanın ortadan kalması durumunda Şekil 8.24'de ki değişimler görülmektedir.



Şekil 8.24. Megane test aracında sol arka veya sağ arka tekerleklerin ayrı ayrı kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme bitimi)

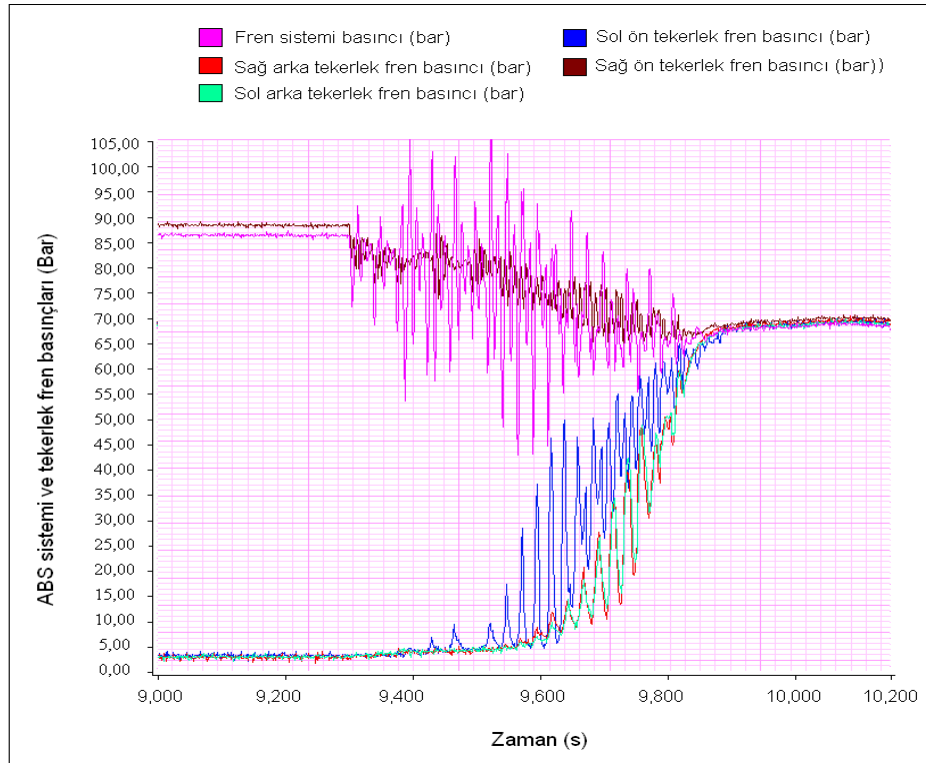
8.4.6. Megane sol ön/sol arka veya sol ön/sağ arka tekerleklerde birlikte kayma testleri (6)

(2) grubu testlerinden farklı olarak maksimum pedal kuvvetlerinde %35 kayma, %15 ve %25 kayma değerlerinde yüksek hızlarda, düşük pedal kuvvetlerinde de %35 kaymada meydana gelen kontroldür. (2) grubu testlerindeki şekli ile arka tekerleklerde basınç birlikte düşürülürken kısa bir süre sonra sol ön tekerlek basıncı da kontrol edilerek düşürülmektedir. Şekil 8.25’de görüldüğü gibi arka tekerlekler daha uzun bir sürede basınçları düşürülürken onlardan 0,3 s sonra sol ön tekerleğinde basıncı düşürülmektedir. Bu esnada sistem basıncındaki değişim ise oldukça yüksektir. Sistem basıncına bağlı olarak sağ ön tekerlek basıncıda artmaktadır.

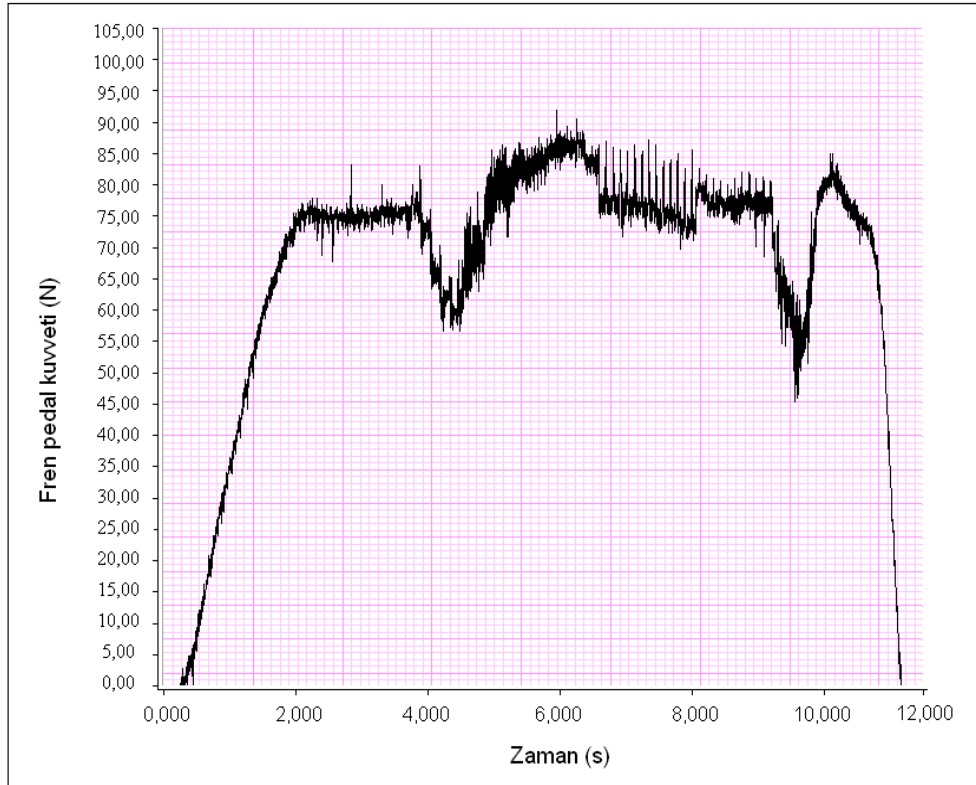


Şekil 8.25. Megane test aracında sol ön, sol arka veya sol ön, sağ arka tekerleklerin çapraz kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme başlangıcı)

Kaymanın ortadan kalkması ile birlikte kontrol sistemi basıncı düşürülmüş bütün tekerleklerin basınçlarını frenleme başlangıç basınçlarına ulaştırmaktadır. Ancak burada en önemli nokta ise sol ön tekerlek basıncının arka tekerleklere göre daha büyük bir basınç değişimi ile yükselmesidir. Arka tekerlekler kademeli olarak düşük basınç değişimleri veya salınımları ile yükselmektedir. Şekil 8.26'da basınç yükselme safhası görülmektedir. Fren pedal kuvveti değişimi ise frenleme başlangıcında arka tekerlek basınçlarının düşürülmesi ile birlikte azalırken daha sonra sol ön tekerleğin basınç düşüşü ile birlikte yükselmektedir. Kaymanın ortadan kalkması ile sol ön tekerlek basıncı yükselirken pedal üzerindeki kuvvet azalmakta ve başlangıç frenleme kuvveti değerine ulaşmaktadır. 0,7 s ve 0,8 s arasındaki pedal titeşimleri basınç değerlerinin tamamane düşürüldüğü esnada ortaya çıkmaktadır. Başlangıç fren pedal kuvveti ABS'nin devreye girmesi ile birlikte pedal üzerindeki kuvvetleri 85 N değerine kadar çıkarmaktadır. Şekil 8.27'de pedal kuvveti değişimleri görülmektedir.



Şekil 8.26. Megane test aracında sol ön, sol arka veya sol ön, sağ arka tekerleklerin çapraz kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme bitimi)



Şekil 8.27. Megane test aracında sol ön, sol arka veya sol ön, sağ arka tekerleklerin çapraz kayması esnasındaki pedal kuvveti değişimleri

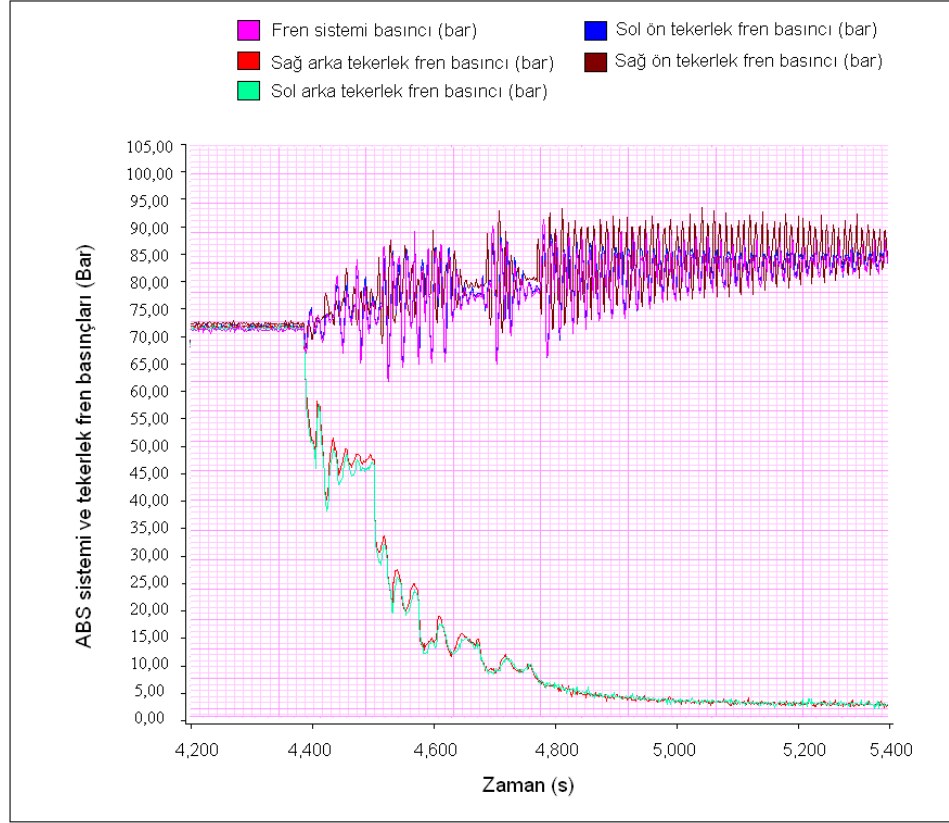
8.4.7. Megane sol ön/sol arka veya sol ön/sağ arka tekerleklerde %25 kayma testleri (7)

Megane (7) testleri kontrol açısından (2) grubu testleri ile aynıdır. Sadece burada gerçekleşen kontrolde fren basıncı düşürülmesi ve yükseltilmesi safhalarındaki zamanlamaların daha uzun olmasıdır. Fren basınç değişimleri ve pedal kuvvetlerindeki değişimler Ek 5'teki grafiklerde gösterilmiştir.

8.4.8. Megane düşük pedal kuvvetlerinde sol arka veya sağ arka tekerlekte ayrı ayrı kayma testleri (8)

Düşük pedal kuvvetlerinde yüksek kayma oranı %35 değerlerinde her türlü ivme ve hız değişimi için görülen kontrol arka tekerleklerin herhangi birisinin kayması

esnasında gerçekleşen kayma kontrolüdür. Şekil 8.28’de basınç düşürme safhası görülmektedir. Diğer değişimler Ek 5’te verilmiştir.

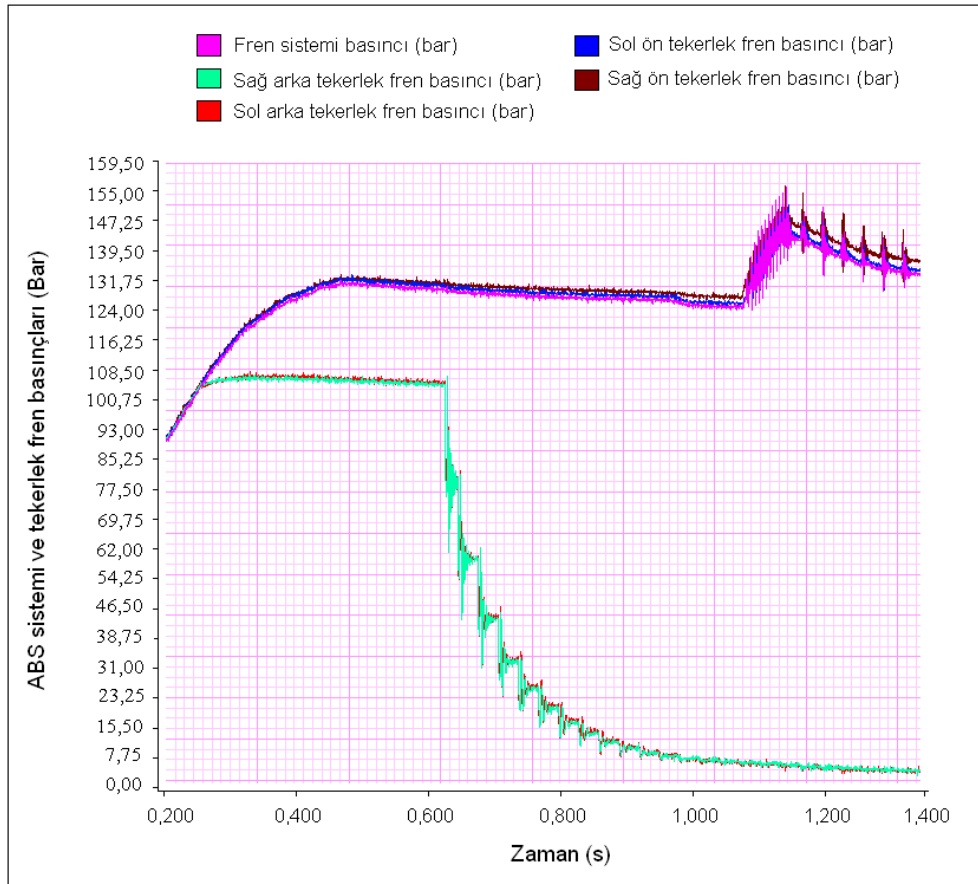


Şekil 8.28. Megane test aracındaki sol arka veya sağ arka tekerleklerin ayrı ayrı kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme başlangıcı)

8.4.9. Megane maksimum pedal kuvvetlerindeki kayma testleri (9)

Maksimum pedal kuvvetlerinde arka tekerleklerden herhangi birisinin bütün şartlar için geçerli olan parametrelerde (kayma, hız, ivme) gösterdiği kontrol Şekil 8.29’da görülmektedir. Sistem basıncı yükselirken kayma olmaması halinde 105 bar değerinde sistem arka iki tekerleğinde basıncını sabitlemektedir. Bir nevi limitör görevi gören bu sınırlandırma işlemi araç üzerindeki ABS sisteminin şartlarının oluşmadığı durumlardaki EBD etkisini göstermektedir. Daha sonra tekerleklerde meydana gelen kayma değerine bağlı olarak kontrol ünitesi arka tekerleklerin basınçlarını düşürürken ön tekerleklerin basınçlarında hiçbir değişim meydana

getirmemektedir. Arka tekerlek basınçları 0 değerine ulaştığı zaman sistem basıncı ve ön tekerlek basınçları artış göstermektedir. Kaymanın ortadan kalkması ile değişen basınçlar ve bu esnadaki pedal kuvveti değişimleri Ek 5’te görülmektedir.



Şekil 8.29. Megane test aracında sol arka veya sağ arka tekerleklerin ayrı ayrı kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme başlangıcı EBD etkisi)

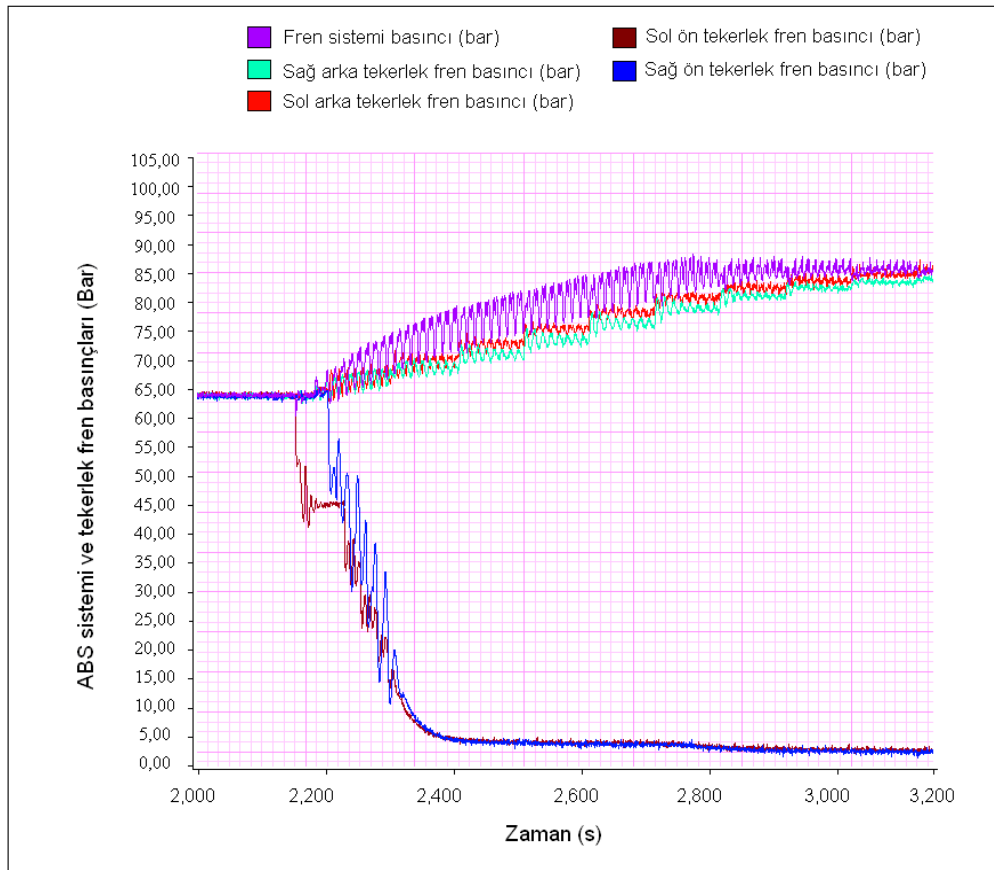
8.5. Honda Marka Civic (2001) Model Araç ABS Testleri

Honda üzerinde yapılan 168 adet testten ön incelemeler sonucunda net olarak değişimleri gözlemlenebilen ABS testleri değerlendirilmiştir. Kontrol değişimleri veya sayısal değerleri aynı olan testler için Ek 5’te verilen test matrisi tablosunda benzer olduğu değişimlerin numaraları yazılmıştır.

8.5.1. Civic sol ön ve sağ ön tekerleklerde birlikte kayma testleri (I)

Honda marka araç üzerinde gerçekleştirilen testlerde ise değişimler diğer araçlarda yapılan testlerde elde edilen sonuçlara benzerlikler göstermektedir. Ancak basınç değişimleri bu araçta daha kararlı ve düşük basınç değişimleri şeklindedir.

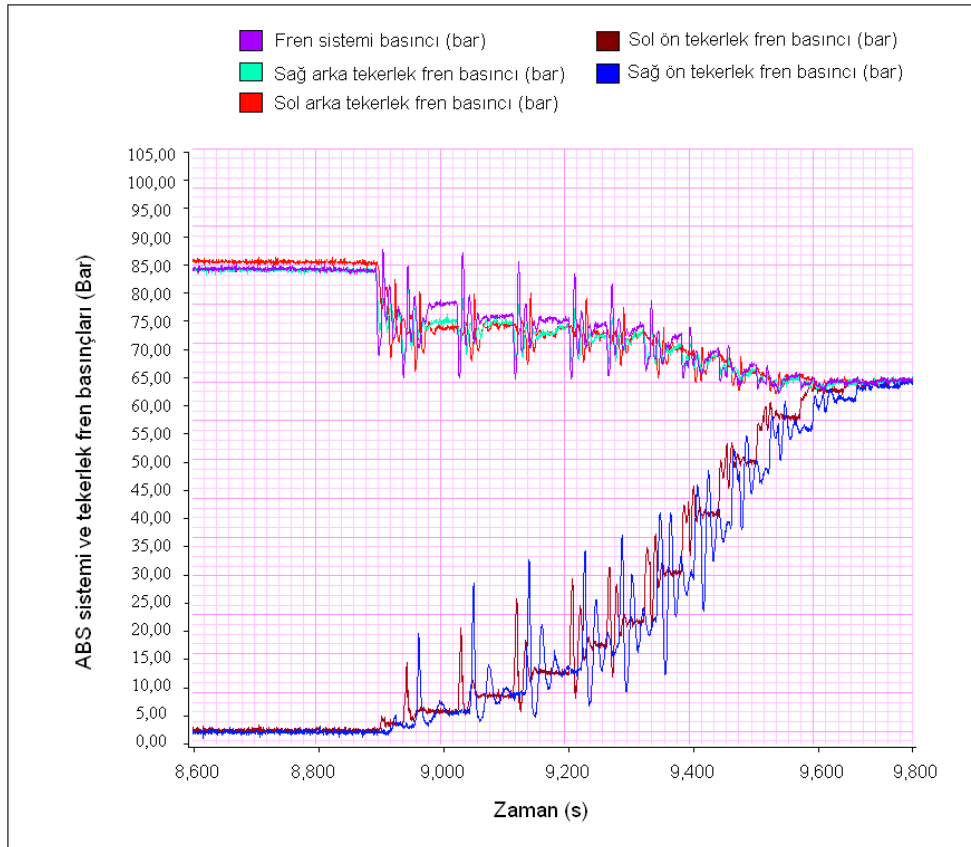
Şekil 8.30'de görüldüğü gibi ön tekerleklerin kayması esnasında basınç düşmesi çok hızlı bir şekilde 0,2 s'de gerçekleşmektedir. Bu esnada sistem ve arka tekerlek basınçlarında çok yükselme meydana gelmez iken basınç salınımları veya değişimleri de çok düzenli bir şekilde değişim sergilemektedir.



Şekil 8.30. Civic test aracında sol ve sağ ön tekerleklerin kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme başlangıcı)

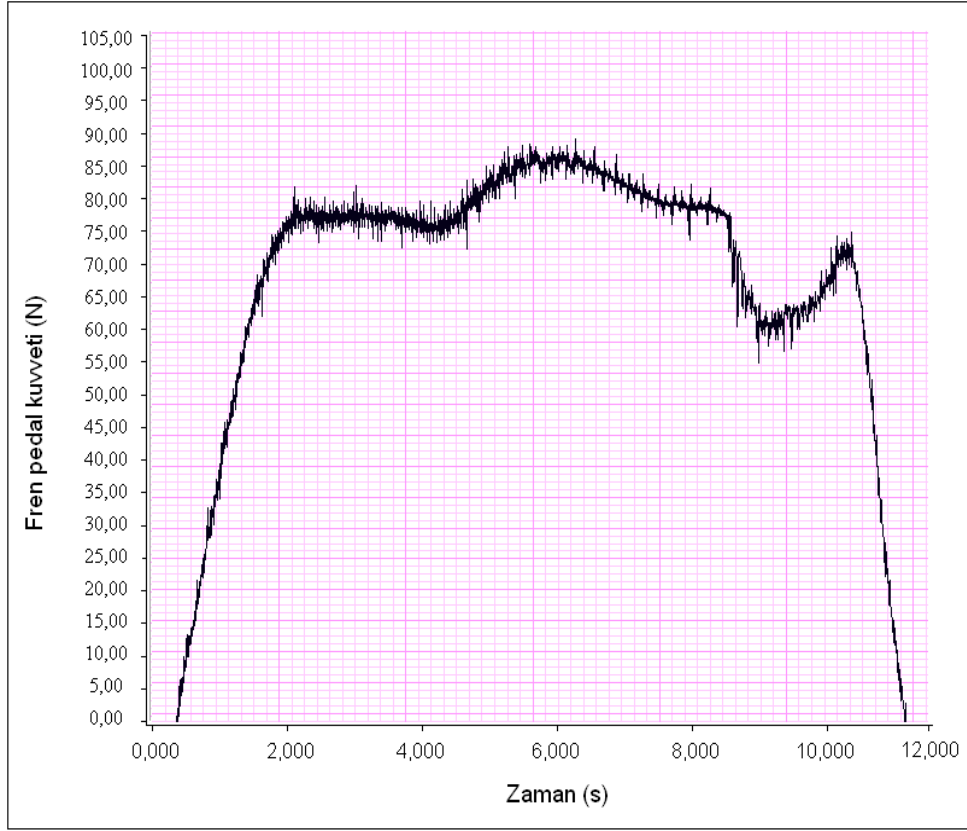
Ön tekerlek fren basınçları 0 değerine ulaştıktan sonra sistem ve arka tekerlek basınç artışları 65 bar'dan 85 bar değerine çıkarak bir süre bu basınç değişimleri devam etmiştir. Basınç yükselme safhasında ise daha hızlı ve ani basınç değişimleri görülmektedir (Şekil 8.31).

