

**T.C.  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**MOTORLU TAŞITLARIN GÜÇ KAYNAĞI KARAKTERİSTİKLERİNİN  
BELİRLENİŞİNDE DİAGNOSTİK SİSTEM KULLANILABİLİRLİĞİ VE  
UYGULAMADAKİ ÖNEMİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Mak. Müh. Hakan YILMAZ**

**Balıkesir, Temmuz 2007**

T.C.  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

MOTORLU TAŞITLARIN GÜÇ KAYNAĞI KARAKTERİSTİKLERİNİN  
BELİRLENİŞİNDE DİAGNOSTİK SİSTEM KULLANILABİLİRLİĞİ VE  
UYGULAMADAKİ ÖNEMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Hakan YILMAZ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Hayrettin YÜKSEL

Sınav Tarihi : 10 / 07 / 2007

Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. Hayrettin YÜKSEL (Danışman-BAÜ)

Yrd. Doç. Dr. İlker EREN (BAÜ)

Yrd. Doç. Dr. Davut AKDAŞ (BAÜ)

Balıkesir, Temmuz 2007

## **ÖZET**

### **MOTORLU TAŞITLARIN GÜÇ KAYNAĞI KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENİŞİNDE DIAGNOSTİK SİSTEM KULLANILABİLİRLİĞİ VE UYGULAMADAKİ ÖNEMİ**

**Hakan YILMAZ**  
**Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**  
**Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

**Yüksek Lisans Tezi/ Tez Danışmanı : Y. Doç. Dr. Hayrettin YÜKSEL**

**Balıkesir, 2007**

Taşıtlarda motor çalışma karakteristiklerinin, motor yönetim sistemleri ile kontrolü yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tarz motorların kontrol sistematiği ve özellikle arıza tespit ve teşhisinde kullanılmakta olan diagnostik sistemler ayrı bir önem arz etmektedir.

Bu çalışmanın başlangıç kısmında, elektronik yönetim sistemi ile kumanda edilen bir dizel motorunda mevcut elektronik yönetim sisteminin elemanları ve motor parametrelerine göre çalışma sistematiği ile sistemin tasarlanmasındaki başlangıç prensipleri incelenmiştir.

Sonraki aşamada, yapısı ve çalışma prensipleri incelenen elektronik yönetim sisteminin ve bahse konu motorların bakım, işletme ve idamesinde büyük öneme haiz olan diagnostik arıza teşhis, tespit sistemlerinin tasarlanması ve geliştirilmesi için yöntem belirlenmesine