Düşük pedal kuvvetlerindeki basınç değeri bu sistem için yaklaşık 65 bar civarındadır. ABS devreye girdiği zaman 85-90 bar değerlerine kadar çıkmaktadır.



Şekil 8.31. Civic test aracında sol ve sağ ön tekerleklerin kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme bitimi)

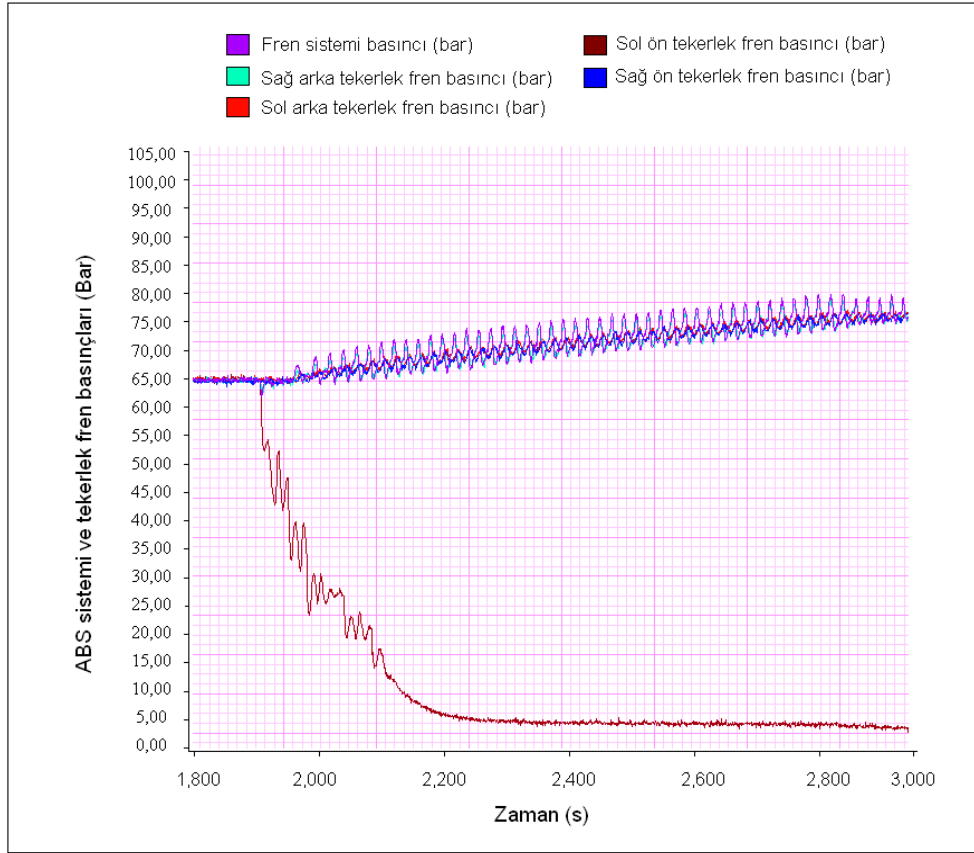
Pedal kuvveti değişimleri ise titreşim yönünden daha az ve kuvvet değişimleri açısından Megane ve Safrane testlerindekiyle benzerliler göstermektedir. Şekil 8.32'de örnek bu test için verilen pedal kuvvet değişimi görülmektedir.



Şekil 8.32. Civic test aracında sol ve sağ ön tekerleklerin kayması esnasındaki pedal kuvveti değişimleri

8.5.2. Civic sol ön tekerlekte kayma testleri (II)

Düşük pedal kuvvetlerinde bütün hız, ivme, kayma değişimlerinde sol ön tekerlekler için sistem aynı kontrolü gerçekleştirmektedir (Şekil 8.33). Genellikle bu araçta da yapılan bütün testler için geçerli olan temel değişim basınçların çok büyük aralıklarda değişim göstermemesidir. Yani basıncı düşen tekerleğin basınç değişimine bağlı olarak diğer tekerleklerde veya sistemde artan basınç değerleri çok büyük salınımlar yapmamaktadır. Bunun sebebi sistemde kullanılan solenoid valf yapılarının farklı olması ve bu araçta kullanılan ABS sisteminde giriş ve çıkış kanalları için ayrı ayrı valf grubu kullanılmasıdır. Sistem basınç düşürme safhası haricindeki aşamalar ve pedal kuvveti değişimleri Ek 5'te verilmektedir. (II) grubu testleri sol ön tekerleğin müstakil kayma kontrolünün olduğu testlerdir.



Şekil 8.33. Civic test aracında sol ön tekerleğin kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme başlangıcı)

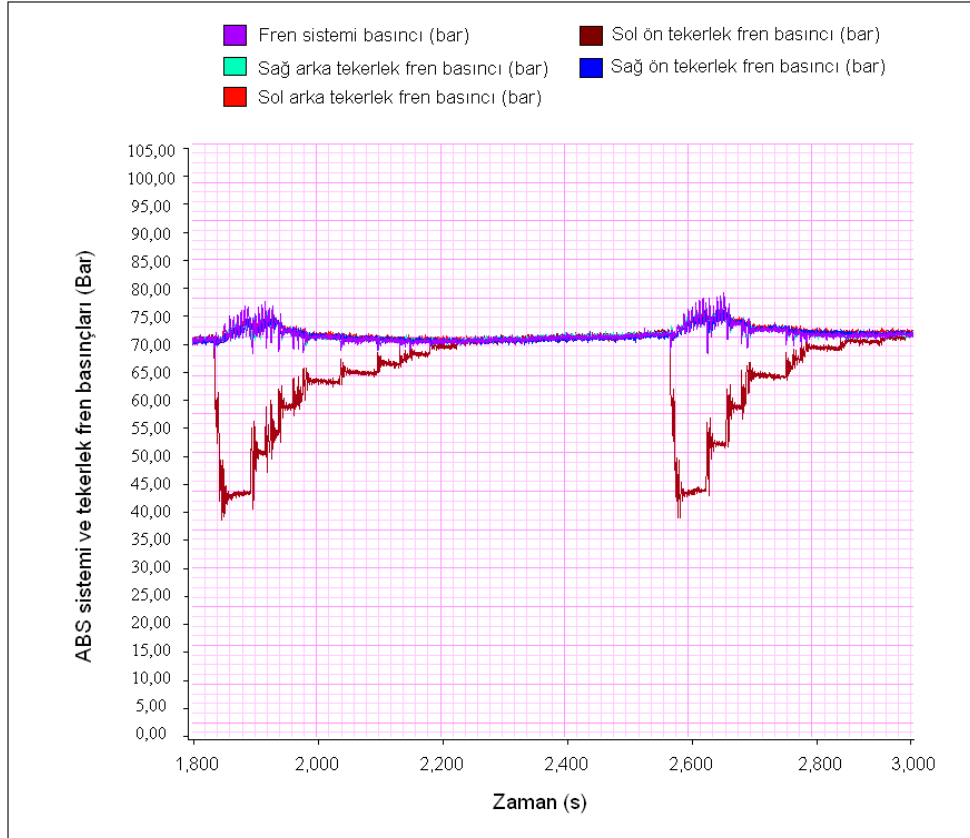
8.5.3. Civic sağ ön tekerlekte kayma testleri (III)

(III) grubu testleri kontrol olarak (II) grubu testleri ile aynı olduğundan dolayı değişimler ve kontrol metodu Ek 5’te verilmiştir. (III) grubu testleri sağ ön tekerlekte kayma oluşturularak kontrol edildiği testlerdir.

8.5.4. Civic düşük pedal kuvvetinde 5 m/s^2 ivmede sol ön ve sağ ön tekerleklerde ayrı ayrı kayma testleri (IV-V)

Bu testler düşük pedal kuvveti ve düşük ivmelerde sol veya sağ ön tekerlekte meydana gelen kayma değişimleri için uygulanmıştır. Sonuçta sistemin çok kısa süreli bir şekilde sol ön tekerleğe müdahale ettiği ve tekerlekte ani basınç değişimleri

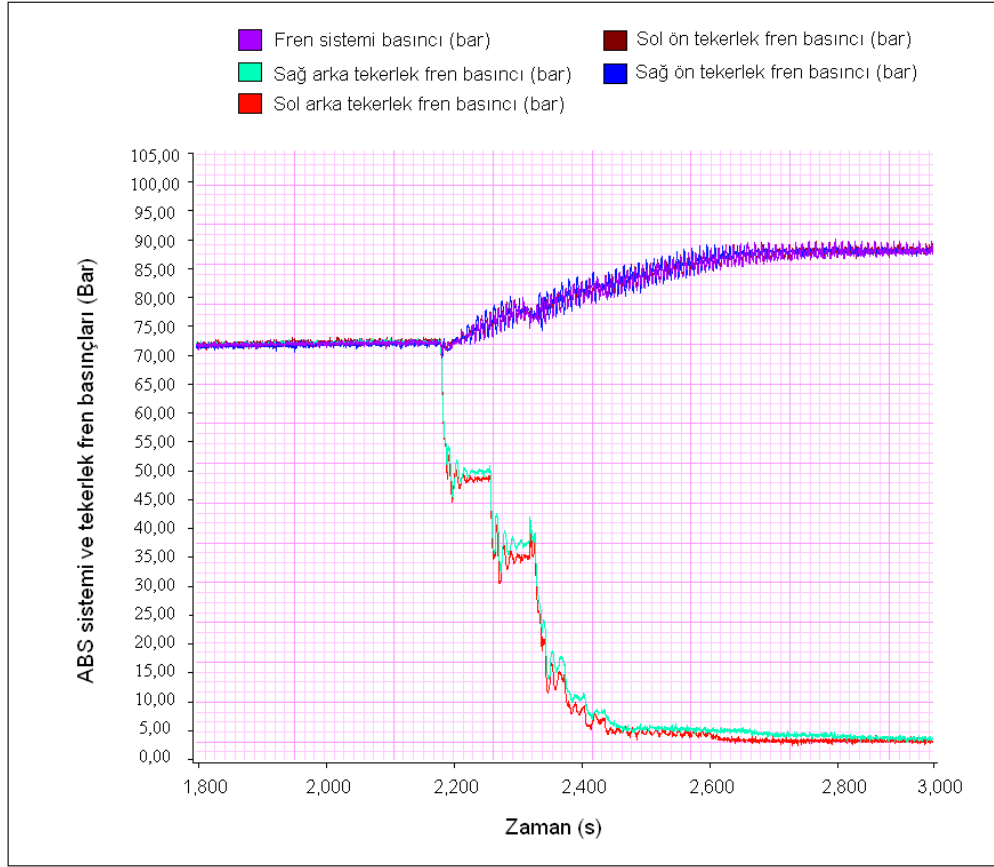
ile birlikte pedal kuvvetinde de azalan yönde bir etki oluşturulduğu Şekil 8.34’de görülmüştür. Sağ tekerlek kontrolü de bu durum ile aynıdır. Sağ tekerlek kontrolü için yapılan (V) grubu testleri ve sonuçta elde edilen değişim grafikleri Ek 5’te verilmiştir.



Şekil 8.34. Civic test aracında sol ön tekerleğin kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme başlangıcı)

8.5.5. Civic sol arka veya sağ arka tekerlekte ayrı ayrı kayma testleri (VI)

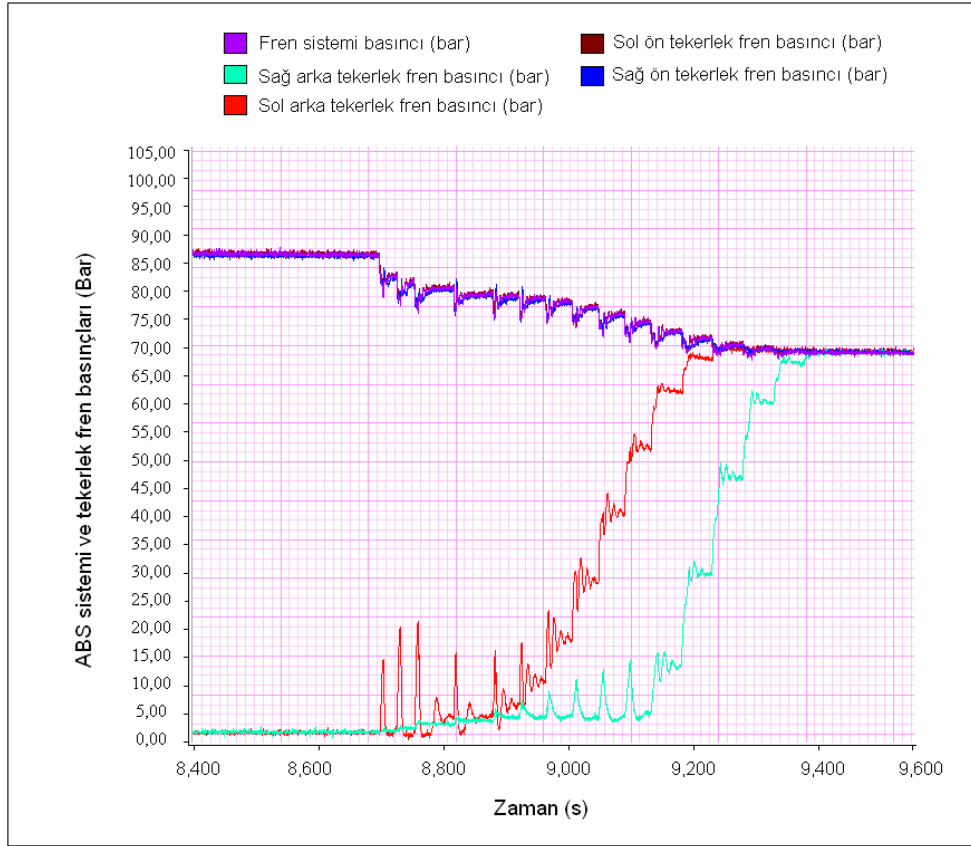
Sol arka tekerleğin müstakil kaydırıldığı ve bu esnada yapılan test grubudur. Basınç düşürme işlemleri diğer testlerde olduğu gibi Honda da arka tekerleklerde müşterek bir kontrol göstermektedir. Fakat basınç yükselme aşamasında kayan tekerleğin basıncında öncelikli bir basınç değişimi sağlanmaktadır.



Şekil 8.35. Civic test aracında sol arka veya sağ arka tekerleklerin ayrı ayrı kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme başlangıcı)

Ayrıca bu sistemde arka tekerleklerde kayma esnasında meydana gelen basınç düşürme işleminde süre oldukça kısaltılmıştır. Yaklaşık 0,2 s’de arka tekerlek basınçları 70 bar’dan 0 değerine düşmektedir.

Basıncın yükseltilmesi safhasında ise 0,5 s’de tekerlek basınçları tekrar frenleme başlangıcındaki değerlerine ulaşmaktadır. Pedal kuvvet kontrolü ise diğer değişimler ile aynıdır.



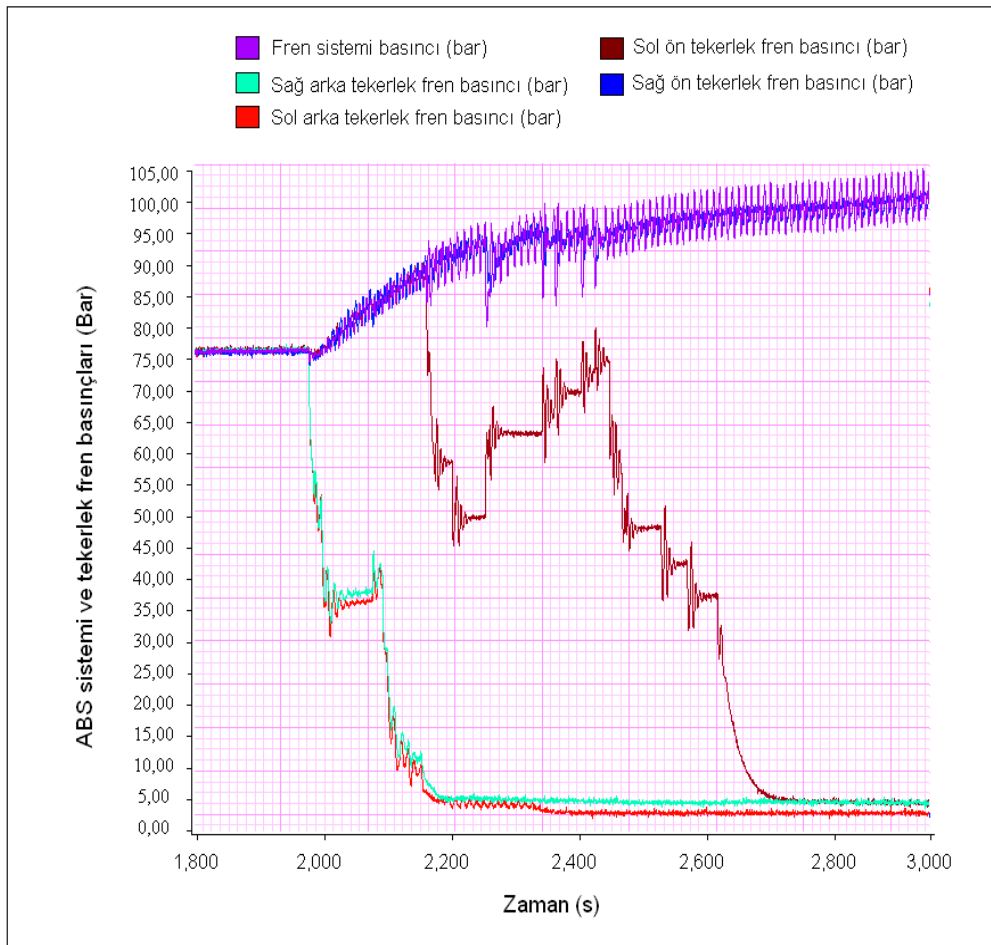
Şekil 8.36. Civic test aracında sol arka veya sağ arka tekerleklerin ayrı ayrı kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme bitimi)

8.5.6. Civic düşük pedal kuvvetinde sol ön ve sağ arka tekerleklerde % 35 kayma testleri (VII)

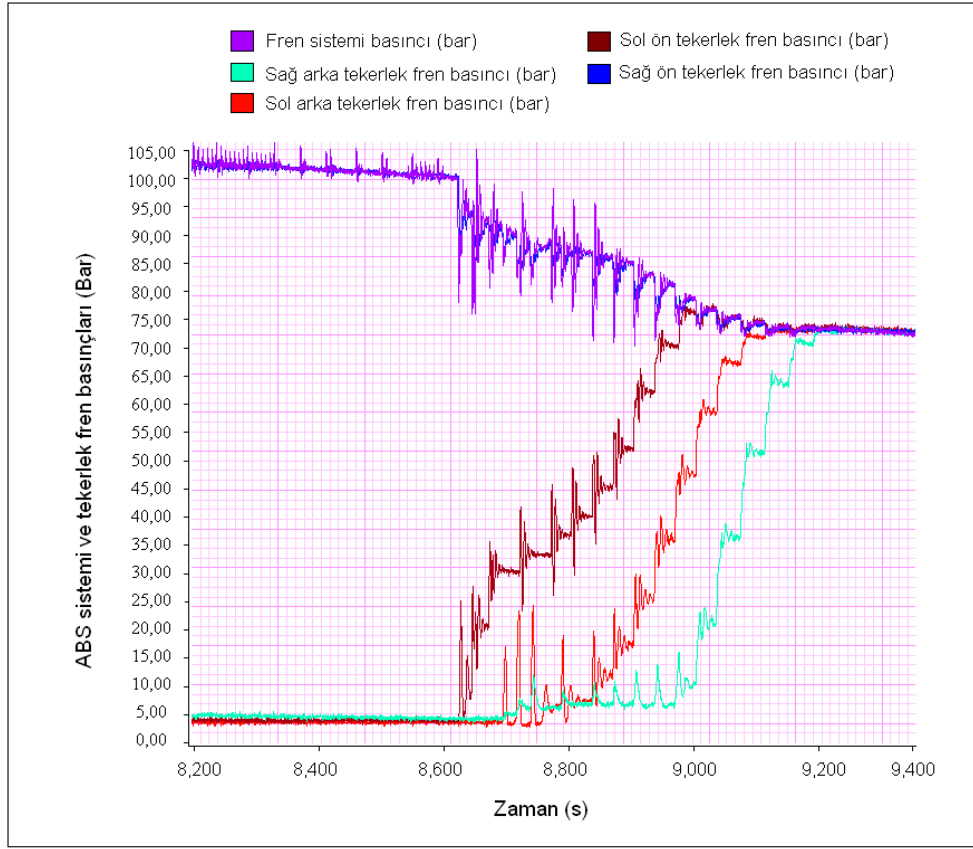
Bu test grubu sonuçları düşük pedal kuvvetlerinde % 35 kayma değerinde bütün hız ve ivme değişimlerinde gerçekleşen sol ön ve sol arka tekerlek kayma kontrolü için elde edilmiştir.

Frenleme başlangıcında eşit dağılımlar gösteren basınçlar kayma başlangıcı ile birlikte arka tekerleklerde aniden düşmektedir. Kontrol esnasında aslında sol ön ve sol arka tekerlekler kaydırıldığı için kontrolün bu ikisi üzerinde olması gerekmektedir. Ancak sistem arka tekerlekleri birlikte kontrol ettiği için öncelikle sağ ve sol arka tekerleklerde bir fren basınç düşüşü gerçekleştirmektedir. Daha sonra kayma değerinin % 35 olmasından dolayı sol ön tekerlekte de fren basınç

düzenlemesi yaparak onun basıncını da diğer arka tekerleklerin fren basınç değerlerine düşürmektedir (Şekil 8.37). Frenleme başlangıcında arka tekerleklerin basınçlarını 0,2 s'de 0 değerine düşürdükten sonra sol ön tekerlek basıncını 2,2 s'de onların 0 olduğu anda düşürmeye başlamaktadır. Sol ön tekerlek basıncını arka tekerlek basınçları gibi çok kısa bir sürede değil onun 2 katı bir sürede 0,4 s'de 0 değerine düşürmektedir.



Şekil 8.37. Civic test aracında sol ön, sol arka tekerleklerin birlikte kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme başlangıcı)



Şekil 8.38. Civic test aracında sol ön, sol arka tekerleklerin birlikte kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme bitimi)

Şekil 8.38’de basınç yükselme aşaması görülmektedir. Pedal kuvveti değişimi ise diğer testlerdeki değişimlere paralellik göstermektedir. Pedal kuvvet değişim grafiği Ek 5’te görülmektedir. Sistem benzer kontrolü sol ön sağ arka tekerlek kaymasında da göstermektedir.

9. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışma genel olarak 2 temel bölümden meydana gelmektedir. Birincisi yeni bir test sistemi ve metodunun geliştirilmesi, ikincisi ise geliştirilen bu sistem ile farklı 3 araç üzerinde yapılan ABS performanslarının değerlendirilmesi.

9.1. Geliştirilen Test Sisteminin Değerlendirilmesi

ABS fren sistemi etkinliği ve performans testlerinin yapılabilmesi için bir test sistemi ve cihazı geliştirilmiştir. Bütün araç sınıfları için uygulanabilirliği olan sistem temel düzeyde ABS fren sisteminin yol şartlarına çıkmadan yol şartlarındaki değişimlerin incelenerek test edilebildiği bir cihaz olmuştur. Geliştirilen cihaz sayesinde, ABS araştırma geliştirme çalışmaları ve yeni ABS sistemlerinin tasarımları esnasında sadece ABS sistem elemanlarını test etmek mümkün olabilmektedir. Bunun yanı sıra ABS kullanılan araçlarda zamanla oluşan fren arıza ve etkinlik kayıpları ile ilgili de incelemeler yapılabilir.

ABS etkinlik testleri genellikle yol ve sistem testleri olarak yapılmaktadır. Yol şartlarında fren sistemi elemanlarının her birisinin tek tek verimindeki kayıplar sistemin bütüne yönelik verimi de olumsuz yönde etkilemektedir. Bundan dolayı yol testlerinde genellikle sistemlerin araç kullanımı esnasındaki durumları incelenmektedir.

Diğer taraftan bazı üreticiler ar-ge amaçlı temel düzeyde ABS test cihazları ve ekipmanları üretmişlerdir. Ancak detaylı bir incelemeye yönelik çalışmada bu tür ekipmanlar iyi sonuçlar vermemiştir. Örneğin hızın çok fazla artırılamaması, ivme değişkenlerinin sağlanamaması, tekerlek zemin etkileşimlerinin veya fren elemanlarının (balata, kampana, disk) sistemde etkin olması, buna bağlı olarak sistemin müstakil değerlendirilememesine yol açmaktadır.

ABS performansı çok kısa süre içerisinde ABS kontrolüne yönelik parametre değişimlerinin yorumlanması sonucunda değerlendirilebilmektedir. Bu nedenle test sistemlerinde veri kaydetme hızının çok yüksek olması gerekmektedir. 1 s’de tekerleklerde 10 defa basınç değişimi oluşturan bir ABS’de verileri incelemek için en fazla 0,2 s zamana ihtiyaç vardır. Aksi takdirde daha uzun zamanda elde edilen veriler ile frenleme değişkenlerini anlamlandırmak zor olacaktır. Bu sebeple geliştirilen test cihazında veri akış hızı oldukça yüksektir. Saniyede 250.000 veri alma hızına sahip test sisteminde 0,001 s’deki basınç, pedal kuvveti ve hız verilerinin değişimleri alınabilmektedir. Aynı zamanda alınan veriler test yapan kişi tarafından gerçek zamanlı olarak araç içerisinde gözlemlenebilmektedir.

Yol şartlarında temin edilmesi oldukça güç olan zemin şartları sistem üzerinde rahatlıkla sağlanmakta ve testleri gerçekleştirmek oldukça kolaylaşmaktadır. 1 s’nin % 20’lik bir diliminde sisteme müdahale edebilen bir ABS sistemini yol şartlarında test etmek için frenleme zamanının daha uzun olması gerekmektedir. Bu zamanda tekerlekte meydana gelen değişimlerin kayıt altına alınması ve yorumlanması oldukça zordur. Bunların yanı sıra tekerlek zemin etkileşiminin çok homojenize olması ve sürekli benzer zemin şartlarının oluşturulması da güç bir durumdur.

Geliştirilen test sistemi ile her bir tekerleğin ayrı ayrı kontrolleri ve araç üzerinde sağ ve sol taraf tekerlerin birlikte kontrolleri, zemin değişimlerini simüle etmekte kolaylık sağlamaktadır. Diyagonal (çapraz) kontrol tekniklerini veya bu durumdaki kaymalarda taşıt refleksi (fren pedal hissi) ve ABS davranışları net bir şekilde gözlemlenebilmektedir. Bu şartların sağlanabilmesi araştırma amaçlı yapılan çalışmalarda büyük bir avantaj sağlamaktadır.

Tekerlek basınçları (bar) olarak, fren pedal kuvveti (N) olarak, ivme değişimleri (m/s^2) ve kayma (%) olarak ölçülmekte veya hesaplanmaktadır. Ölçülen veriler ile her bir araçtaki farklı fren sistemleri karşılaştırılabilmektedir.

Özellikle riskli testler için (yüksek hızlı, panik frenleme durumları) ideal bir uygulama olan cihaz testlerinde, çok düşük hızlarda yol şartlarında sağlanamayacak durumları da temin edilebilmektedir. Yolda kuru zemin şartlarında ani frenlemelerde çoğu zaman ABS devreye girmeden araç durmuş olmaktadır. Ama cihaz üzerinde aynı şartlar çok uzun süre sisteme uygulandığı takdirde ABS çalışma sınır değerleri rahatlıkla tespit edilmektedir.

Frenleme kuvvetini oluşturan temel faktör sistemdeki frenleme basıncının değeridir. Buna bağlı olarak kilitlenmeyi etkileyen en önemli değişim ise zemine göre tekerleklerdeki frenleme basınçlarıdır. Düşük tutunma katsayısına sahip zeminlerde fren basıncının ani artışı veya çok yüksek olması tekerleklerin çok büyük bir ivme ile frenlenerek kilitlenmesine sebep olmaktadır. Kuru zemin şartlarında da araç üzerindeki yük, yolcu değişimleri ile birlikte frenleme ivmesi değişimin düşük veya ani olması gibi faktörlerde de ABS kilitlenme eğilimi gösterebilir. Bu tür durumlarda taşıt hareketine frenlemenin etkisi nasıl olmaktadır? Araç dengesiz frenlemelerde ne tarafa çekme hareketi gerçekleştirir? Direksiyon hâkimiyeti hangi durumlarda zor olur? Bunun gibi soruları uygun yanıtlamak için geliştirilen ABS test sistemi ve test metodu iyi sonuçlar vermektedir.

Birçok problemin çözümüne yönelik olarak test sisteminde farklı test matrisleri geliştirilerek o problemlere çözüm olacak sonuçlar elde edilebilmesi ölçüm sisteminin ve test cihazının universal bir kullanım için uygunluğunu göstermektedir. Tekerleklerin kilitlenme sınırlarını, sistemin arıza koşullarını, ABS etkinliği için pedal kuvveti değerlerini, tekerlekler arasındaki maksimum basınç farklılıklarını, EBD etkisini ve hatta ileri düzeyde ESP kontrol parametrelerini incelemede etkin bir test yöntemi olan ABS test sistemi çok amaçlı kullanım için tasarlanmıştır.

Yol şartlarında bir daha tekrarlanabilirliği düşük ihtimal olan testler cihaz üzerinde çok defalar tekrarlanıp değişimlerin birbirleri ile korelasyonları yapılabilmektedir. Değişkenler aynı olmak kaydı ile sistem tepkileri her zaman aynı olmaktadır. Ancak yol şartlarındaki değişimleri gözlemlemek ve bunları yorumlamak için sistem

parametrelerini çok iyi bilmek gerekmektedir. Test cihazını temel düzeyde araç bilgisi olan birçok kullanıcı rahatlıkla kullanabilmektedir.

Test cihazı üzerinde basınç değişimleri 0,1 bar hassasiyet ile ölçülebilmektedir. ABS'li araçlarda frenleme basınçları düşük pedal kuvvetlerinde 65 bar, yüksek pedal kuvvetlerinde 80 bar değerine kadar çıkmaktadır. Ancak ABS'nin devreye girmesi ve hidrolik modülatör ünitesindeki elektrik motorunun çalışması ile birlikte basınç değerleri % 50'lere kadar değişim göstermektedir. Bu değişimler yine 0,1 bar hassasiyetle ölçülmektedir. Ayrıca birçok basınç sensörü statik basınç olarak ölçüm yapmakta ve ani basınç değişimlerini yakalayamamaktadır. Test sisteminde kullanılan basınç sensörleri çok kısa süre içerisindeki dinamik basınç değişimlerini ölçme özelliğindedir. Sistemdeki ani basınç düşmesi veya yükselmesi esnasındaki cevap süresi (response time) oldukça yüksektir. Yani çok küçük basınç değişimlerine dahi kısa sürede cevap verebilmektedir.

9.2. Farklı ABS Donanımlarına Sahip Araç Testlerinin Değerlendirilmesi

Farklı 3 araç üzerinde gerçekleştirilen testler sonucunda her araç için değerlendirme grupları oluşturulmuştur. Her bir araç tekerleklerinde 7 farklı kayma durumu meydana getirilerek bu durumlarda farklı pedal kuvveti, farklı yavaşlama ivmesi, farklı fren başlangıç hızı ve farklı kayma oranı uygulanmıştır. Test sonuçları kısmında da her bir grup ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Performans değerlendirmesi açısından incelendiği takdirde en uzun kontrol sürelerine sahip olan sistem Safrane'dir. ABS'nin ilk versiyonlarından birisi olması ve sistemde kullanılan elemanların teknolojilerinin diğer Megane ve Civic araçlara göre daha eski olmasından kaynaklanmaktadır. Safrane testlerinde ön tekerleklerin aynı anda % 35, % 25 ve % 15 kayma değerlerinde sistem her iki tekerlekte de aynı zamanda aynı kontrolü yaparak 0,9s'de kayan tekerleklerdeki basıncı 0 bar değerine düşürmektedir. Bu süre Megane test aracında 0,5 s, Civic test aracında ise 0,3 s'dir. Safrane test aracı

ile Megane test aracı arasında % 44'lük bir zaman farkı varken Civic test aracı ile Megane test aracı arasında ise % 40'luk bir zaman azalması görülmektedir.

Bunun sebebi ise sistemlerde kullanılan giriş ve çıkış valf kesitleri, valf sayıları ve valf kontrol çeşitleridir. Civic test aracında kullanılan ABS versiyonunda valf boyutları daha küçüktür. Ayrıca ön tekerleklerin her birisinde bir giriş ve birde çıkış valfi bulunmaktadır. Bunun avantajı ise sistemde basınç yükseltme ve düşürme safhalarında işlemlerin çok kısa sürelerde gerçekleştirilmesidir.

Bununla birlikte sistemde kilitlenme eğiliminde olan veya büyük kayma değeri ile frenlenen tekerlekte basınç değişim süreleri uzadıkça araçta dinamik hareket esnasında farklı frenleme kuvvetleri oluşacağı için araç bu kuvvetlerin etkisinde kalacaktır. Örneğin kilitlenme eğiliminde olan tekerlekte daha uzun sürede fren sistem basıncına müdahale edilirse o tekerlekteki frenleme kuvveti aracın o tekerlek tarafına çekme yapmasına sebep verebilecektir. Bundan dolayı sistem tekerlek basınçlarına ne kadar kısa sürede müdahale ederse araç dinamik hareketleri o kadar kararlı olacaktır.

Sol ön ve sol arka veya sol ön ve sağ arka çapraz kayma durumunda yapılan testler sonucunda ise Civic test aracında kontrol esnasında basınç düşme süresi 0,2 s, Megane test aracında 0,5 s ve Safrane test aracında 0,7 s'dir. Burada da yine solenoid valflerin kumandalarından kaynaklı farklar oluşmaktadır. Böyle bir kayma durumunda ise arka tekerleklerin birlikte kontrolleri her 3 araç içinde aynıdır. Yani her 3 test aracında da sistem ön tekerlekleri birbirlerinden bağımsız arka iki tekerleği birlikte kontrol etmektedir. Böyle bir kayma durumunda arka tekerleklerin kilitlenmesi genellikle çok riskli bir durumdur. Çünkü araçta frenleme esnasında arka tekerleklerde kilitlenme aracın savrulmasına sebep olmaktadır. Arka tekerleklerin kilitlenmesi ön tekerleklerin kilitlenmesinden daha risklidir. Bu sebeple test araçlarında kullanılan sistemlerde özellikle arka tekerlek kontrollerinde kayma esnasındaki kontrol sürelerinin eskiden yeniye göre karşılaştırıldığında % 60 civarında net bir zaman farkı olduğu görülmektedir.

Bunlarla birlikte kontrol tekniği açısından incelediğimizde her 3 araçta da arka tekerlekler düşük duyarlı (select low) kontrol tekniğine göre kumanda edilmektedir. Ön tekerleklerde ise yine 3 sistemde de bağımsız kontrol tekniği uygulanmıştır. Çünkü ön tekerleklerden birisinin bir anlık kilitlenmesi o tekerlekteki yanal kuvvet değerini azaltarak direksiyon kontrolünü ve taşıt kararlılığını olumsuz yönde etkileyecektir. Ancak bağımsız kontrol tekniğinde de müdahale sürelerinin uzun olması yine taşıt hareketini olumsuz yönde etkileyecektir. Bundan dolayı gelişim sürecine göre incelendiğinde en son üretilen sistemlerde bu süreler oldukça minimize edilmiştir.

Sol arka veya sağ arka tekerleklerde ayrı ayrı kayma kontrolleri de yine bir önceki kayma durumlarındaki sonuçların elde edilmesini, birlikte select-low kontrol tekniğini ortaya koymuştur. Diğer kayma durumlarından farkı sadece pedal kuvvetleri değerlerinin değişimleridir. Ayrıca sistemlerde kullanılan elektrik motorlarının gelişimi, valf teknolojilerinin gelişmesi, özellikle Megane ve Civic test araçlarında sistemdeki titreşim odalarının ve basınç düşürme valflerinin ölçülerinin büyütülmesi ABS devreye girdiği zaman pedalda meydana gelen titreşim ve gürültüleri azaltmıştır.

Panik frenlemelerde yüksek pedal kuvveti uygulaması ve % 35 kayma değerlerinde sol ön ve sağ arka veya sol ön ve sol arka tekerleklerin kontrollerinde Megane test aracındaki kontrol sistemi diğer sistemlere göre daha hızlı bir şekilde sisteme müdahale etmektedir. Arka tekerleklerle birlikte sol ön tekerlekte de basınç düzenleme işlemini gerçekleştiren sistem 4 s'de sol arka ve sağ arka tekerlek basınçlarını 0 değerine düşürdükten sonra sol ön tekerleğe müdahale ederek 0,2 s'de onun fren basıncını da 0'a düşürmektedir. Bu sistemden sonra en kısa kontrol süresine sahip olan Civic test aracının kontrol sistemidir. Benzer kontrolü uygularken sistem arka tekerleklere Megane'daki süreden daha kısa sürede 0,2 s'de arka tekerleklere müdahale etmiştir. Ancak sol ön tekerleğe bu tekerleklerin değeri 0 olduktan sonra müdahale etmeye başlayarak bu işlemi 0,5 s'de gerçekleştirmiş ve değerini 0'a düşürmüştür. Safrane'da ise arka tekerleklere müdahale süresi 0,2 s iken

sol ön tekerleğe bu işlemten 0,4s sonra müdahale etmeye başlamış ve onun basıncını 0'a düşürmeden 50 bar civarında tutmuştur. Bu işlem yaklaşık 1 s devam etmiş ve ondan sonra 0 değerine düşürmüştür. Bu sonuçlara göre taşıt kararlılığı açısından tekerlekler arasında çok kısa bir sürelik oluşan frenleme basınç farklarında en kısa süreli kontrolü gerçekleştiren sistem Megane test aracındaki kontrol sistemidir.

Maksimum pedal kuvveti 450 N ve yüksek kayma ivmesi % 35 değerlerinde ise sistemler kontrol tekniklerini yine aynı şekilde uygulamaktadırlar. Sadece frenleme basınçları düşük pedal kuvvetlerinde 75 N'da 50-65 bar civarında iken. Yüksek pedal kuvvetlerinde bu değer 70-85 bar değerlerine ulaşmaktadır. Buna bağlı olarak ta fren basıncı düşürme veya yükseltme aşamalarında sistemlerdeki kontrol süreleri % 30 daha fazla olmaktadır.

9.3. Öneriler

Yapılan bu çalışma temel alınarak aşağıdaki öneriler doğrultusunda bunun üzerine gerçekleştirilebilecek çalışmalar şöyle sıralanabilir;

- Test sisteminde kullanılan bağlantı ekipmanları universal bağlantı adaptörleri yapılarak her özellikte ABS fren sistemini test etmek için kullanılabilir. Örneğin indüktif sensör adaptörleri yerine hall-effect veya çok kutuplu aktif sensör bağlantı adaptörleri yapılarak bu sistemlerde test edilebilir. Tekerlek poryasındaki ABS dişli sayıları farklı olan araçlar için o sayılarda dişliler takılarak onlar için pratik bir kullanım gerçekleştirilebilir. Basınç ölçüm sistemi, pedal kuvveti ölçüm sistemi ve veri toplama sistemleri her araç için ayrı ayrı tasarlanarak daha iyi bir ölçüm sistemi haline de dönüştürülebilir.
- Testlerde kullanılan simülatör motorlarının fren pedalı hareketine bağlı olarak veya fren basıncına bağlı olarak yavaşlamaması sistem açısından ilk aşamada gerçekleştirilememiştir. Elektronik kontrollü motor sürücüleri ile bu sistem

basınç kontrollü HIL (Hardware in the Loop) uygulamaları şeklinde yapılabilir.

- Pedal kuvvetlerinin tam değerinde uygulanması açısından pedal kuvvet uygulayıcı sistemi geliştirilerek böyle bir sistem ile testler gerçekleştirilebilir. Ancak pedal hissi değişimlerini gözlemleyebilmek için serbest hareket uygulanan sistemler daha uygundur.
- Basınç ünitesi bağlantılarında her araç için hızlı bağlantı adaptörleri geliştirilmelidir.
- ESP veya VSC (Vehicle skid control) türü sistemlerin testleri için geliştirilen ABS test cihazına ek bazı donanımlar (savrulma sensörü, ivme sensörü, direksiyon açısı sensörü) eklenerek sistem bu tür ekipmanların ve donanımların testleri içinde kullanılabilir.
- Temel düzeyde yapılan üç araç üzerinde benzer donanıma sahip araçlardaki testler, yeni ABS sistemlerinde veya bütünleşik ABS,ESP,EBD sistemleri içinde yapılabilir.
- Kontrol değerlendirmeleri açısından ise diğer sistemlerle (ESP) birlikte çalışan ABS sistemlerindeki basınç müdahale süreleri incelenebilir. Hassas mesafe ve hız ölçüm sistemleri ile frenleme esnasındaki taşıt, tekerlek hızları incelenerek bu kontrollerdeki zaman değişimlerinin durma mesafelerine etkileri belirlenebilir.

KAYNAKLAR

1. Altıparmak, D., “Fren Sistemleri”, ***Dizayn Matbaacılık***, Ankara, 117-127 (2001).
2. Limpert. R., “Brake Design and Safety, Second Edition”, ***Society of Automotive Engineers inc.***, USA, 425-469 (1999).
3. Bauer, H., “Automotive Handbook 4th Edition”, ***Robert Bosch GmbH***, Editor in Chief, Warrandale PA USA, 335-338 (1996).
4. Clemens, K., April, ***Automobile Magazine***, 14 (1): 66-72 (1999).
5. Heuser, G., Frese, T., “Testing of Existing Antilock Braking system (ABS)”, ***CITA Research Study Programme TÜV Institute of Traffic Safety Report 02-946 EL 001 Germany***, 16-36 (2002).
6. Csere, C., June, ***Car and Driver***, 35 (12): 115-121 (1990).
7. Kurt M. Marshek, Jerry F. Cuderman II, Mark J. Johnson “Performance of Anti-Lock Braking System Equipped Passenger Vehicles – Part III: Braking as a Function of Tire Inflation Pressure” ***Society of Automotive Engineers SAE World Congress***, Technical Paper Series 2002-01-0306 Detroit, Michigan, 3-18 (2002).
8. Sugai, M., Yamaguchi, Y., Miyashita, M., Umeno, T., Asano K., “New Control Technique For Maximizing Braking Force On Antilock Braking System”, ***Vehicle System Dynamics***, 32, 299–312 (1999).
9. Adler, U., “Braking Systems for Passenger Cars”, ***Robert Bosch GmbH***, Editor in Chief, Warrandale PA, 5-12 (1989).
10. Gillespie, T.D., “Fundamentals of Vehicle Dynamics”, ***Society of Automotive Engineers SAE***, Warrendale PA USA, 364-366, 346-347, 57, 345 (1992).
11. Schuring, D.J., Pelz, W., Pottinger, M.G., “A Model for Combined Tire Cornering and Braking Forces”, ***Investigations and Analysis in Vehicle Dynamics and Simulation Society of Automotive Engineers***, (960180): 61-73 (1996).
12. Squire, R.J., Cooper, N., “Vehicle Braking Comparison – ABS etc. Conventional System”, ***Accident Reconstruction Journal***, 5 (4): 45-47 (1993).
13. Lambourn, R.F., “Braking and Cornering Effects with and without Anti-Lock Brakes”, ***Accident Reconstruction: Technology and Animation IV Society of Automotive Engineers SAE***, (940723): 155-162 (1994).

14. Garrott, W.R., Grygier, P.A., Chrstos, J.P., Heydinger, G.J., Salaani, K., Howe, J.G., Guenther, D.A., "Methodology for Validating the National Advanced Driving Simulator's Vehicle Dynamics (NADSdyna)", ***Research into Vehicle Dynamics and Simulation Society of Automotive Engineers***, 1228 (970562) : 71-83 (1997).
15. Chrstos, J.P., Grygier, P.A., "Experimental Testing of a 1994 Ford Taurus for NADSdyna Validation", ***Research into Vehicle Dynamics and Simulation Society of Automotive Engineers***, (970563): 85-98 (1997).
16. Salaani, M.K., Chrstos, J.P., Guenther, D.A., "Parameter Measurement and Development of a NADSdyna Validation Data Set for a 1994 Ford Taurus", ***Research into Vehicle Dynamics and Simulation Society of Automotive Engineers***, 1228 (970564): 99-108 (1997).
17. Salaani, M.K., Heydinger, G.J., Guenther, D.A., "Validation Results from Using NADSdyna Vehicle Dynamics Simulation", ***Research into Vehicle Dynamics and Simulation Society of Automotive Engineers***, 1228 (970565): 109-118 (1997).
18. Chrstos, J.P., Heydinger, G.J., "Evaluation of VDANL and VDM RoAD for Predicting the Vehicle Dynamics of a 1994 Ford Taurus", ***Research into Vehicle Dynamics and Simulation Society of Automotive Engineers***, 1228 (970566): 119-133 (1997).
19. Csere, C., August, ***Car and Driver***, 44 (2): 42-67 (1998).
20. Winfield, B., May, ***Car and Driver***, 43 (11): 54-60 (1998).
21. Webster, L., January, ***Car and Driver***, , 43 (7): 141-143 (1998).
22. Baker, J.S., Fricke, L.B., "Drag Factor and Coefficient of Friction in Traffic Accident Reconstruction", ***Traffic Accident Investigation Manual Northwestern University Traffic Institute***, (862): 62-6 (1990).
23. Reed, W.S., Keskin, A.T., "Vehicular Deceleration and its Relationship to Friction", ***Society of Automotive Engineers***, (890736): (1989).
24. Warner, C.Y., Smith, G.C., James, M.B., Germane, G.J., "Friction Applications in Accident Reconstruction", ***Society of Automotive Engineers***, (830612): (1983).
25. Easton, A.H., "The Influence of Tires and Their Variables on Passenger Car Skidding", ***Society of Automotive Engineers Summer Meeting***, (600144): 5-10 (1960).

26. Dixon, J.C., "Tires, Suspension and Handling 2nd Edition", *Society of Automotive Engineers*, Warrendale, PA USA, 105, 121-122 (1992).
27. Neptune, J.A., Flynn, J.E., Chavez, P.A., Underwood, H.W., "Speed from Skids: A Modern Approach", *International Congress and Exposition Society of Automotive Engineers*, (950354): 3-10 (1995).
28. Collier, B.L., Warchol, J.T., "The Effect of Inflation Pressure on Bias, Bias-Belted and Radial Tire Performance", *Society of Automotive Engineers 1980 Congress and Exposition*, (800087): 2-9 (1980).
29. McIsaac, B.R., Grage, J.C.W., "Coefficient of Friction Tests at Varying Tire Inflation Pressures", *Accident Reconstruction Journal*, 5 (1): 40-48 (1993).
30. Yasui, Y., Nitta, H., Yoshida, T., Hosome, T., Kawamura, K., "Experimental Approach for Evaluating Tire Characteristics and ABS Performance", *Society of Automotive Engineers SAE 2000 World Congress*, Detroit, Michigan SAE Technical Paper Series 2000-01-0110: 3-12 (2000).
31. Forkenbrock, G. J., "Public Workshop on Dynamic Rollover and Handling Test Techniques", *NHTSA / Vehicle Research and Test Center (VRTC) Test Report USA*, 1- 45 (2002).
32. Snyder, A., Jones, B., Grygier, P., Garrott, R. W., "NHTSA Light Vehicle ABS Performance Test Development" *Transportation Research Center Inc (NHTSA), NHTSA/NVS 312 Final Report USA*, 1-30 (2005).
33. Anwar, S., Ashrafi, B., "A Predictive Control Algorithm for an Anti-Lock Braking System" *Society of Automotive Engineers SAE 2002 World Congress*, Detroit, Michigan SAE Technical Paper Series 2002-01-0302: 1-13 (2002).
34. Clarke, D.W, Mohtadi, C., Tuffs, P.S., "Generalized Predictive Control – Part I. The Basic Algorithm", *Automatica*, Vol. 23, No. 2, 137-148, (1987).
35. Hou, Y., Yu, Z., "The Evaluation of ABS Performance" *Society of Automotive Engineers SAE 2003 World Congress*, Detroit, Michigan SAE Technical Paper Series 2003-01-0255: 1-12 (2003).
36. Hou, Y., Sun, Y., "Fuzzy Slide Mode Control Method for ABS" *Society of Automotive Engineers SAE 2004 World Congress*, Detroit, Michigan SAE Technical Paper Series 2004-01-0252: 3-10 (2004).
37. Yazıcıoğlu Y., "Development Of A Fuzzy Controlled ABS To Improve Braking Performance And Stability Of Automobiles" *METU Department of Mechanical Engineering Master of Science Thesis*, Ankara, 20-70 (1999).

38. Kazemi, R., Hamed, B., Javadi, B., "A New Sliding Mode Controller for Four-Wheel Anti-Lock Braking System (ABS)" *SAE Automotive Dynamics & Stability Conference*, Troy, Michigan SAE Technical Paper Series 2000-01-1639: 1-15 (2000).
39. Nordström, O., "Heavy Duty Vehicle Dynamics Related to Braking, Steering And Tyres", *Swedish Research and Proposals by VTI, Veh. Dyn. Related to Braking and Steering*, Sp-801, SAE paper No: 892502: 3-9 (1989).
40. "Bosch Automotive Handbook, 7nd Edition", *SAE Digital e-book* Germany (2008).
41. "Automotive sensors", *Bosch Yellow Jackets Edition* Germany (2002).
42. Breuer, B., Bill, K.H., "Brake Technology Handbook", *Society of Automotive Engineers*, 56-58, 70-81, 450-453 (2008).
43. Göktan, A.G., Güney, A., Ereke, M., "Taşıt Frenleri", *İTÜ Makine Fakültesi, Otomotiv Anabilim Dalı*, İstanbul, 75-95 (1995).
44. Jonner, W., Czincel, A., "Upgrade Levels of the Bosch ABS", *SAE*, 860508: 1-11 (1986).
45. Çetinkaya, S., "Taşıt Mekaniği", *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, 193-197 (2004).
46. Altıparmak, D., Koca, A., "Taşıtlarda tekerlek kilitlemesi ve kaymasının durma mesafesi kararlılığına etkisi", *Z.K.Ü. Karabük Teknik Eğitim Dergisi*, Yıl 3 Sayı 4, Karabük, 55-67 (2000).
47. Satoh, M., Shiraishi, S., "Performance of Antilock Brakes with Simplified Control Technique", *SAE Paper No: 830484*, 1-13 (1984).
48. Clarke, D.W., Mohtadi, C., Tuffs, P.S., "Generalized Predictive Control – Part I. The Basic Algorithm", *Automatica*, Vol. 23, No. 2, 137-148, (1987).
49. Hou, Y., Yu, Z., "The Evaluation of ABS Performance" *Society of Automotive Engineers SAE 2003 World Congress* Detroit, Michigan March 3-6, 2003 SAE Technical Paper Series 2003-01-0255; 2-15 (2003).
50. Baker, J.S., Fricke, L.B., "Drag Factor and Coefficient of Friction in Traffic Accident Reconstruction", *Traffic Accident Investigation Manual Northwestern University Traffic Institute*, (862): 62-6 (1990).
51. Oppenheimer, P., "Comparing Stopping Capability of Cars with and Without Antilock Braking System (ABS)", *SAE Paper No: 880324*: 1-24 (1988).
52. Kurt M. Marshek, Jerry F. Cuderman II, Mark J. Johnson "Performance of Anti-Lock Braking System Equipped Passenger Vehicles – Part III: Braking as a

- Function of Tire Inflation Pressure” *SAE 2002 World Congress*, Detroit, Michigan March 4-7, SAE Technical Paper Series 2002-01-0304: 3-18 (2002).
53. Andrew Snyder, A., Jones, B., Grygier, P., Garrott, W., “NHTSA Light Vehicle ABS Performance Test Development”, *Transportation Research Center Inc., NHTSA, 312, , Final Report* USA, 5-45 (2005).
 54. Forkenbrock, J.G, Filick, M., Garrot, W.L., “NHTSA Light Vehicle ABS Rezearch Programme Task 4: Light Vehicle ABS Performance Over A Broad Range Of Surface And Maneuvers ”, *NHTSA NRD 22 Final Report*, 2-60 (1999).
 55. King, S.E., “Final Report For The Methodology Study Of The Consumer Braking Information Initiative - Phase II”, *U.S. Army Aberdeen Test Center Aberdeen Proving Ground*, No. 6583, 52-65 (2000).
 56. Forkenbrock, J.G., “Public Workshop on Dynamic Rollover and Handling Test Techniques” *NHTSA / Vehicle Research and Test Center (VRTC) Test Report*, 5-50 (2002).
 57. İnternet : Pegasem ürün kataloğu
http://www.pegasem.com/english/mainframe_uk.htm.
 58. İnternet: Datron ürün kataloğu
http://www.corrsys-datron.com/Support/Data_Sheets/Datasheets-Sensors/cds-d_L350-Aqua_e.pdf.
 59. Eaton, R., “Foundation Brake Vehicle Testing”, *ME458 Term Project, Universty of Michigan*, USA, 1-25 (2001).
 60. Evers, W., Reichel, J., Eisenkolb, R., “The Wheel Dynamometers RoaDyn™-Tool for Rim and Chassis Development”, *Kistler Inc. Paper SD920-234e-11.02*, Germany, 1-21 (2001).
 61. İnternet: ATT grup ürün kataloğu
http://www.nussbaum-lifts.de/front_content.php?idcat=52.
 62. Bayrakçeken, H., “Motorlu taşıtlarda fren performans analizi ve geliştirilen test cihazında uygulanması”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi*, 30-65 (2002).
 63. Jagt. P.V.D., Parson. A.W., “Road Surface Correction Of Tire Force And Moment Data”, *Tyre Models For Vehicle Dynamics Analysis Edited by h.b. Pacejka, Proceeding 1.st International Colloguim on Tyre Models For Vehicle Dynamics Analysis*, Netherland, 1-23 (1991).
 64. “Bosch ESITronic 2009th Edition”, *Robert Bosch GmbH*, Germany (2009).

EKLER

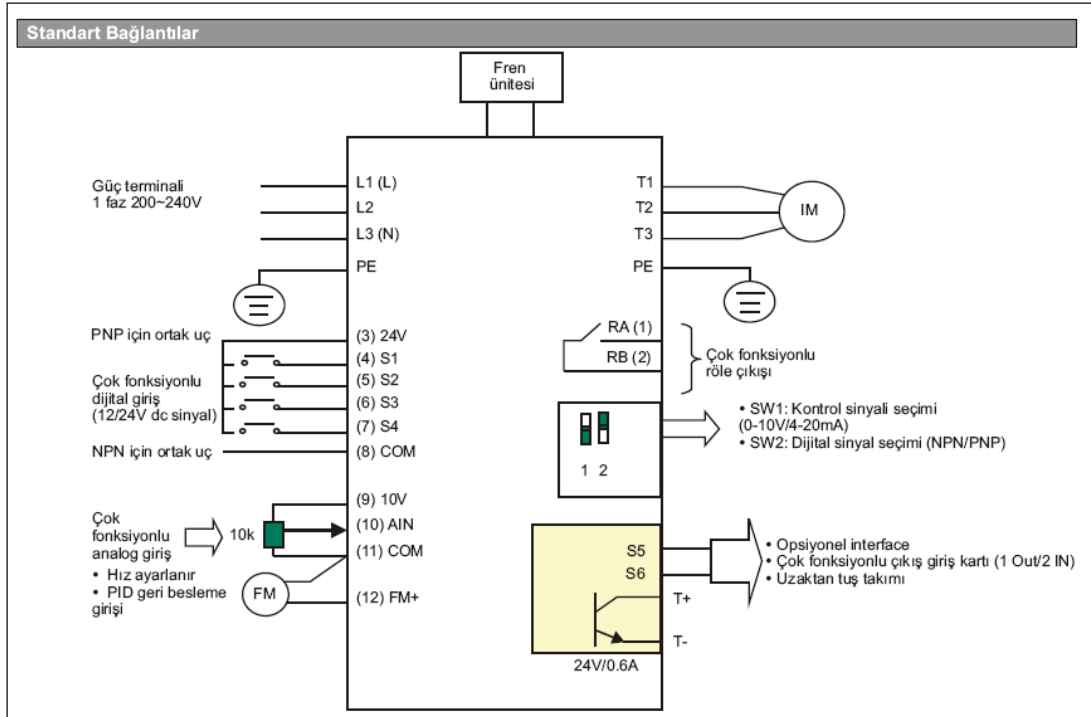
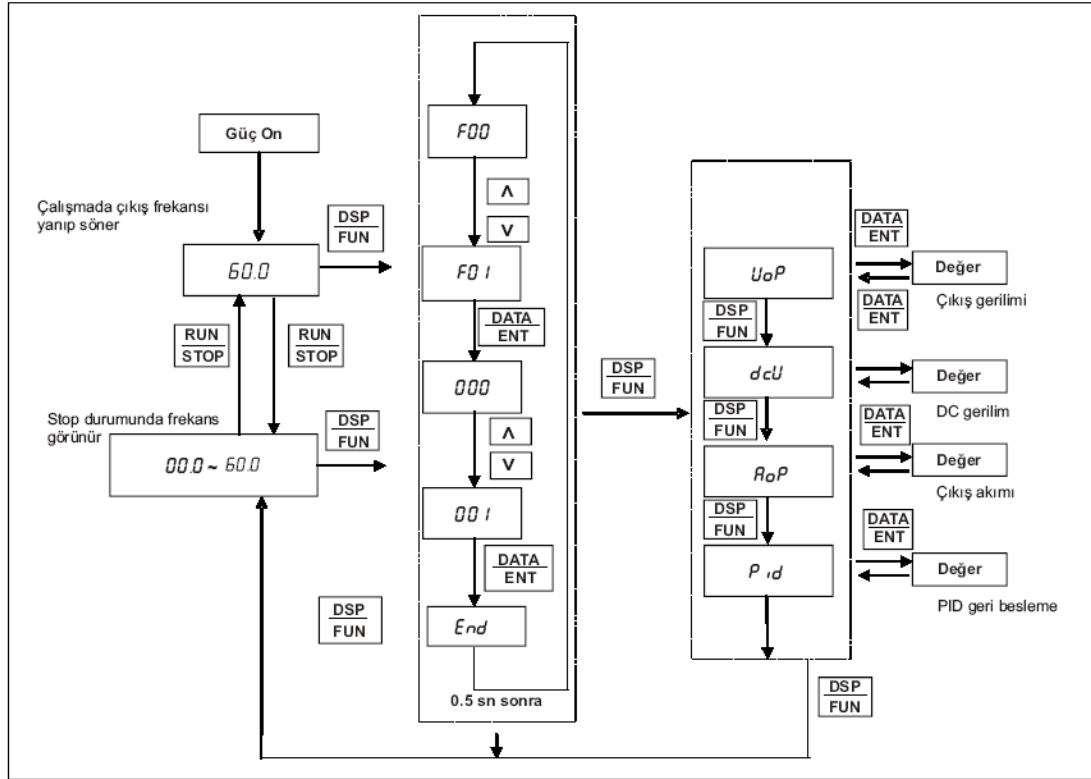
EK-1 Hız Kontrol Cihazı Parametreleri ve Özellikleri

Description	Code	Range	Default	Setting
Inverter horse power code	F00	-----	000	000
Acceleration time 1 (s)	F01	0.1~999.0	5.0	5.0
Deceleration time 1 (s)	F02	0.1~999.0	5.0	5.0
Motor rotating direction	F03	0~1	0	0
Run command from	F04	0~2	0	0
Frequency command from	F05	0~4	0	0
External control operation mode	F06	0~2	0	0
Frequency upper limit (Hz)	F07	1.00~200.00	50.00/60.00	50.00
Frequency lower limit (Hz)	F08	0.00~200.00	0.00	0.00
Stopping method	F09	0~1	0	0
Status display parameters	F10	0~1	0	0
Terminal S1 Function	F11	0~18	0	0
Terminal S2 Function	F12	0~18	1	1
Terminal S3 Function	F13	0~18	5	5
Terminal S4 Function	F14	0~18	6	6
Terminal AIN Function	F15	0~18	17	17
AIN signal select	F16	0~1	0	0
AIN Gain (%)	F17	0~200	100	100
AIN Bias (%)	F18	0~100	0	0
AIN Bias	F19	0~1	0	0
AIN signal slope direction	F20	0~1	0	0
Multi-function output RY1	F21	0~15	0	0
Output frequency reached the set value (Hz)	F22	0.00~200.00	0.00	0.00
Frequency detection range (Hz)	F23	0.00~30.00	0.00	0.00
Output current reach set value (%)	F24	0~100	0	0
Output current detection time (s)	F25	0.0~25.5	0.0	0.0
Multi-function output analog type selection (0~10Vdc)	F26	0~5	0	0
Multi-function analog output gain (%)	F27	0~200	100	100
Preset frequency 1 (Main frequency instruction) (Hz)	F28	0.00~200.00	5.00	5.00
Preset frequency 2 (Hz)	F29	0.00~200.00	5.00	5.00
Preset frequency 3 (Hz)	F30	0.00~200.00	10.00	10.00
Preset frequency 4 (Hz)	F31	0.00~200.00	20.00	20.00
Preset frequency 5 (Hz)	F32	0.00~200.00	30.00	30.00
Preset frequency 6 (Hz)	F33	0.00~200.00	40.00	40.00
Preset frequency 7 (Hz)	F34	0.00~200.00	50.00	50.00
Preset frequency 8 (Hz)	F35	0.00~200.00	60.00	60.00
Jog frequency instruction (Hz)	F36	0.00~200.00	5.00	5.00
DC braking time (s)	F37	0.0~25.5	0.5	0.5
DC braking start frequency (Hz)	F38	1.00~10.00	1.50	1.50
DC braking level (%)	F39	0~20	5	5
Carrier frequency (KHz)	F40	4~16	10	10
Restart for momentary power loss	F41	0~1	0	0
Auto-restart times	F42	0~5	0	0
Motor rated current (A)	F43	0.2~20.0	1.0	1.0
Motor rated voltage (Vac)	F44	198.0~530.0	220.0	220.0
Motor rated frequency (Hz)	F45	0.0~200.0	50.0/60.0	50.0
Motor rated power (kW)	F46	0.2~5.5	0.2	0.2
Motor rated speed (*10rpm)	F47	0.0~180.0	140.0/170.0	140.0
Torque Boost Gain (Vector)	F48	1~450	250/300	250
Slip Compensation Gain (Vector)	F49	1~450	250/300	250
Low frequency voltage compensation	F50	0~40	20/24	20
Advanced parameter function display	F51	0~1	0	0
Factory default	F52	0,10,20	0	0
Software version	F53	CPU Version	x.x	
Latest 3 fault records	F54	-----		

EK-1 Hız Kontrol Cihazı Parametreleri ve Özellikleri (devamı)

Description	Code	Range	Default	Setting
Reverse run instruction	C00	0~1	0	0
Acceleration stall-prevention	C01	0~1	0	0
Acceleration stall-prevention level (%)	C02	50~200	200	200
Deceleration stall-prevention	C03	0~1	0	0
Deceleration stall-prevention level (%)	C04	50~200	200	200
Run stall-prevention	C05	0~1	0	0
Run stall-prevention level (%)	C06	50~200	200	200
Stall prevention time in running	C07	0~1	0	0
Stall prevention deceleration time set (s)	C08	0.1~999.0	3.0	3.0
Direct start as power on	C09	0~1	1	1
Reset mode	C10	0~1	0	0
Acceleration time 2 (s)	C11	0.1~999.0	5.0	5.0
Deceleration time 2 (s)	C12	0.1~999.0	5.0	5.0
Fan control	C13	0~3	1	1
Control mode	C14	0~1	0	0
V/F Pattern set	C15	1~7	1/4	1
VF base output voltage set (V)	C16	198.0~530.0	220.0	220.0
Max. output frequency (Hz)	C17	0.20~200.00	50.00/60.00	50.00
Output voltage ratio for max. frequency (%)	C18	0.0~100.0	100.0	100.0
Mid. frequency (Hz)	C19	0.10~200.00	25.00/30.00	25.00
Output voltage ratio for mid. frequency (%)	C20	0.0~100.0	50.0	50.0
Min. output frequency (Hz)	C21	0.10~200.00	0.50/0.60	0.50
Output voltage ratio for min. frequency (%)	C22	0.0~100.0	1.0	1.0
Torque Boost Gain (V/F) (%)	C23	0.0~30.0	0.0	0.0
Slip Compensation Gain (V/F) (%)	C24	0.0~100.0	0.0	0.0
Motor no load current (A)	C25	0.1~10.0	0.5	0.5
Electronic thermal relay protection for motor (OL1)	C26	0~1	0	0
Skip frequency 1 (Hz)	C27	0.00~200.00	0.00	0.00
Skip frequency 2 (Hz)	C28	0.00~200.00	0.00	0.00
Skip frequency range (Hz)	C29	0.00~30.00	0.00	0.00
PID operation mode	C30	0~4	0	0
Feedback gain	C31	0.00~10.00	1.00	1.00
P: Proportion gain	C32	0.0~10.0	1.0	1.0
I: Integral time (s)	C33	0.0~100.0	10.0	10.0
D: Differential time (s)	C34	0.00~10.00	0.00	0.00
PID OFFSET	C35	0~1	0	0
PID OFFSET adjust (%)	C36	0~109	0	0
PID postpone time (s)	C37	0.0~2.5	0.0	0.0
PID Sleep starting level (Hz)	C38	0.00~200.00	0.00	0.00
PID Sleep postpone time (s)	C39	0.0~25.5	0.0	0.0
Frequency Up/Down control using MFIT	C40	0~2	0	0
Local/Remote frequency control select	C41	0~1	0	0
Terminal S5 function (option)	C42	0~16	7	7
Terminal S6 function (option)	C43	0~16	9	9
Multi-function input terminal S1~S6 signal scan time (mSec*8)	C44	1~100	10	10
Confirming AIN signal scan time (mSec*8)	C45	1~100	50	50
Multi-function output T+,T- (option)	C46	0~15	5	5
Remote keypad control selection	C47	0~2	0	0
Copy module	C48	0~3	0	0
Inverter communication address	C49	1~254	1	1
Baud rate (bps)	C50	0~3	3	3
Stop bit	C51	0~1	0	0
Parity bit	C52	0~2	0	0
Data bits	C53	0~1	0	0
Communication error detection time (s)	C54	0.0~25.5	0.0	0.0
Communication error operation selection	C55	0~3	0	0

EK-1 Hız Kontrol Cihazı Parametreleri ve Özellikleri (devamı)

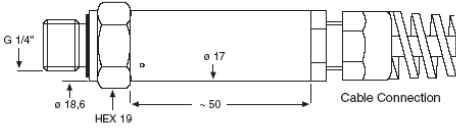
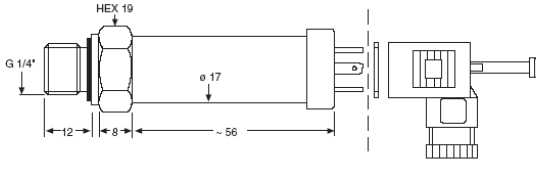
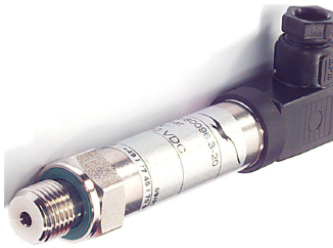
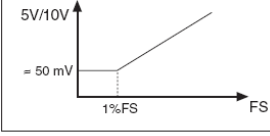


EK-1 Hız Kontrol Cihazı Parametreleri ve Özellikleri (devamı)

Model		
Kontrol modu	V/F veya vektör kontrol	
Frekans kontrolü	Frekans aralığı	0 ~ 200 Hz
	Başlangıç torku	%100/3 Hz (vektör kontrol)
	Hız kontrol aralığı	1:50 (vektör kontrol)
	Hız kontrol duyarlılığı	±%0.5 (vektör kontrol)
	Ayar çözünürlüğü	Dijital: 0.1 Hz (0 ~ 99.9 Hz)/1 Hz (100 ~ 200 Hz); Analog: 0.06 Hz/60 Hz
	Hız ayarı	▼▲ butonları, tuş takımı üzerindeki potansiyometre veya harici giriş ile yapılabilir.
	Gösterge	3 hane 7 parçalı LED ve durum göstergesi; frekans, DC gerilim, çıkış gerilimi, çıkış akımı, hız kontrol parametreleri gibi değerleri gösterir.
	Harici sinyal girişi	0-10V / 2-10V / 4-20mA / 0-20mA
Frekans sınırlama fonksiyonu	Alt ve üst frekans limitleri 2 farklı aşamada ayarlanır	
Genel kontrol	Taşıyıcı frekans	4~16 kHz
	V/F patern	6 sabit patern 50/60 Hz, 1 programlanabilir patern
	Hızlanma/Yavaşlama zamanı	İki adımlı Hızlanma/Yavaşlama zamanı (0.1~ 999 sn)
	Çok fonksiyonlu analog çıkış	6 fonksiyon (Bakınız F26)
	Çok fonksiyonlu dijital giriş	19 fonksiyon (Bakınız F11~F14)
	Çok fonksiyonlu dijital çıkış	15 fonksiyon (Bakınız F21)
	Dijital sinyal girişleri	NPN/PNP
	Haberleşme kontrolü	1. RS485 Opsiyonel kart 2. PC/PDA yazılım hattı 3. RS232
	Diğer fonksiyonlar	Ani Stop, Serbest Stop, otomatik Restart, 3 Tellî kontrol, PID fonksiyonu
	Çalışma sıcaklığı	-10 ~ 50 °C
	Saklama sıcaklığı	-20 ~ 60 °C
	Rutubet	0 - %95Rh (yoğunlaşma olmaksızın)
	Vibrasyon direnci	1G (9.8 m/s²)
	EMC	EN 61800-3 standardına uygunluk
	Çevre koşulları	EN 50178 standardına uygunluk
	Koruma seviyesi	IP 20
Onaylar	UL 508C	
Koruma fonksiyonları	Aşırı yük koruması	Motoru ve hız kontrol cihazını (%150/1dak.) korumak için röle kullanılır
	Sigorta koruması	Sigortanın atmasıyla motor durur
	Aşırı gerilim koruması	200V serisi: DC gerilim>400V
	Düşük gerilim koruması	200V serisi: DC gerilim<190V
	Anlık güç kesintisinde restart	Aktif veya Pasif olarak ayarlanabilir
	Stall engelleme	Hızlanırken/Yavaşlarken/Normal çalışmada Stall engelleme
	Kısa devre terminal çıkışı	Elektronik devre koruması
	Topraklama koruması	Elektronik devre koruması
	Diğer fonksiyonlar	Aşırı akım, aşırı gerilim, düşük gerilim, aşırı yük, anlık güç kesintisinde Restart, kısa devre çıkış terminali, topraklama hatası

Not: 100 Hz' in üstünde;panel üzerinden ayar çözünürlüğü 1 Hz ve PC veya PLC üzerinden ayar çözünürlüğü 0.1 Hz' dir

EK- 2 Basınç Sensörleri Teknik Bilgileri

21 R SERİSİ		Elektrik bağlantıları		
				
21 R SERİSİ				
		4...20 mA		
		8...28 Vdc		10 Vdc
				max. 25 mA
		± 0,1 %FS		
		4-Wire		
		GND: Pin 1 / White		
		+OUT: Pin 2 / Red		
		+Vcc: Pin 3 / Black		
		-OUT: Blue		
Signal Output				
Supply Voltage				
Current required				
Zero/Span Tolerance				
Configuration				
Electrical Connection:				
mPm 193 or				
cable 2 m, 4 core				
Linearity		± 0,2 % typ. / ± 0,5 % max.		
Total Error Band ³⁾		± 0,5 % typ. / ± 1 % max.		
+18...+22 °C				
Total Error Band ³⁾		± 1 % typ. / ± 2 % max.		
0...+50 °C				
Total Error Band ³⁾		± 2,5 % typ. / ± 4 % max.		
-20...+80 °C				
Signal at zero ≈ 50 mV → Signal at zero for 0...5 V (0...10 V) transmitters 				
Operating Temperature		-20...+80 °C (on demand -40...100 °C)		
Pressure Port		G 1/4" male		
Pressure Media		Compatible with 316L stainless steel		
Weight		≈ 75 g		
Electromagnetic Compatibility		CE marked: Fully tested to EN 61000-6-2, EN 61000-6-3, EN 61000-6-4		
Enclosure Protection		IP 65		
Insulation		> 100 MΩ / 500 Vdc		
Vibration		20 g (5...2000 Hz, max. amplitude ± 3 mm), according to IEC 68-2-6		

EK- 3 Veri Toplama Kartı Teknik Bilgileri

NI USB-6216**16-Bit, 400 kS/s Isolated M Series MIO DAQ, Bus-Powered**

Specifications Summary	
General	
Form Factor	USB
OS Support	Windows
Measurement Type	Quadrature encoder, Voltage
DAQ Product Family	M Series
Isolation Type	Bank Isolation
Analog Input	
Number of Channels	16 SE/8 DI
Sample Rate	400 kS/s
Resolution	16 bits
Simultaneous Sampling	No
Maximum Voltage Range	-10..10 V
Range Accuracy	2.69 mV
Range Sensitivity	91.6 μ V
Minimum Voltage Range	-200..200 mV
Range Accuracy	0.088 mV
Range Sensitivity	4.8 μ V
Number of Ranges	4
On-Board Memory	4095 samples
Analog Output	
Number of Channels	2
Update Rate	250 kS/s
Resolution	16 bits
Maximum Voltage Range	-10..10 V
Range Accuracy	3.512 mV
Minimum Voltage Range	-10..10 V
Range Accuracy	3.512 mV

EK-4 Test Matrisleri

TEST ARACI	ABS MODELİ					TEST TARİHİ /..... /.....				
Renault Safrane 1996 Model	Bosch									
	Kayma (%)	Tekerlek Hızları (km/h)				Test NO	Tekerlek basınçları (bar)			
Tekerlek hız farklılıkları		(A) Sol ön tekerlek	(B) Sağ ön tekerlek	(C) Sol arka tekerlek	(D) Sağ arka tekerlek		(A) Sol ön tekerlek	(B) Sağ ön tekerlek	(C) Sol arka tekerlek	(D) Sağ arka tekerlek
% 15 kayma değerinde, 50 km/h frenleme başlangıç hızında, 5 m/s ² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve 75 N fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	15	42,5	42,5	50	50	S1				
A=C < B=D	15	42,5	50	42,5	50	S2				
A=D < B=C	15	42,5	50	50	42,5	S3				
A< B=C=D	15	42,5	50	50	50	S4				
B< A=C=D	15	50	42,5	50	50	S5				
C< A=B=D	15	50	50	42,5	50	S6				
D< A=B=C	15	50	50	50	42,5	S7				
% 15 kayma değerinde, 100 km/h frenleme başlangıç hızında, 5 m/s ² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve 75 N fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	15	85	85	100	100	S127				
A=C < B=D	15	85	100	85	100	S128				
A=D < B=C	15	85	100	100	85	S129				

EK-4 Test Matrisleri (devamı)

A < B=C=D	15	85	100	100	100	S130				
B < A=C=D	15	100	85	100	100	S131				
C < A=B=D	15	100	100	85	100	S132				
D < A=B=C	15	100	100	100	85	S133				
% 25 kayma değerinde, 50 km/h frenleme başlangıç hızında, 5 m/s² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve 75 N fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	25	37,5	37,5	50	50	S8				
A=C < B=D	25	37,5	50	37,5	50	S9				
A=D < B=C	25	37,5	50	50	37,5	S10				
A < B=C=D	25	37,5	50	50	50	S11				
B < A=C=D	25	50	37,5	50	50	S12				
C < A=B=D	25	50	50	37,5	50	S13				
D < A=B=C	25	50	50	50	37,5	S14				
% 25 kayma değerinde, 100 km/h frenleme başlangıç hızında, 5 m/s² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve 75 N fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	25	75	75	100	100	S134				
A=C < B=D	25	75	100	75	100	S135				
A=D < B=C	25	75	100	100	75	S136				
A < B=C=D	25	75	100	100	100	S137				
B < A=C=D	25	100	75	100	100	S138				
C < A=B=D	25	100	100	75	100	S139				

EK-4 Test Matrisleri (devamı)

D< A=B=C	25	100	100	100	75	S140				
% 35 kayma değerinde, 50 km/h frenleme başlangıç hızında, 5 m/s ² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve 75 N fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	35	32,5	32,5	50	50	S15				
A=C < B=D	35	32,5	50	32,5	50	S16				
A=D < B=C	35	32,5	50	50	32,5	S17				
A< B=C=D	35	32,5	50	50	50	S18				
B< A=C=D	35	50	32,5	50	50	S19				
C< A=B=D	35	50	50	32,5	50	S20				
D< A=B=C	35	50	50	50	32,5	S21				
% 35 kayma değerinde, 100 km/h frenleme başlangıç hızında, 5 m/s ² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve 75 N fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	35	65	65	100	100	S141				
A=C < B=D	35	65	100	65	100	S142				
A=D < B=C	35	65	100	100	65	S143				
A< B=C=D	35	65	100	100	100	S144				
B< A=C=D	35	100	65	100	100	S145				
C< A=B=D	35	100	100	65	100	S146				
D< A=B=C	35	100	100	100	65	S147				
% 15 kayma değerinde, 50 km/h frenleme başlangıç hızında, 5 m/s ² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve maksimum fren pedal kuvvetinde yapılan testler										

EK-4 Test Matrisleri (devamı)

A=B < C=D	15	42,5	42,5	50	50	S22				
A=C < B=D	15	42,5	50	42,5	50	S23				
A=D < B=C	15	42,5	50	50	42,5	S24				
A< B=C=D	15	42,5	50	50	50	S25				
B< A=C=D	15	50	42,5	50	50	S26				
C< A=B=D	15	50	50	42,5	50	S27				
D< A=B=C	15	50	50	50	42,5	S28				
% 15 kayma değerinde, 100 km/h frenleme başlangıç hızında, 5 m/s² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve maksimum fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	15	85	85	100	100	S148				
A=C < B=D	15	85	100	85	100	S149				
A=D < B=C	15	85	100	100	85	S150				
A< B=C=D	15	85	100	100	100	S151				
B< A=C=D	15	100	85	100	100	S152				
C< A=B=D	15	100	100	85	100	S153				
D< A=B=C	15	100	100	100	85	S154				
% 25 kayma değerinde, 50 km/h frenleme başlangıç hızında, 5 m/s² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve maksimum fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	25	37,5	37,5	50	50	S29				
A=C < B=D	25	37,5	50	37,5	50	S30				
A=D < B=C	25	37,5	50	50	37,5	S31				

EK-4 Test Matrisleri (devamı)

A < B=C=D	25	37,5	50	50	50	S32				
B < A=C=D	25	50	37,5	50	50	S33				
C < A=B=D	25	50	50	37,5	50	S34				
D < A=B=C	25	50	50	50	37,5	S35				
% 25 kayma değerinde, 100 km/h frenleme başlangıç hızında, 5 m/s² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve maksimum fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	25	75	75	100	100	S155				
A=C < B=D	25	75	100	75	100	S156				
A=D < B=C	25	75	100	100	75	S157				
A < B=C=D	25	75	100	100	100	S158				
B < A=C=D	25	100	75	100	100	S159				
C < A=B=D	25	100	100	75	100	S160				
D < A=B=C	25	100	100	100	75	S161				
% 35 kayma değerinde, 50 km/h frenleme başlangıç hızında, 5 m/s² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve maksimum fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	35	32,5	32,5	50	50	S36				
A=C < B=D	35	32,5	50	32,5	50	S37				
A=D < B=C	35	32,5	50	50	32,5	S38				
A < B=C=D	35	32,5	50	50	50	S39				
B < A=C=D	35	50	32,5	50	50	S40				
C < A=B=D	35	50	50	32,5	50	S41				

EK-4 Test Matrisleri (devamı)

D< A=B=C	35	50	50	50	32,5	S42				
% 35 kayma değerinde, 100 km/h frenleme başlangıç hızında, 5 m/s² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve maksimum fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	35	65	65	100	100	S162				
A=C < B=D	35	65	100	65	100	S163				
A=D < B=C	35	65	100	100	65	S164				
A< B=C=D	35	65	100	100	100	S165				
B< A=C=D	35	100	65	100	100	S166				
C< A=B=D	35	100	100	65	100	S167				
D< A=B=C	35	100	100	100	65	S168				
% 15 kayma değerinde, 50 km/h frenleme başlangıç hızında, 8 m/s² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve 75 N fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	15	42,5	42,5	50	50	S43				
A=C < B=D	15	42,5	50	42,5	50	S44				
A=D < B=C	15	42,5	50	50	42,5	S45				
A< B=C=D	15	42,5	50	50	50	S46				
B< A=C=D	15	50	42,5	50	50	S47				
C< A=B=D	15	50	50	42,5	50	S48				
D< A=B=C	15	50	50	50	42,5	S49				
% 15 kayma değerinde, 100 km/h frenleme başlangıç hızında, 8 m/s² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve 75 N fren pedal kuvvetinde yapılan testler										

EK-4 Test Matrisleri (devamı)

A=B < C=D	15	85	85	100	100	S85				
A=C < B=D	15	85	100	85	100	S86				
A=D < B=C	15	85	100	100	85	S87				
A < B=C=D	15	85	100	100	100	S88				
B < A=C=D	15	100	85	100	100	S89				
C < A=B=D	15	100	100	85	100	S90				
D < A=B=C	15	100	100	100	85	S91				
% 25 kayma değerinde, 50 km/h frenleme başlangıç hızında, 8 m/s² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve 75 N fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	25	37,5	37,5	50	50	S50				
A=C < B=D	25	37,5	50	37,5	50	S51				
A=D < B=C	25	37,5	50	50	37,5	S52				
A < B=C=D	25	37,5	50	50	50	S53				
B < A=C=D	25	50	37,5	50	50	S54				
C < A=B=D	25	50	50	37,5	50	S55				
D < A=B=C	25	50	50	50	37,5	S56				
% 25 kayma değerinde, 100 km/h frenleme başlangıç hızında, 8 m/s² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve 75 N fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	25	75	75	100	100	S92				
A=C < B=D	25	75	100	75	100	S93				
A=D < B=C	25	75	100	100	75	S94				

EK-4 Test Matrisleri (devamı)

A < B=C=D	25	75	100	100	100	S95				
B < A=C=D	25	100	75	100	100	S96				
C < A=B=D	25	100	100	75	100	S97				
D < A=B=C	25	100	100	100	75	S98				
% 35 kayma değerinde, 50 km/h frenleme başlangıç hızında, 8 m/s² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve 75 N fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	35	32,5	32,5	50	50	S57				
A=C < B=D	35	32,5	50	32,5	50	S58				
A=D < B=C	35	32,5	50	50	32,5	S59				
A < B=C=D	35	32,5	50	50	50	S60				
B < A=C=D	35	50	32,5	50	50	S61				
C < A=B=D	35	50	50	32,5	50	S62				
D < A=B=C	35	50	50	50	32,5	S63				
% 35 kayma değerinde, 100 km/h frenleme başlangıç hızında, 8 m/s² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve 75 N fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	35	65	65	100	100	S99				
A=C < B=D	35	65	100	65	100	S100				
A=D < B=C	35	65	100	100	65	S101				
A < B=C=D	35	65	100	100	100	S102				
B < A=C=D	35	100	65	100	100	S103				
C < A=B=D	35	100	100	65	100	S104				

EK-4 Test Matrisleri (devamı)

D< A=B=C	35	100	100	100	65	S105				
% 15 kayma değerinde, 50 km/h frenleme başlangıç hızında, 8 m/s² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve maksimum fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	15	42,5	42,5	50	50	S64				
A=C < B=D	15	42,5	50	42,5	50	S65				
A=D < B=C	15	42,5	50	50	42,5	S66				
A< B=C=D	15	42,5	50	50	50	S67				
B< A=C=D	15	50	42,5	50	50	S68				
C< A=B=D	15	50	50	42,5	50	S69				
D< A=B=C	15	50	50	50	42,5	S70				
% 15 kayma değerinde, 100 km/h frenleme başlangıç hızında, 8 m/s² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve maksimum fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	15	85	85	100	100	S106				
A=C < B=D	15	85	100	85	100	S107				
A=D < B=C	15	85	100	100	85	S108				
A< B=C=D	15	85	100	100	100	S109				
B< A=C=D	15	100	85	100	100	S110				
C< A=B=D	15	100	100	85	100	S111				
D< A=B=C	15	100	100	100	85	S112				
% 25 kayma değerinde, 50 km/h frenleme başlangıç hızında, 8 m/s² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve maksimum fren pedal kuvvetinde yapılan testler										

EK-4 Test Matrisleri (devamı)

A=B < C=D	25	37,5	37,5	50	50	S71				
A=C < B=D	25	37,5	50	37,5	50	S72				
A=D < B=C	25	37,5	50	50	37,5	S73				
A< B=C=D	25	37,5	50	50	50	S74				
B< A=C=D	25	50	37,5	50	50	S75				
C< A=B=D	25	50	50	37,5	50	S76				
D< A=B=C	25	50	50	50	37,5	S77				
% 25 kayma değerinde, 100 km/h frenleme başlangıç hızında, 8 m/s² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve maksimum fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	25	75	75	100	100	S113				
A=C < B=D	25	75	100	75	100	S114				
A=D < B=C	25	75	100	100	75	S115				
A< B=C=D	25	75	100	100	100	S116				
B< A=C=D	25	100	75	100	100	S117				
C< A=B=D	25	100	100	75	100	S118				
D< A=B=C	25	100	100	100	75	S119				
% 35 kayma değerinde, 50 km/h frenleme başlangıç hızında, 8 m/s² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve maksimum fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	35	32,5	32,5	50	50	S78				
A=C < B=D	35	32,5	50	32,5	50	S79				
A=D < B=C	35	32,5	50	50	32,5	S80				

EK-4 Test Matrisleri (devamı)

A < B=C=D	35	32,5	50	50	50	S81				
B < A=C=D	35	50	32,5	50	50	S82				
C < A=B=D	35	50	50	32,5	50	S83				
D < A=B=C	35	50	50	50	32,5	S84				
% 35 kayma değerinde, 100 km/h frenleme başlangıç hızında, 8 m/s² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve maksimum fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	35	65	65	100	100	S120				
A=C < B=D	35	65	100	65	100	S121				
A=D < B=C	35	65	100	100	65	S122				
A < B=C=D	35	65	100	100	100	S123				
B < A=C=D	35	100	65	100	100	S124				
C < A=B=D	35	100	100	65	100	S125				
D < A=B=C	35	100	100	100	65	S126				

EK-4 Test Matrisleri (devamı)

TEST ARACI	ABS MODELİ					TEST TARİHİ /..... /.....				
Renault Megane 1999 Model	Bosch									
	Kayma (%)	Tekerlek Hızları (km/h)				Test NO	Tekerlek basınçları (bar)			
Tekerlek hız farklılıkları		(A) Sol ön tekerlek	(B) Sağ ön tekerlek	(C) Sol arka tekerlek	(D) Sağ arka tekerlek		(A) Sol ön tekerlek	(B) Sağ ön tekerlek	(C) Sol arka tekerlek	(D) Sağ arka tekerlek
% 15 kayma değerinde, 50 km/h frenleme başlangıç hızında, 5 m/s ² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve 75 N fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	15	42,5	42,5	50	50	M1				
A=C < B=D	15	42,5	50	42,5	50	M2				
A=D < B=C	15	42,5	50	50	42,5	M3				
A< B=C=D	15	42,5	50	50	50	M4				
B< A=C=D	15	50	42,5	50	50	M5				
C< A=B=D	15	50	50	42,5	50	M6				
D< A=B=C	15	50	50	50	42,5	M7				
% 15 kayma değerinde, 100 km/h frenleme başlangıç hızında, 5 m/s ² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve 75 N fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	15	85	85	100	100	M127				
A=C < B=D	15	85	100	85	100	M128				

EK-4 Test Matrisleri (devamı)

A=D < B=C	15	85	100	100	85	M129				
A< B=C=D	15	85	100	100	100	M130				
B< A=C=D	15	100	85	100	100	M131				
C< A=B=D	15	100	100	85	100	M132				
D< A=B=C	15	100	100	100	85	M133				
% 25 kayma değerinde, 50 km/h frenleme başlangıç hızında, 5 m/s² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve 75 N fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	25	37,5	37,5	50	50	M8				
A=C < B=D	25	37,5	50	37,5	50	M9				
A=D < B=C	25	37,5	50	50	37,5	M10				
A< B=C=D	25	37,5	50	50	50	M11				
B< A=C=D	25	50	37,5	50	50	M12				
C< A=B=D	25	50	50	37,5	50	M13				
D< A=B=C	25	50	50	50	37,5	M14				
% 25 kayma değerinde, 100 km/h frenleme başlangıç hızında, 5 m/s² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve 75 N fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	25	75	75	100	100	M134				
A=C < B=D	25	75	100	75	100	M135				
A=D < B=C	25	75	100	100	75	M136				
A< B=C=D	25	75	100	100	100	M137				
B< A=C=D	25	100	75	100	100	M138				

EK-4 Test Matrisleri (devamı)

C < A=B=D	25	100	100	75	100	M139				
D < A=B=C	25	100	100	100	75	M140				
% 35 kayma değerinde, 50 km/h frenleme başlangıç hızında, 5 m/s² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve 75 N fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	35	32,5	32,5	50	50	M15				
A=C < B=D	35	32,5	50	32,5	50	M16				
A=D < B=C	35	32,5	50	50	32,5	M17				
A < B=C=D	35	32,5	50	50	50	M18				
B < A=C=D	35	50	32,5	50	50	M19				
C < A=B=D	35	50	50	32,5	50	M20				
D < A=B=C	35	50	50	50	32,5	M21				
% 35 kayma değerinde, 100 km/h frenleme başlangıç hızında, 5 m/s² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve 75 N fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	35	65	65	100	100	M141				
A=C < B=D	35	65	100	65	100	M142				
A=D < B=C	35	65	100	100	65	M143				
A < B=C=D	35	65	100	100	100	M144				
B < A=C=D	35	100	65	100	100	M145				
C < A=B=D	35	100	100	65	100	M146				
D < A=B=C	35	100	100	100	65	M147				

EK-4 Test Matrisleri (devamı)

% 15 kayma değerinde, 50 km/h frenleme başlangıç hızında, 5 m/s ² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve maksimum fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	15	42,5	42,5	50	50	M22				
A=C < B=D	15	42,5	50	42,5	50	M23				
A=D < B=C	15	42,5	50	50	42,5	M24				
A < B=C=D	15	42,5	50	50	50	M25				
B < A=C=D	15	50	42,5	50	50	M26				
C < A=B=D	15	50	50	42,5	50	M27				
D < A=B=C	15	50	50	50	42,5	M28				
% 15 kayma değerinde, 100 km/h frenleme başlangıç hızında, 5 m/s ² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve maksimum fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	15	85	85	100	100	M148				
A=C < B=D	15	85	100	85	100	M149				
A=D < B=C	15	85	100	100	85	M150				
A < B=C=D	15	85	100	100	100	M151				
B < A=C=D	15	100	85	100	100	M152				
C < A=B=D	15	100	100	85	100	M153				
D < A=B=C	15	100	100	100	85	M154				
% 25 kayma değerinde, 50 km/h frenleme başlangıç hızında, 5 m/s ² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve maksimum fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	25	37,5	37,5	50	50	M29				

EK-4 Test Matrisleri (devamı)

A=C < B=D	25	37,5	50	37,5	50	M30				
A=D < B=C	25	37,5	50	50	37,5	M31				
A < B=C=D	25	37,5	50	50	50	M32				
B < A=C=D	25	50	37,5	50	50	M33				
C < A=B=D	25	50	50	37,5	50	M34				
D < A=B=C	25	50	50	50	37,5	M35				
% 25 kayma değerinde, 100 km/h frenleme başlangıç hızında, 5 m/s² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve maksimum fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	25	75	75	100	100	M155				
A=C < B=D	25	75	100	75	100	M156				
A=D < B=C	25	75	100	100	75	M157				
A < B=C=D	25	75	100	100	100	M158				
B < A=C=D	25	100	75	100	100	M159				
C < A=B=D	25	100	100	75	100	M160				
D < A=B=C	25	100	100	100	75	M161				
% 35 kayma değerinde, 50 km/h frenleme başlangıç hızında, 5 m/s² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve maksimum fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	35	32,5	32,5	50	50	M36				
A=C < B=D	35	32,5	50	32,5	50	M37				
A=D < B=C	35	32,5	50	50	32,5	M38				
A < B=C=D	35	32,5	50	50	50	M39				

EK-4 Test Matrisleri (devamı)

B < A=C=D	35	50	32,5	50	50	M40				
C < A=B=D	35	50	50	32,5	50	M41				
D < A=B=C	35	50	50	50	32,5	M42				
% 35 kayma değerinde, 100 km/h frenleme başlangıç hızında, 5 m/s² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve maksimum fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	35	65	65	100	100	M162				
A=C < B=D	35	65	100	65	100	M163				
A=D < B=C	35	65	100	100	65	M164				
A < B=C=D	35	65	100	100	100	M165				
B < A=C=D	35	100	65	100	100	M166				
C < A=B=D	35	100	100	65	100	M167				
D < A=B=C	35	100	100	100	65	M168				
% 15 kayma değerinde, 50 km/h frenleme başlangıç hızında, 8 m/s² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve 75 N fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	15	42,5	42,5	50	50	M43				
A=C < B=D	15	42,5	50	42,5	50	M44				
A=D < B=C	15	42,5	50	50	42,5	M45				
A < B=C=D	15	42,5	50	50	50	M46				
B < A=C=D	15	50	42,5	50	50	M47				
C < A=B=D	15	50	50	42,5	50	M48				
D < A=B=C	15	50	50	50	42,5	M49				

EK-4 Test Matrisleri (devamı)

% 15 kayma değerinde, 100 km/h frenleme başlangıç hızında, 8 m/s ² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve 75 N fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	15	85	85	100	100	M85				
A=C < B=D	15	85	100	85	100	M86				
A=D < B=C	15	85	100	100	85	M87				
A < B=C=D	15	85	100	100	100	M88				
B < A=C=D	15	100	85	100	100	M89				
C < A=B=D	15	100	100	85	100	M90				
D < A=B=C	15	100	100	100	85	M91				
% 25 kayma değerinde, 50 km/h frenleme başlangıç hızında, 8 m/s ² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve 75 N fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	25	37,5	37,5	50	50	M50				
A=C < B=D	25	37,5	50	37,5	50	M51				
A=D < B=C	25	37,5	50	50	37,5	M52				
A < B=C=D	25	37,5	50	50	50	M53				
B < A=C=D	25	50	37,5	50	50	M54				
C < A=B=D	25	50	50	37,5	50	M55				
D < A=B=C	25	50	50	50	37,5	M56				
% 25 kayma değerinde, 100 km/h frenleme başlangıç hızında, 8 m/s ² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve 75 N fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	25	75	75	100	100	M92				

EK-4 Test Matrisleri (devamı)

A=C < B=D	25	75	100	75	100	M93				
A=D < B=C	25	75	100	100	75	M94				
A< B=C=D	25	75	100	100	100	M95				
B< A=C=D	25	100	75	100	100	M96				
C< A=B=D	25	100	100	75	100	M97				
D< A=B=C	25	100	100	100	75	M98				
% 35 kayma değerinde, 50 km/h frenleme başlangıç hızında, 8 m/s² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve 75 N fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	35	32,5	32,5	50	50	M57				
A=C < B=D	35	32,5	50	32,5	50	M58				
A=D < B=C	35	32,5	50	50	32,5	M59				
A< B=C=D	35	32,5	50	50	50	M60				
B< A=C=D	35	50	32,5	50	50	M61				
C< A=B=D	35	50	50	32,5	50	M62				
D< A=B=C	35	50	50	50	32,5	M63				
% 35 kayma değerinde, 100 km/h frenleme başlangıç hızında, 8 m/s² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve 75 N fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	35	65	65	100	100	M99				
A=C < B=D	35	65	100	65	100	M100				
A=D < B=C	35	65	100	100	65	M101				
A< B=C=D	35	65	100	100	100	M102				

EK-4 Test Matrisleri (devamı)

B < A=C=D	35	100	65	100	100	M103				
C < A=B=D	35	100	100	65	100	M104				
D < A=B=C	35	100	100	100	65	M105				
% 15 kayma değerinde, 50 km/h frenleme başlangıç hızında, 8 m/s² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve maksimum fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	15	42,5	42,5	50	50	M64				
A=C < B=D	15	42,5	50	42,5	50	M65				
A=D < B=C	15	42,5	50	50	42,5	M66				
A < B=C=D	15	42,5	50	50	50	M67				
B < A=C=D	15	50	42,5	50	50	M68				
C < A=B=D	15	50	50	42,5	50	M69				
D < A=B=C	15	50	50	50	42,5	M70				
% 15 kayma değerinde, 100 km/h frenleme başlangıç hızında, 8 m/s² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve maksimum fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	15	85	85	100	100	M106				
A=C < B=D	15	85	100	85	100	M107				
A=D < B=C	15	85	100	100	85	M108				
A < B=C=D	15	85	100	100	100	M109				
B < A=C=D	15	100	85	100	100	M110				
C < A=B=D	15	100	100	85	100	M111				
D < A=B=C	15	100	100	100	85	M112				

EK-4 Test Matrisleri (devamı)

% 25 kayma değerinde, 50 km/h frenleme başlangıç hızında, 8 m/s ² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve maksimum fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	25	37,5	37,5	50	50	M71				
A=C < B=D	25	37,5	50	37,5	50	M72				
A=D < B=C	25	37,5	50	50	37,5	M73				
A < B=C=D	25	37,5	50	50	50	M74				
B < A=C=D	25	50	37,5	50	50	M75				
C < A=B=D	25	50	50	37,5	50	M76				
D < A=B=C	25	50	50	50	37,5	M77				
% 25 kayma değerinde, 100 km/h frenleme başlangıç hızında, 8 m/s ² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve maksimum fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	25	75	75	100	100	M113				
A=C < B=D	25	75	100	75	100	M114				
A=D < B=C	25	75	100	100	75	M115				
A < B=C=D	25	75	100	100	100	M116				
B < A=C=D	25	100	75	100	100	M117				
C < A=B=D	25	100	100	75	100	M118				
D < A=B=C	25	100	100	100	75	M119				
% 35 kayma değerinde, 50 km/h frenleme başlangıç hızında, 8 m/s ² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve maksimum fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	35	32,5	32,5	50	50	M78				

EK-4 Test Matrisleri (devamı)

A=C < B=D	35	32,5	50	32,5	50	M79				
A=D < B=C	35	32,5	50	50	32,5	M80				
A< B=C=D	35	32,5	50	50	50	M81				
B< A=C=D	35	50	32,5	50	50	M82				
C< A=B=D	35	50	50	32,5	50	M83				
D< A=B=C	35	50	50	50	32,5	M84				
% 35 kayma değerinde, 100 km/h frenleme başlangıç hızında, 8 m/s² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve maksimum fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	35	65	65	100	100	M120				
A=C < B=D	35	65	100	65	100	M121				
A=D < B=C	35	65	100	100	65	M122				
A< B=C=D	35	65	100	100	100	M123				
B< A=C=D	35	100	65	100	100	M124				
C< A=B=D	35	100	100	65	100	M125				
D< A=B=C	35	100	100	100	65	M126				

EK-4 Test Matrisleri (devamı)

TEST ARACI	ABS MODELİ					TEST TARİHİ /..... /.....				
Honda Civic 2001 Model	Bosch									
	Kayma (%)	Tekerlek Hızları (km/h)				Test NO	Tekerlek basınçları (bar)			
Tekerlek hız farklılıkları		(A) Sol ön tekerlek	(B) Sağ ön tekerlek	(C) Sol arka tekerlek	(D) Sağ arka tekerlek		(A) Sol ön tekerlek	(B) Sağ ön tekerlek	(C) Sol arka tekerlek	(D) Sağ arka tekerlek
% 15 kayma değerinde, 50 km/h frenleme başlangıç hızında, 5 m/s ² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve 75 N fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	15	42,5	42,5	50	50	H148				
A=C < B=D	15	42,5	50	42,5	50	H149				
A=D < B=C	15	42,5	50	50	42,5	H150				
A< B=C=D	15	42,5	50	50	50	H151				
B< A=C=D	15	50	42,5	50	50	H152				
C< A=B=D	15	50	50	42,5	50	H153				
D< A=B=C	15	50	50	50	42,5	H154				
% 15 kayma değerinde, 100 km/h frenleme başlangıç hızında, 5 m/s ² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve 75 N fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	15	85	85	100	100	H1				
A=C < B=D	15	85	100	85	100	H2				
A=D < B=C	15	85	100	100	85	H3				

EK-4 Test Matrisleri (devamı)

A < B=C=D	15	85	100	100	100	H4				
B < A=C=D	15	100	85	100	100	H5				
C < A=B=D	15	100	100	85	100	H6				
D < A=B=C	15	100	100	100	85	H7				
% 25 kayma değerinde, 50 km/h frenleme başlangıç hızında, 5 m/s² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve 75 N fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	25	37,5	37,5	50	50	H155				
A=C < B=D	25	37,5	50	37,5	50	H156				
A=D < B=C	25	37,5	50	50	37,5	H157				
A < B=C=D	25	37,5	50	50	50	H158				
B < A=C=D	25	50	37,5	50	50	H159				
C < A=B=D	25	50	50	37,5	50	H160				
D < A=B=C	25	50	50	50	37,5	H161				
% 25 kayma değerinde, 100 km/h frenleme başlangıç hızında, 5 m/s² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve 75 N fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	25	75	75	100	100	H8				
A=C < B=D	25	75	100	75	100	H9				
A=D < B=C	25	75	100	100	75	H10				
A < B=C=D	25	75	100	100	100	H11				
B < A=C=D	25	100	75	100	100	H12				
C < A=B=D	25	100	100	75	100	H13				

EK-4 Test Matrisleri (devamı)

D< A=B=C	25	100	100	100	75	H14				
% 35 kayma değerinde, 50 km/h frenleme başlangıç hızında, 5 m/s ² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve 75 N fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	35	32,5	32,5	50	50	H162				
A=C < B=D	35	32,5	50	32,5	50	H163				
A=D < B=C	35	32,5	50	50	32,5	H164				
A< B=C=D	35	32,5	50	50	50	H165				
B< A=C=D	35	50	32,5	50	50	H166				
C< A=B=D	35	50	50	32,5	50	H167				
D< A=B=C	35	50	50	50	32,5	H168				
% 35 kayma değerinde, 100 km/h frenleme başlangıç hızında, 5 m/s ² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve 75 N fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	35	65	65	100	100	H15				
A=C < B=D	35	65	100	65	100	H16				
A=D < B=C	35	65	100	100	65	H17				
A< B=C=D	35	65	100	100	100	H18				
B< A=C=D	35	100	65	100	100	H19				
C< A=B=D	35	100	100	65	100	H20				
D< A=B=C	35	100	100	100	65	H21				
% 15 kayma değerinde, 50 km/h frenleme başlangıç hızında, 5 m/s ² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve maksimum fren pedal kuvvetinde yapılan testler										

EK-4 Test Matrisleri (devamı)

A=B < C=D	15	42,5	42,5	50	50	H127				
A=C < B=D	15	42,5	50	42,5	50	H128				
A=D < B=C	15	42,5	50	50	42,5	H129				
A < B=C=D	15	42,5	50	50	50	H130				
B < A=C=D	15	50	42,5	50	50	H131				
C < A=B=D	15	50	50	42,5	50	H132				
D < A=B=C	15	50	50	50	42,5	H133				
% 15 kayma değerinde, 100 km/h frenleme başlangıç hızında, 5 m/s² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve maksimum fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	15	85	85	100	100	H22				
A=C < B=D	15	85	100	85	100	H23				
A=D < B=C	15	85	100	100	85	H24				
A < B=C=D	15	85	100	100	100	H25				
B < A=C=D	15	100	85	100	100	H26				
C < A=B=D	15	100	100	85	100	H27				
D < A=B=C	15	100	100	100	85	H28				
% 25 kayma değerinde, 50 km/h frenleme başlangıç hızında, 5 m/s² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve maksimum fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	25	37,5	37,5	50	50	H134				
A=C < B=D	25	37,5	50	37,5	50	H135				
A=D < B=C	25	37,5	50	50	37,5	H136				

EK-4 Test Matrisleri (devamı)

A < B=C=D	25	37,5	50	50	50	H137				
B < A=C=D	25	50	37,5	50	50	H138				
C < A=B=D	25	50	50	37,5	50	H139				
D < A=B=C	25	50	50	50	37,5	H140				
% 25 kayma değerinde, 100 km/h frenleme başlangıç hızında, 5 m/s² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve maksimum fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	25	75	75	100	100	H29				
A=C < B=D	25	75	100	75	100	H30				
A=D < B=C	25	75	100	100	75	H31				
A < B=C=D	25	75	100	100	100	H32				
B < A=C=D	25	100	75	100	100	H33				
C < A=B=D	25	100	100	75	100	H34				
D < A=B=C	25	100	100	100	75	H35				
% 35 kayma değerinde, 50 km/h frenleme başlangıç hızında, 5 m/s² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve maksimum fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	35	32,5	32,5	50	50	H141				
A=C < B=D	35	32,5	50	32,5	50	H142				
A=D < B=C	35	32,5	50	50	32,5	H143				
A < B=C=D	35	32,5	50	50	50	H144				
B < A=C=D	35	50	32,5	50	50	H145				
C < A=B=D	35	50	50	32,5	50	H146				

EK-4 Test Matrisleri (devamı)

D< A=B=C	35	50	50	50	32,5	H147				
% 35 kayma değerinde, 100 km/h frenleme başlangıç hızında, 5 m/s ² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve maksimum fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	35	65	65	100	100	H36				
A=C < B=D	35	65	100	65	100	H37				
A=D < B=C	35	65	100	100	65	H38				
A< B=C=D	35	65	100	100	100	H39				
B< A=C=D	35	100	65	100	100	H40				
C< A=B=D	35	100	100	65	100	H41				
D< A=B=C	35	100	100	100	65	H42				
% 15 kayma değerinde, 50 km/h frenleme başlangıç hızında, 8 m/s ² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve 75 N fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	15	42,5	42,5	50	50	H106				
A=C < B=D	15	42,5	50	42,5	50	H107				
A=D < B=C	15	42,5	50	50	42,5	H108				
A< B=C=D	15	42,5	50	50	50	H109				
B< A=C=D	15	50	42,5	50	50	H110				
C< A=B=D	15	50	50	42,5	50	H111				
D< A=B=C	15	50	50	50	42,5	H112				
% 15 kayma değerinde, 100 km/h frenleme başlangıç hızında, 8 m/s ² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve 75 N fren pedal kuvvetinde yapılan testler										

EK-4 Test Matrisleri (devamı)

A=B < C=D	15	85	85	100	100	H43				
A=C < B=D	15	85	100	85	100	H44				
A=D < B=C	15	85	100	100	85	H45				
A< B=C=D	15	85	100	100	100	H46				
B< A=C=D	15	100	85	100	100	H47				
C< A=B=D	15	100	100	85	100	H48				
D< A=B=C	15	100	100	100	85	H49				
% 25 kayma değerinde, 50 km/h frenleme başlangıç hızında, 8 m/s² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve 75 N fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	25	37,5	37,5	50	50	H113				
A=C < B=D	25	37,5	50	37,5	50	H114				
A=D < B=C	25	37,5	50	50	37,5	H115				
A< B=C=D	25	37,5	50	50	50	H116				
B< A=C=D	25	50	37,5	50	50	H117				
C< A=B=D	25	50	50	37,5	50	H118				
D< A=B=C	25	50	50	50	37,5	H119				
% 25 kayma değerinde, 100 km/h frenleme başlangıç hızında, 8 m/s² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve 75 N fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	25	75	75	100	100	H50				
A=C < B=D	25	75	100	75	100	H51				
A=D < B=C	25	75	100	100	75	H52				

EK-4 Test Matrisleri (devamı)

A < B=C=D	25	75	100	100	100	H53				
B < A=C=D	25	100	75	100	100	H54				
C < A=B=D	25	100	100	75	100	H55				
D < A=B=C	25	100	100	100	75	H56				
% 35 kayma değerinde, 50 km/h frenleme başlangıç hızında, 8 m/s² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve 75 N fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	35	32,5	32,5	50	50	H120				
A=C < B=D	35	32,5	50	32,5	50	H121				
A=D < B=C	35	32,5	50	50	32,5	H122				
A < B=C=D	35	32,5	50	50	50	H123				
B < A=C=D	35	50	32,5	50	50	H124				
C < A=B=D	35	50	50	32,5	50	H125				
D < A=B=C	35	50	50	50	32,5	H126				
% 35 kayma değerinde, 100 km/h frenleme başlangıç hızında, 8 m/s² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve 75 N fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	35	65	65	100	100	H57				
A=C < B=D	35	65	100	65	100	H58				
A=D < B=C	35	65	100	100	65	H59				
A < B=C=D	35	65	100	100	100	H60				
B < A=C=D	35	100	65	100	100	H61				
C < A=B=D	35	100	100	65	100	H62				

EK-4 Test Matrisleri (devamı)

D< A=B=C	35	100	100	100	65	H63				
% 15 kayma değerinde, 50 km/h frenleme başlangıç hızında, 8 m/s² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve maksimum fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	15	42,5	42,5	50	50	H85				
A=C < B=D	15	42,5	50	42,5	50	H86				
A=D < B=C	15	42,5	50	50	42,5	H87				
A< B=C=D	15	42,5	50	50	50	H88				
B< A=C=D	15	50	42,5	50	50	H89				
C< A=B=D	15	50	50	42,5	50	H90				
D< A=B=C	15	50	50	50	42,5	H91				
% 15 kayma değerinde, 100 km/h frenleme başlangıç hızında, 8 m/s² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve maksimum fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	15	85	85	100	100	H64				
A=C < B=D	15	85	100	85	100	H65				
A=D < B=C	15	85	100	100	85	H66				
A< B=C=D	15	85	100	100	100	H67				
B< A=C=D	15	100	85	100	100	H68				
C< A=B=D	15	100	100	85	100	H69				
D< A=B=C	15	100	100	100	85	H70				
% 25 kayma değerinde, 50 km/h frenleme başlangıç hızında, 8 m/s² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve maksimum fren pedal kuvvetinde yapılan testler										

EK-4 Test Matrisleri (devamı)

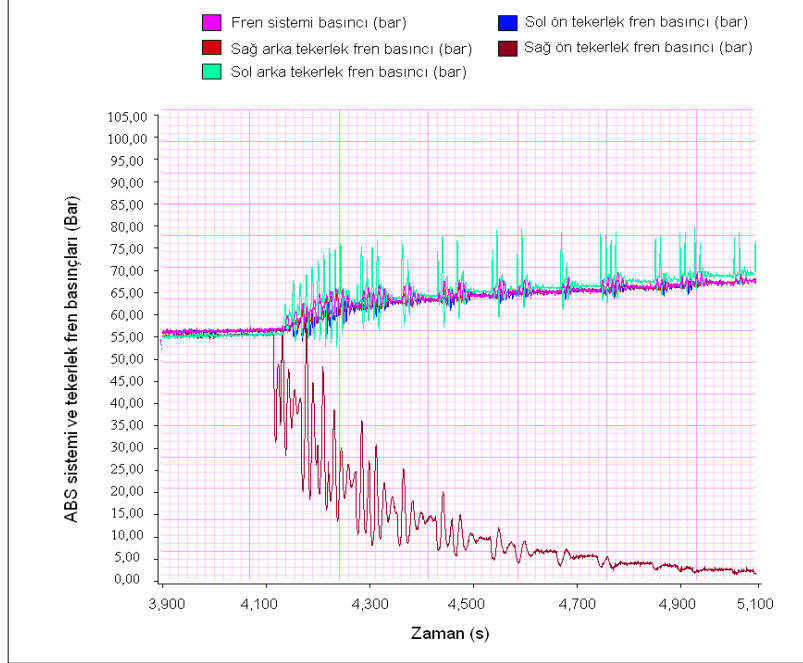
A=B < C=D	25	37,5	37,5	50	50	H92				
A=C < B=D	25	37,5	50	37,5	50	H93				
A=D < B=C	25	37,5	50	50	37,5	H94				
A < B=C=D	25	37,5	50	50	50	H95				
B < A=C=D	25	50	37,5	50	50	H96				
C < A=B=D	25	50	50	37,5	50	H97				
D < A=B=C	25	50	50	50	37,5	H98				
% 25 kayma değerinde, 100 km/h frenleme başlangıç hızında, 8 m/s² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve maksimum fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	25	75	75	100	100	H71				
A=C < B=D	25	75	100	75	100	H72				
A=D < B=C	25	75	100	100	75	H73				
A < B=C=D	25	75	100	100	100	H74				
B < A=C=D	25	100	75	100	100	H75				
C < A=B=D	25	100	100	75	100	H76				
D < A=B=C	25	100	100	100	75	H77				
% 35 kayma değerinde, 50 km/h frenleme başlangıç hızında, 8 m/s² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve maksimum fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	35	32,5	32,5	50	50	H99				
A=C < B=D	35	32,5	50	32,5	50	H100				
A=D < B=C	35	32,5	50	50	32,5	H101				

EK-4 Test Matrisleri (devamı)

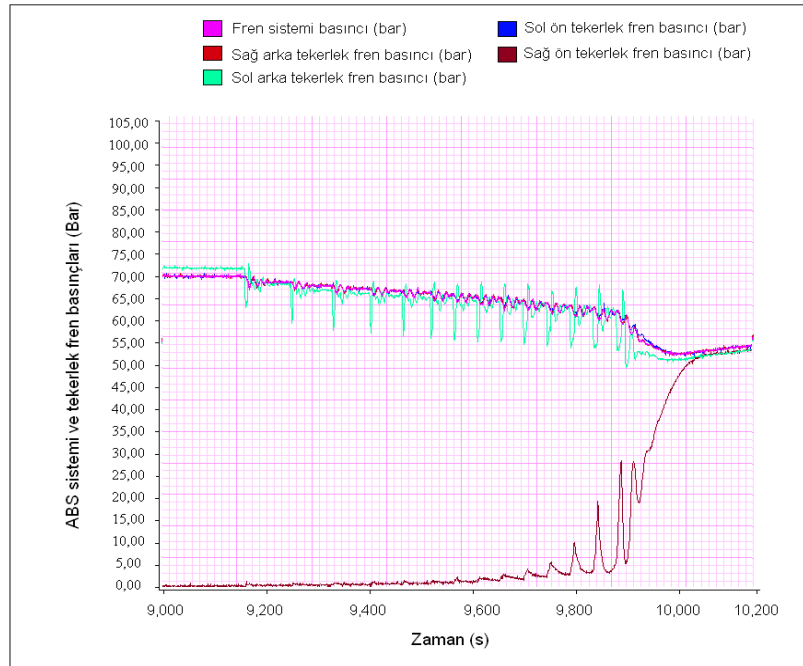
A< B=C=D	35	32,5	50	50	50	H102				
B< A=C=D	35	50	32,5	50	50	H103				
C< A=B=D	35	50	50	32,5	50	H104				
D< A=B=C	35	50	50	50	32,5	H105				
% 35 kayma değerinde, 100 km/h frenleme başlangıç hızında, 8 m/s² tekerlek yavaşlama ivmesi değerinde ve maksimum fren pedal kuvvetinde yapılan testler										
A=B < C=D	35	65	65	100	100	H78				
A=C < B=D	35	65	100	65	100	H79				
A=D < B=C	35	65	100	100	65	H80				
A< B=C=D	35	65	100	100	100	H81				
B< A=C=D	35	100	65	100	100	H82				
C< A=B=D	35	100	100	65	100	H83				
D< A=B=C	35	100	100	100	65	H84				

Ek-5 Test Sonuçlarının Ek Grafikleri

1. Safrane (B2) Grubu Testleri

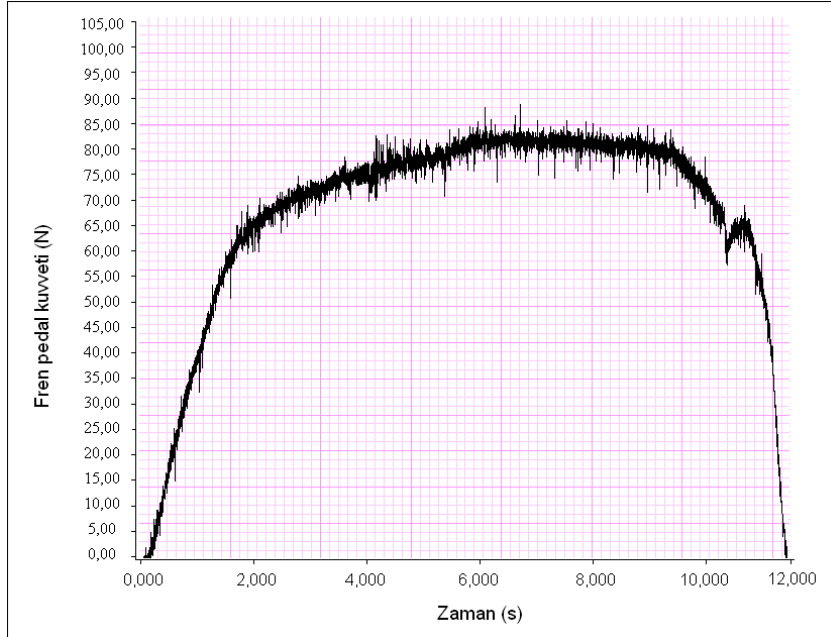


Şekil 5.1. Safrane test aracında sağ ön tekerleğin kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme başlangıcı)



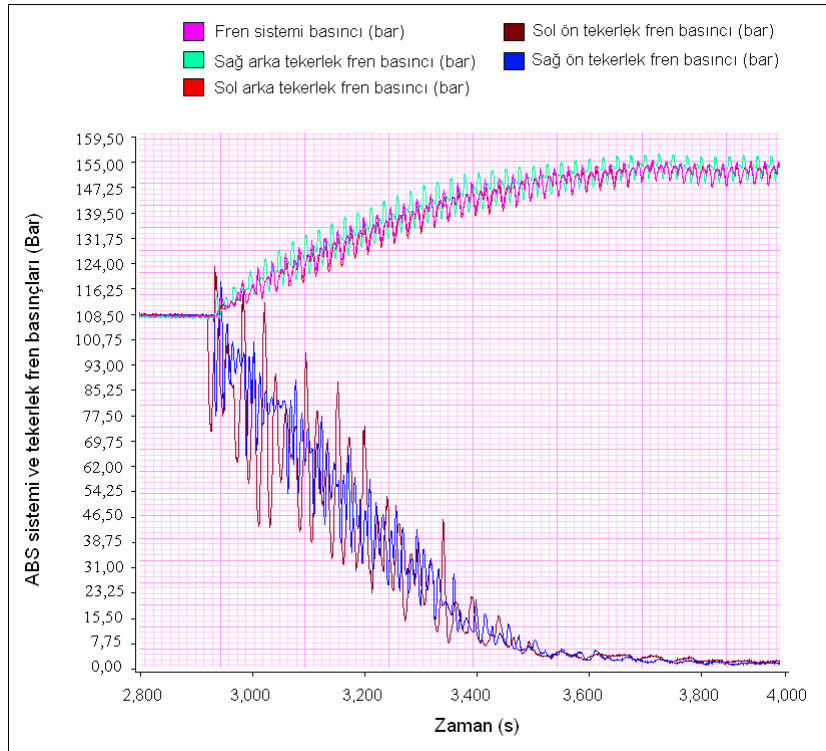
Şekil 5.2. Safrane test aracında sağ ön tekerleğin kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme bitimi)

Ek-5 Test Sonuçlarının Ek Grafikleri (devamı)



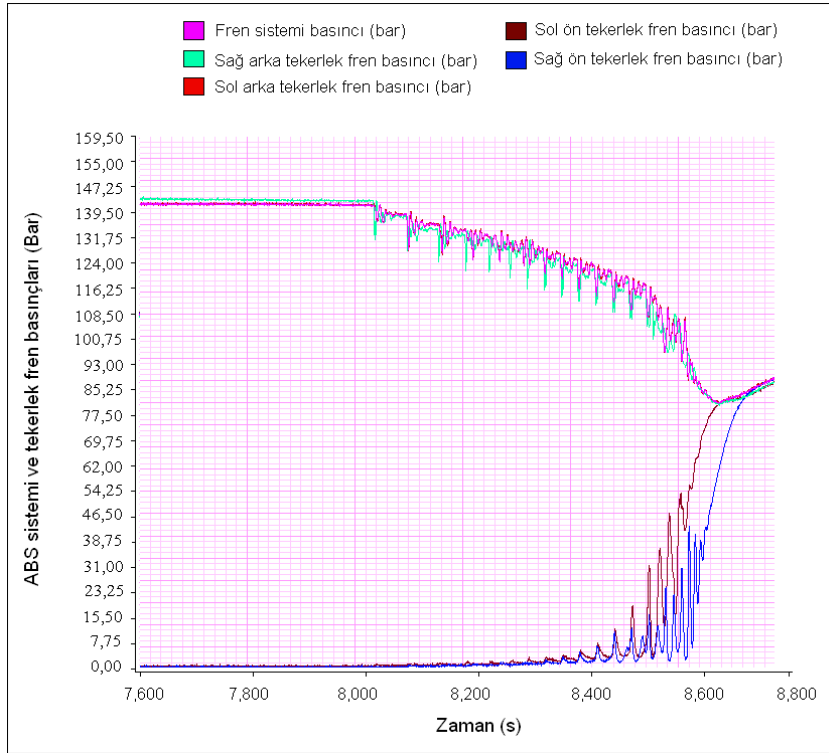
Şekil 5.3. Safrane test aracında sağ ön tekerleğin kayması esnasındaki pedal kuvveti değişimi

2. Safrane maksimum pedal kuvveti uygulaması (F)

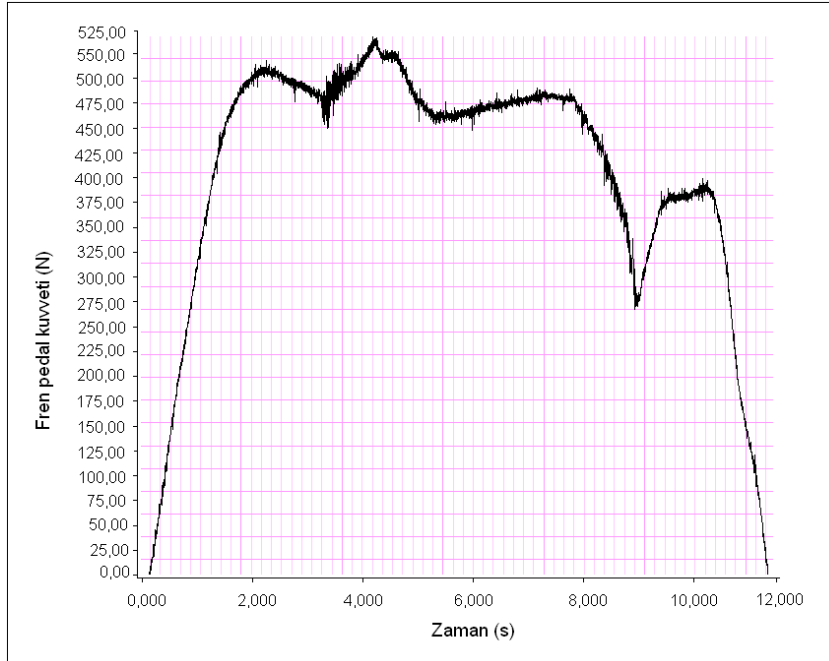


Şekil 5.4. Safrane test aracında maksimum pedal kuvveti uygulaması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme başlangıcı)

Ek-5 Test Sonuçlarının Ek Grafikleri (devamı)



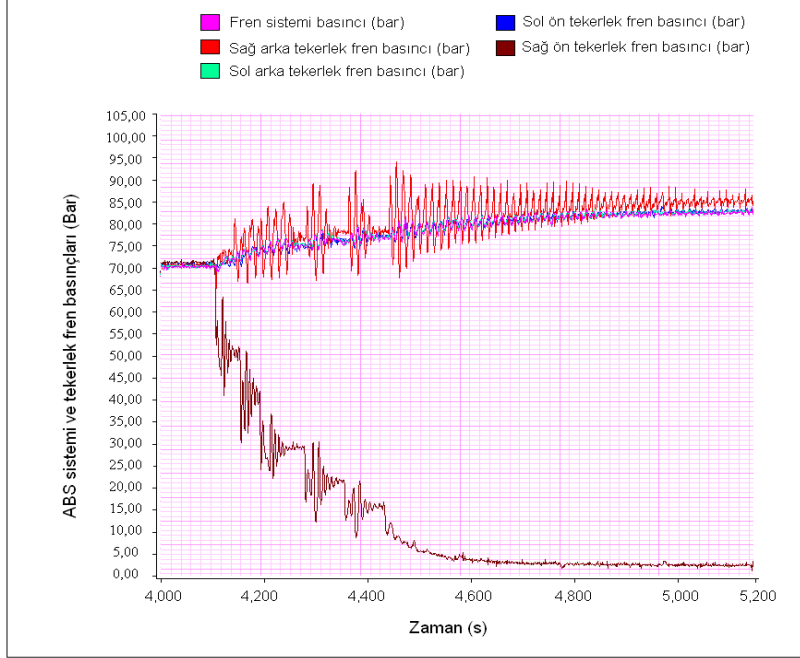
Şekil 5.5. Safrane test aracında maksimum pedal kuvveti uygulaması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme bitimi)



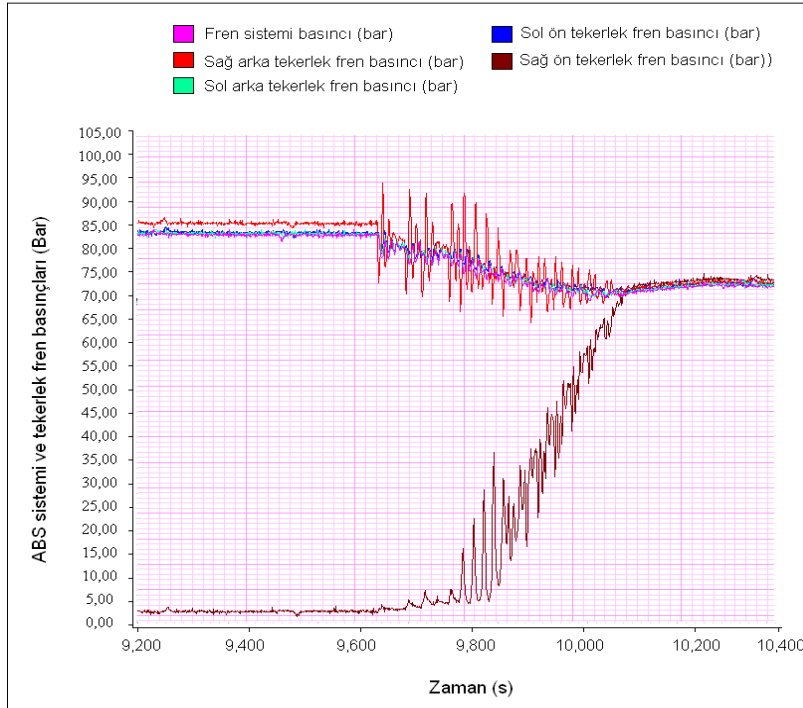
Şekil 5.6. Safrane test aracında maksimum pedal kuvveti uygulaması esnasındaki pedal kuvveti değişimi

Ek-5 Test Sonuçlarının Ek Grafikleri (devamı)

3. Megane (4) Grubu Testleri

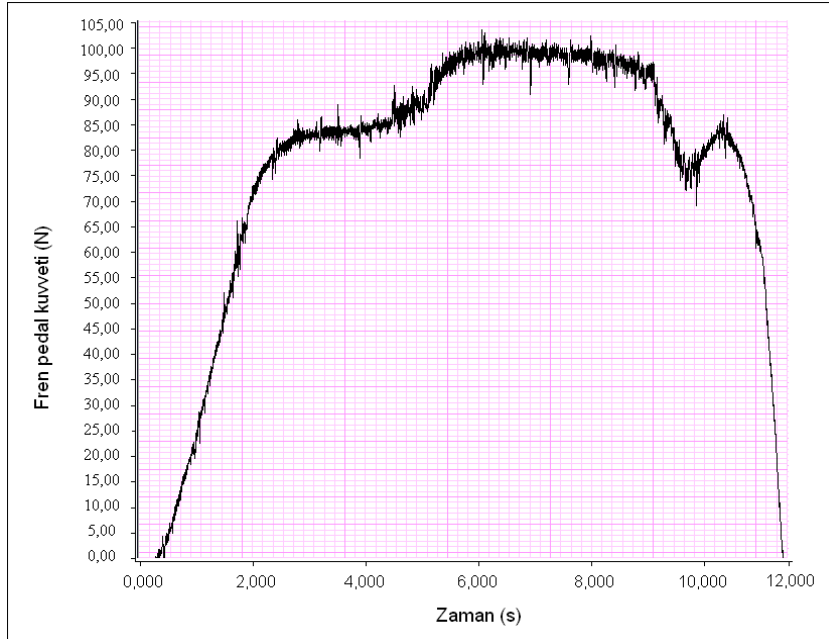


Şekil 5.7. Megane test aracı sağ ön tekerleğin kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme başlangıcı)



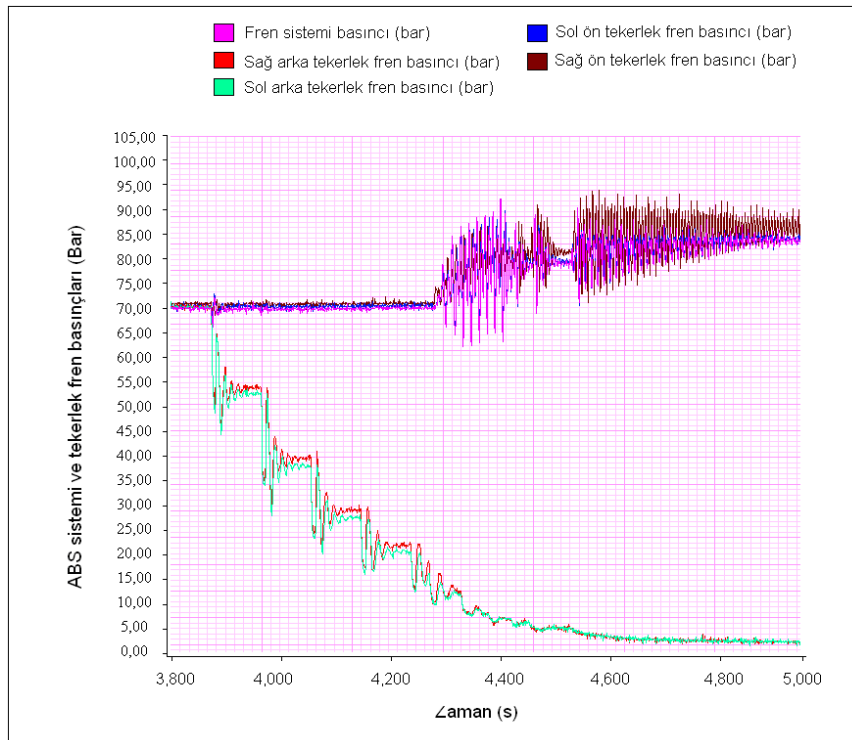
Şekil 5.8. Megane test aracı sağ ön tekerleğin kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme bitimi)

Ek-5 Test Sonuçlarının Ek Grafikleri (devamı)



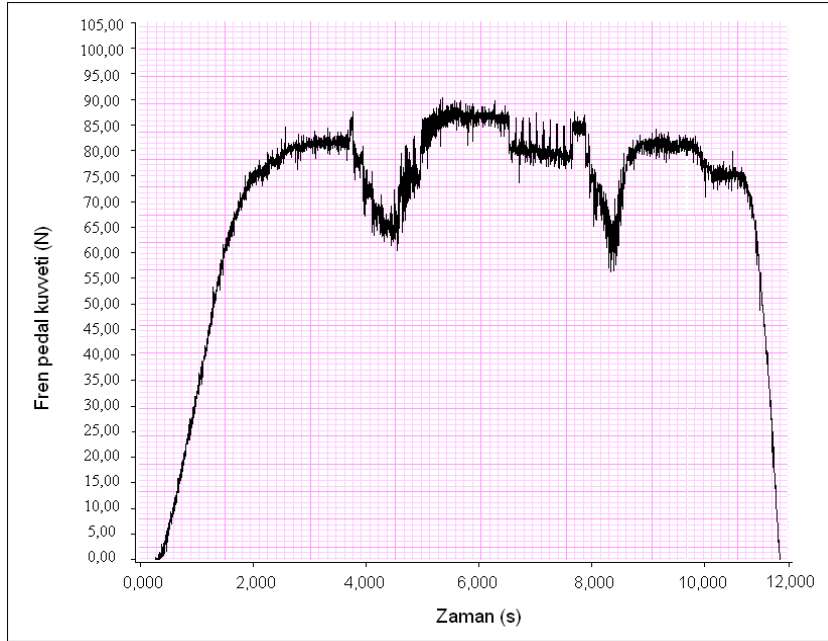
Şekil 5.9. Megane test aracında sağ ön tekerleğin kayması esnasındaki pedal kuvveti değişimleri

5. Megane (5) Grubu Testleri



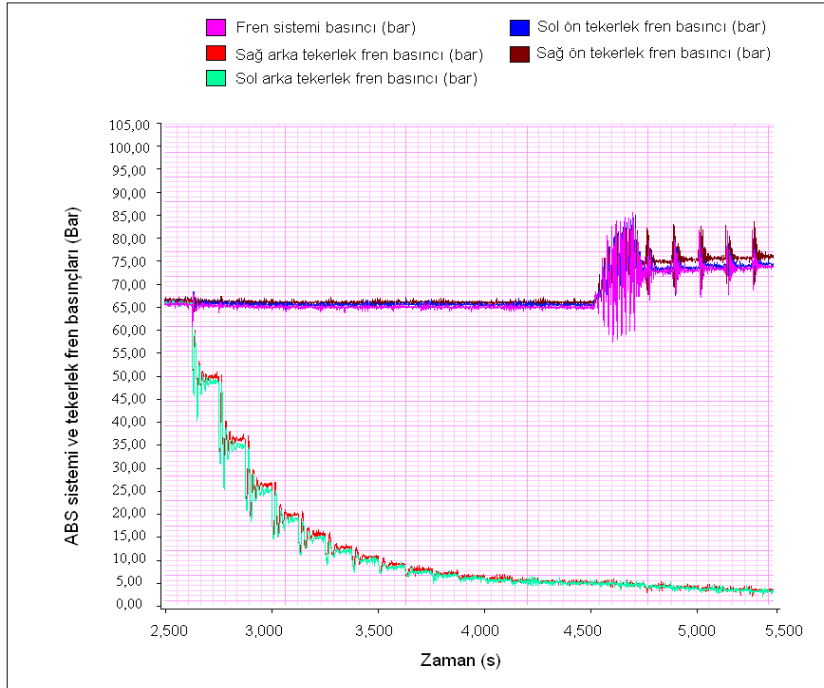
Şekil 5.10. Megane test aracında sol arka veya sağ arka tekerleklerin ayrı ayrı kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme başlangıcı)

Ek-5 Test Sonuçlarının Ek Grafikleri (devamı)



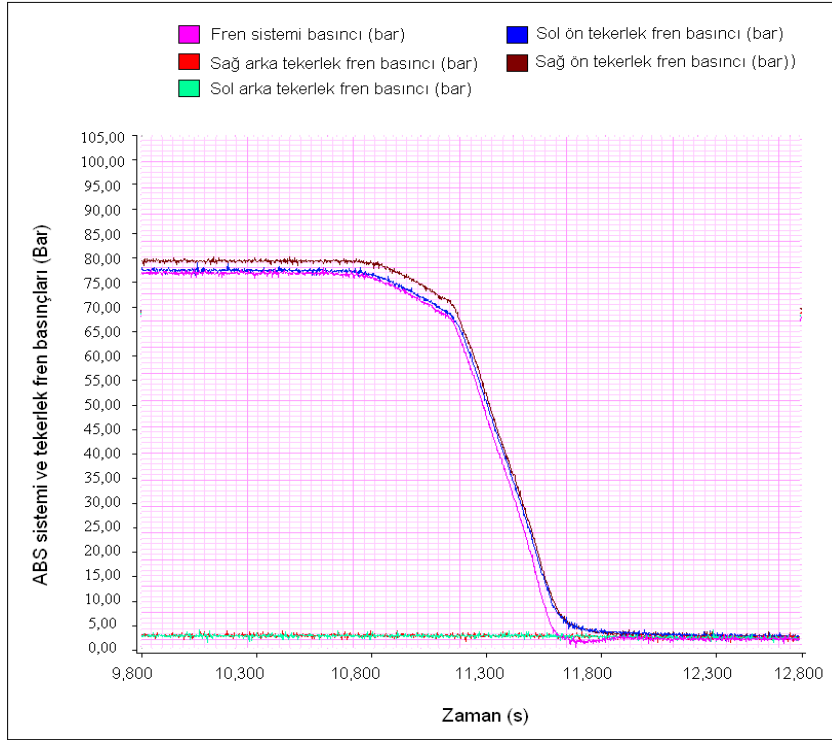
Şekil 5.11. Megane test aracında sol arka veya sağ arka tekerleklerin ayrı ayrı kayması esnasındaki pedal kuvveti değişimleri

6. Megane (7) Grubu Testleri

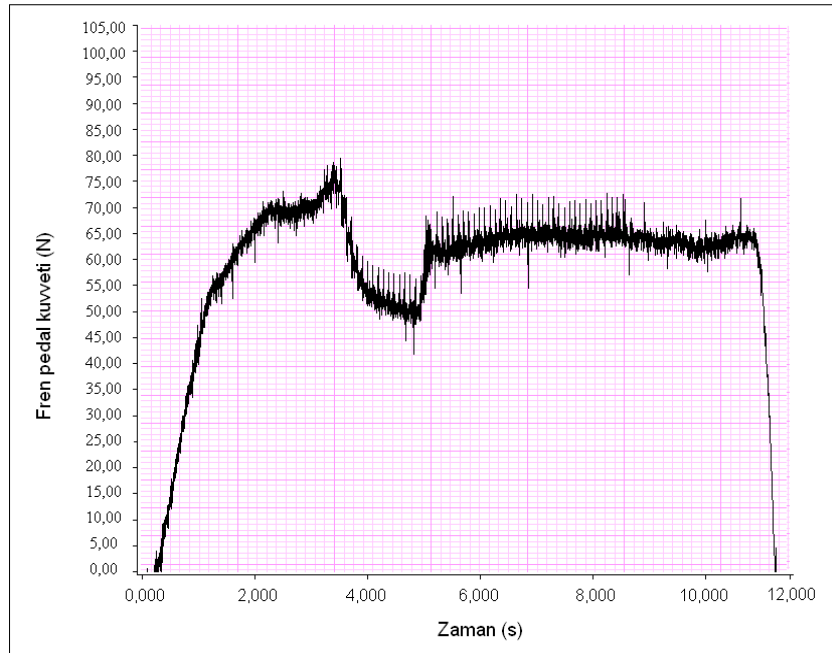


Şekil 5.12. Megane test aracında sol ön, sol arka veya sol ön, sağ arka tekerleklerin çapraz %25 değerinde kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme başlangıcı)

Ek-5 Test Sonuçlarının Ek Grafikleri (devamı)



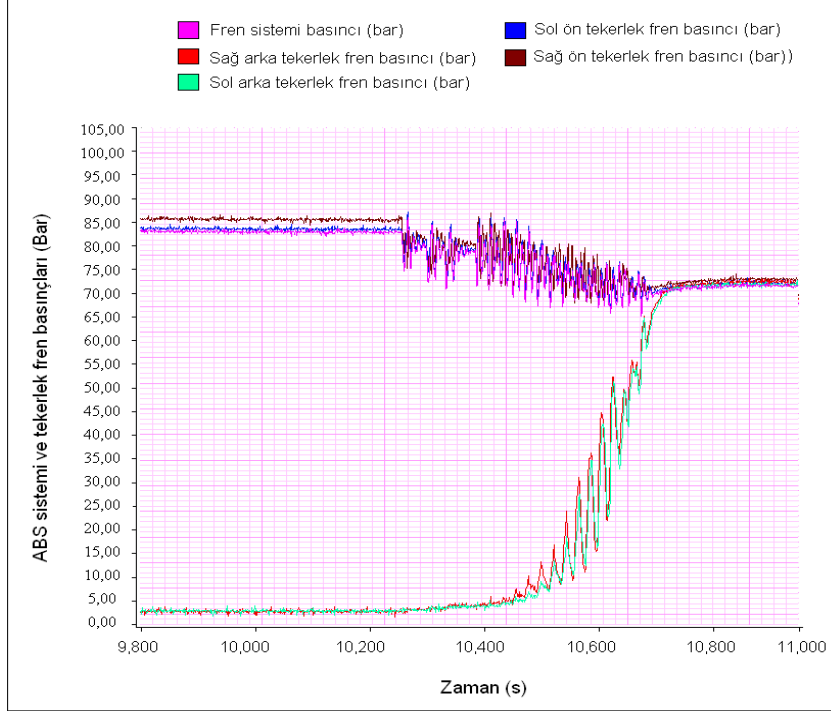
Şekil 5.13. Megane test aracında sol ön, sol arka veya sol ön, sağ arka tekerleklerin çapraz %25 değerinde kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme bitimi)



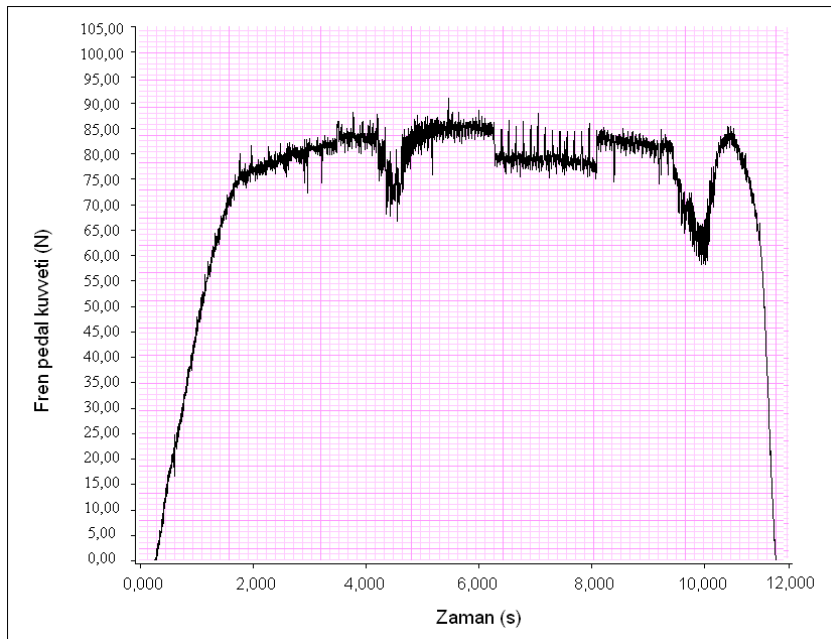
Şekil 5.14. Megane test aracında sol ön, sol arka veya sol ön, sağ arka tekerleklerin çapraz %25 değerinde kayması esnasındaki pedal kuvveti değişimleri

Ek-5 Test Sonuçlarının Ek Grafikleri (devamı)

7. Megane (8) Grubu Testleri



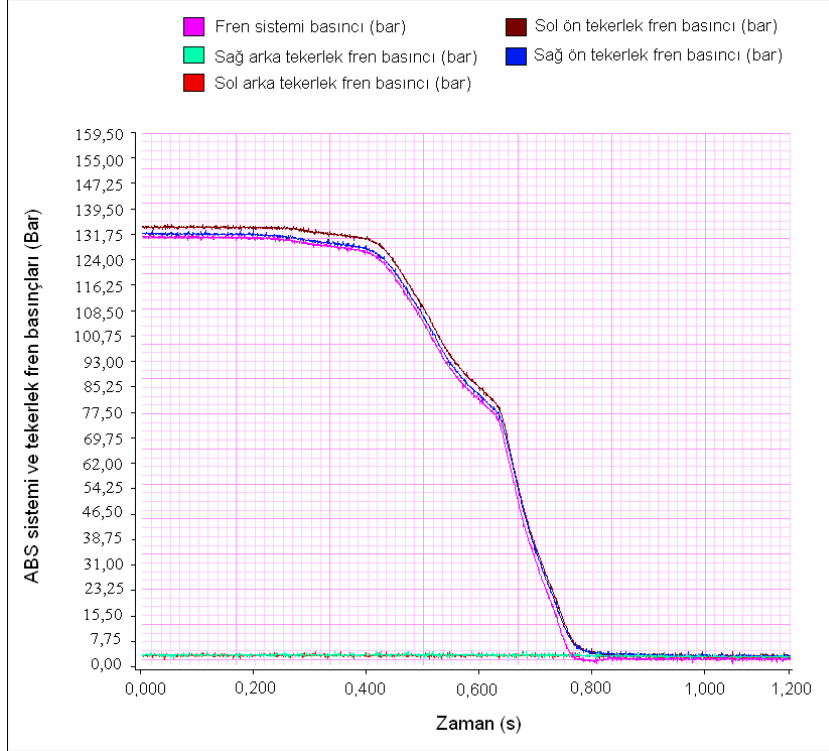
Şekil 5. 15. Megane test aracındaki sol arka veya sağ arka tekerleklerin ayrı ayrı kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme bitimi)



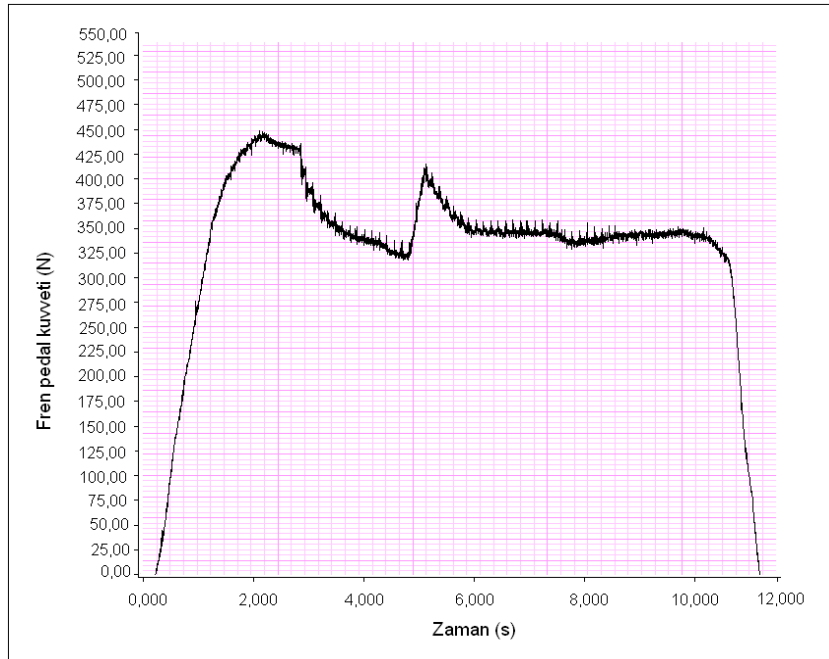
Şekil 5.16. Megane test aracındaki sol arka veya sağ arka tekerleklerin ayrı ayrı kayması esnasındaki pedal kuvveti değişimleri

Ek-5 Test Sonuçlarının Ek Grafikleri (devamı)

8. Megane maksimum pedal kuvvetlerinde EBD etkisi.



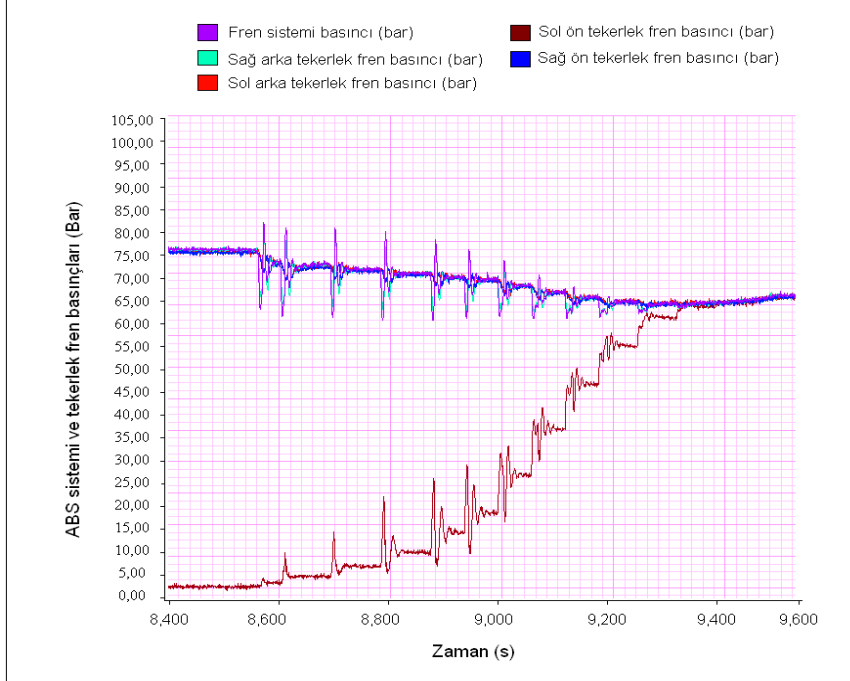
Şekil 5.17. Megane test aracında sol arka veya sağ arka tekerleklerin ayrı ayrı kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme bitimi EBD etkisi)



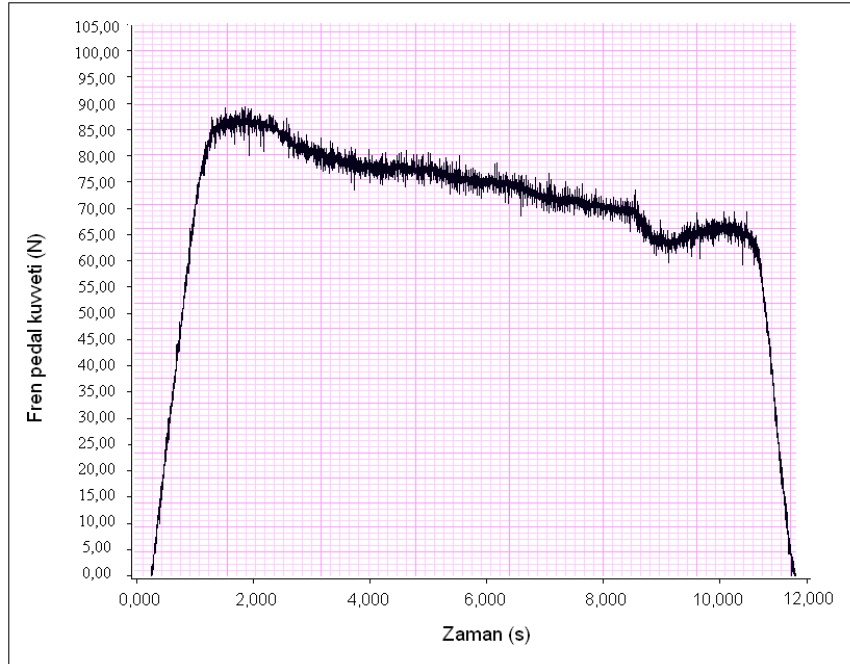
Şekil 5.18. Megane test aracında sol arka veya sağ arka tekerleklerin ayrı ayrı kayması esnasındaki pedal kuvveti değişimleri (EBD etkisi)

Ek-5 Test Sonuçlarının Ek Grafikleri (devamı)

9. Honda (II) Grubu Testleri



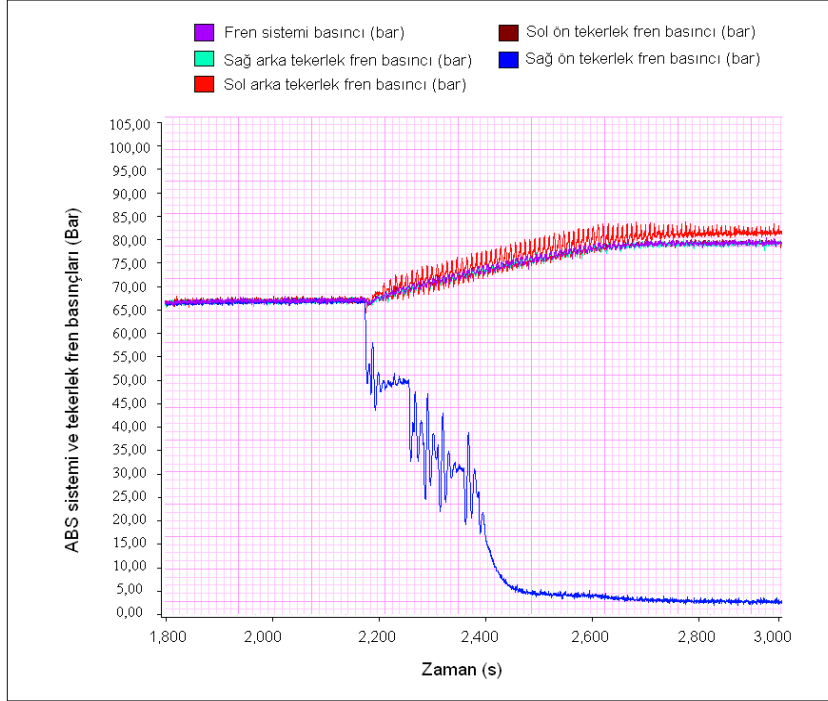
Şekil 5.19. Civic test aracında sol ön tekerleğin kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme bitimi)



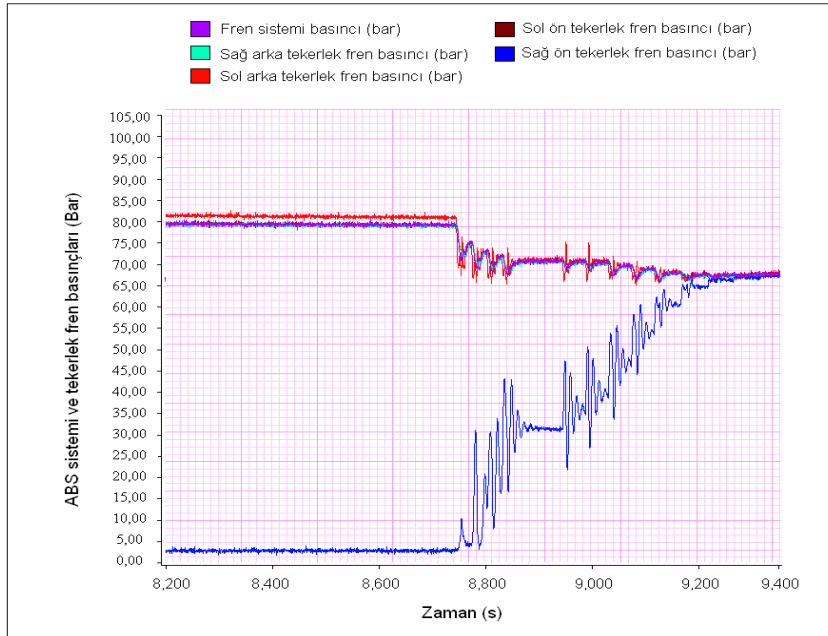
Şekil 5.20. Civic test aracında sol ön tekerleğin kayması esnasındaki pedal kuvveti değişimleri

Ek-5 Test Sonuçlarının Ek Grafikleri (devamı)

10. Honda (III) Grubu Testleri

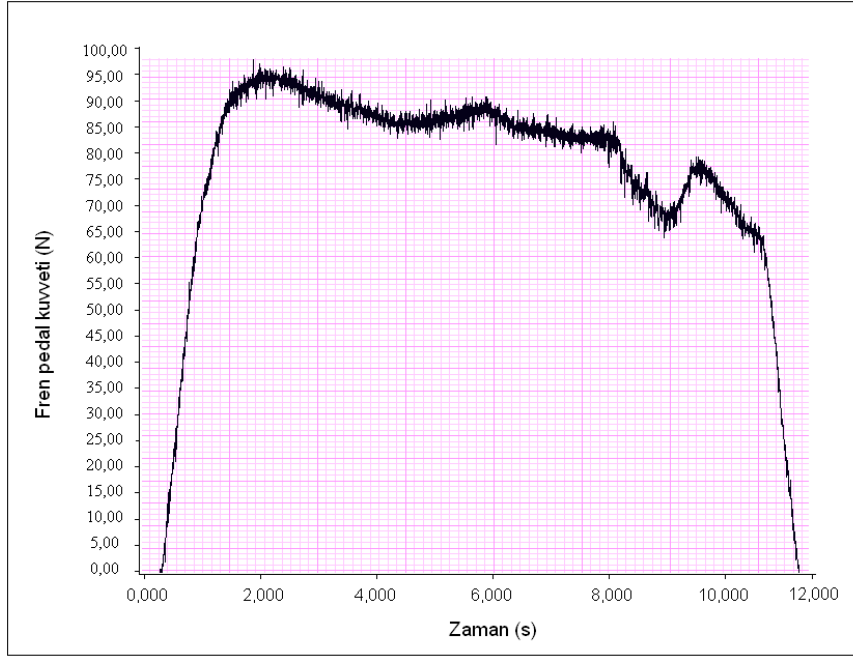


Şekil 5.21. Covic test aracında sağ ön tekerleğin kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme başlangıcı)



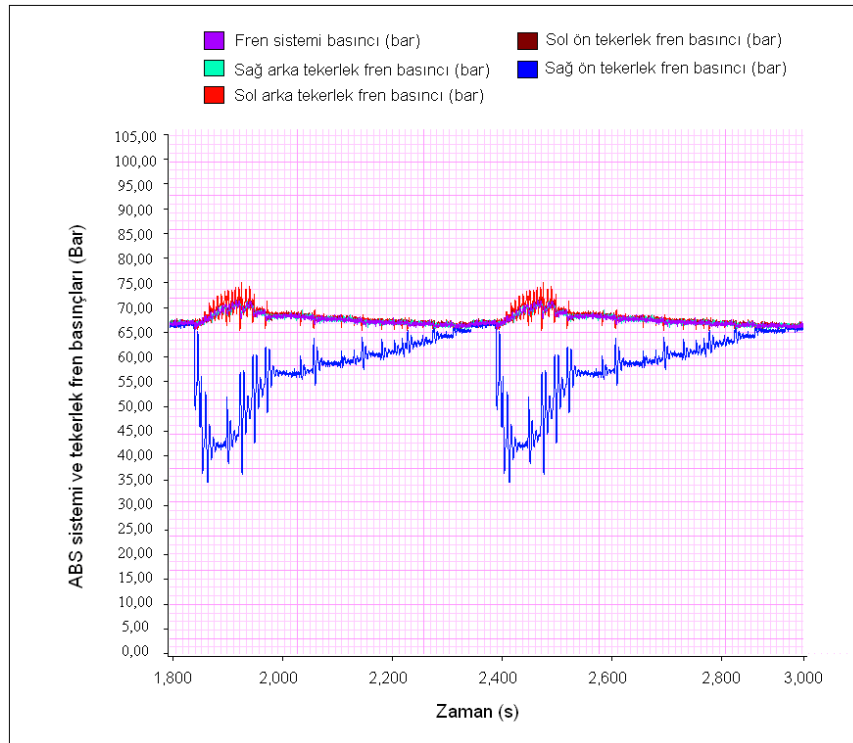
Şekil 5.22. Covic test aracında sağ ön tekerleğin kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme bitimi)

Ek-5 Test Sonuçlarının Ek Grafikleri (devamı)



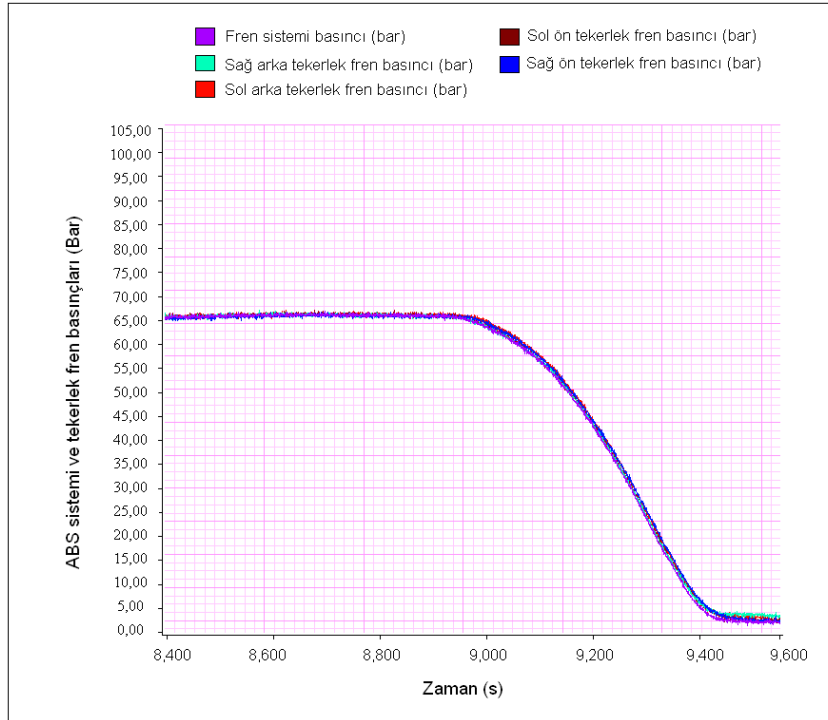
Şekil 5.23. Civic test aracında sağ ön tekerleğin kayması esnasındaki pedal kuvveti değişimleri

11. Honda (V) Grubu Testleri

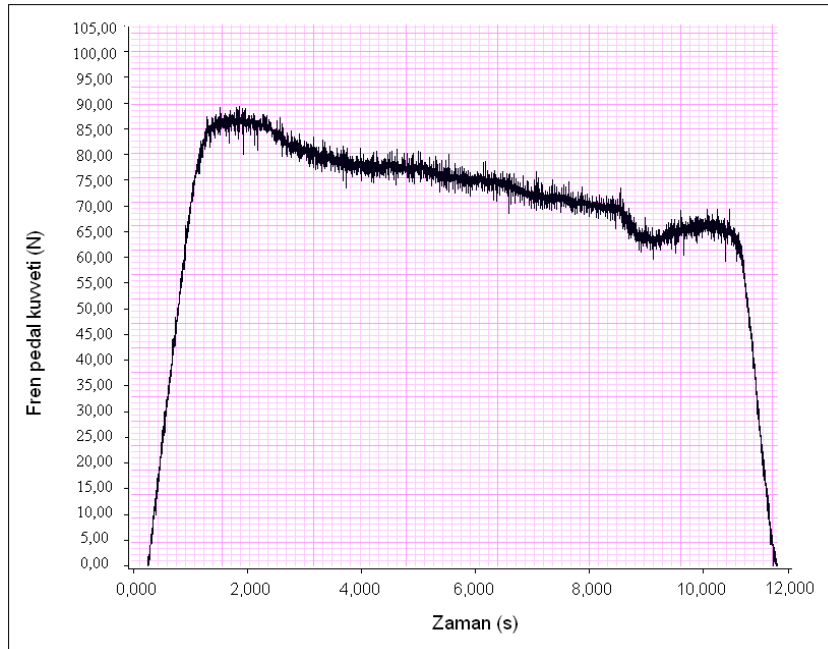


Şekil 5.24. Civic test aracında sağ ön tekerleğin kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme başlangıcı)

Ek-5 Test Sonuçlarının Ek Grafikleri (devamı)



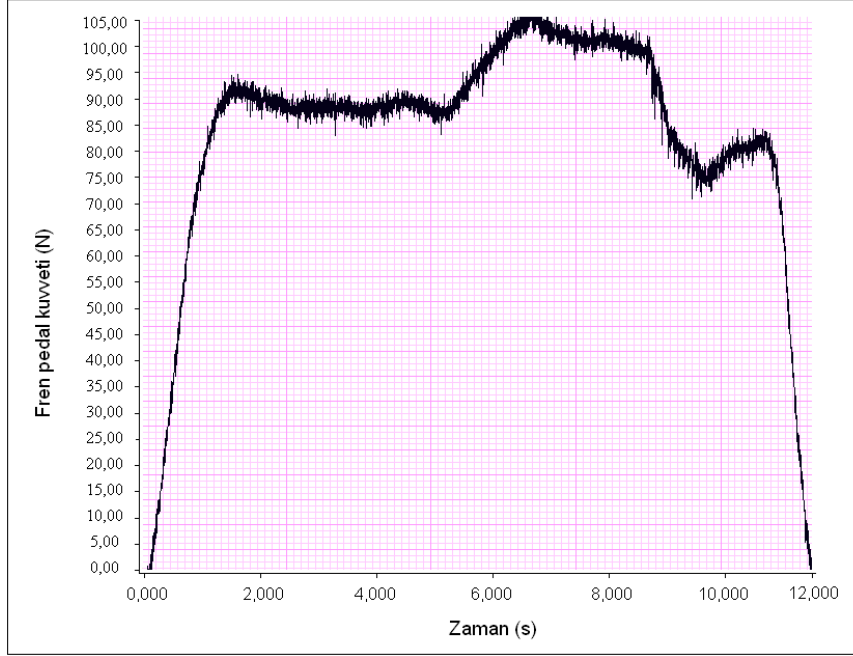
Şekil 5.25. Civic test aracında sağ ön tekerleğin kayması esnasında oluşan ABS kontrolü (frenleme bitimi)



Şekil 5.26. Civic test aracında sağ ön tekerleğin kayması esnasındaki pedal kuvveti değişimleri

Ek-5 Test Sonuçlarının Ek Grafikleri (devamı)

6. Honda (VII) Grubu Testleri



Şekil 5.27. Civic test aracında sol ön, sol arka tekerleklerin birlikte kayması esnasındaki pedal kuvveti değişimleri

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : DÜZGÜN, Mesut
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 06.10.1979 Sivas
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 202 86 50
 Faks : 0 (312) 212 00 59
 e-mail : mduzgun@gazi.edu.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /Makine Eğitimi A.B.D.	2002
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Makine Eğitimi Bölümü	2000
Lise	Sivas Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi	1996

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
1998-1999	Kia Motors	Eğitim Uzmanı
1999-2000	Honda Otomotiv Yetkili Servisi	Aktif Satış Temsilcisi
2000-2002	Tokat Zile Teknik ve End. Mes. Lis. Teknik Öğretmen	
2002-	Gazi Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Düzgün, M., Altıparmak, D., Bayrakçeken, H., 2003, “Motorlu Taşıtlarda Fren Kuvvetlerinin Ölçümü ve Fren Kuvveti Ölçme Cihazları”, 3. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, 18-20 Ağustos 2003, Ankara, TÜRKİYE

2. Bayrakçeken, H., Düzgün, M., 2004, “ Taşıtlarda Kullanılan Sensörler Ve Trafik Kazalarını Önlemedeki Etkileri”, Trafik ve Yol Güvenliğı II. Uluslararası Kongresi/Sergisi 05-07 Mayıs 2004. Ankara, TÜRKİYE
3. Kuş, R., Bayrakçeken, H., Düzgün, M., “Bitkisel Yağların Motorlu Taşıtlarda Kullanımı ve Emisyonlara Etkisi”, 8. Uluslararası Yanma Sempozyumu 8-9 Eylül 2004 Ankara TÜRKİYE
4. Düzgün, M., “Motorlu Taşıtlarda Kullanılan Aktif Güvenlik Sistemlerinin Trafik Kazalarını Azaltmadaki Fonksiyonları” , II. Trafik Şurası 21-22 Ekim 2004 Ankara TÜRKİYE
5. Düzgün, M., Altıparmak, D., “Trafik güvenliğı açısından taşıtlarda kullanılan fren sistemi standartlarının ölkemiz , AB ve diğerk ölkelerdeki durumunun karşılaştırılması” Trafik ve Yol Güvenliğı III. Ulusal Kongresi/Sergisi 04-06 Mayıs 2005. Ankara, TÜRKİYE
6. Düzgün, M., Altıparmak, D., “Taşıtlarda kullanılan ESP (Elektronik Stabilite Programı)’nin trafik ve taşıt güvenliğı açısından etkilerinin incelenmesi” Türkiye Kazaların Çevresel ve teknik Araştırması Ulusal Çalıştayı/Sergisi 13-15 Haziran 2007. Ankara, TÜRKİYE

Projeler

1. “Motorlu Taşıtlarda Fren Performans Analizi ve Geliştirilen Fren Test Cihazında Uygulaması”(TEF7/2002-23),Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri. (Tamamlandı)
2. “Motorlu taşıtlarda kullanılan yakıt enjeksiyon sistemleri eğitimi” AB Leonardo da Vinci Mobility Projesi 26.01-06.03.2005 Lizbon PORTEKİZ (Tamamlandı)
3. “Binek taşıtlarda kullanılan ABS (Anti-lock brake system) fren sisteminin yol şartlarında performans testlerinin yapılarak, ABS fren sisteminin taşıt güvenliğine etkilerinin araştırılması” (07/2006-08) Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri. (Tamamlandı)

Hobiler

Kitap okumak, araç kullanmak, bisiklet sürmek, yüzmek.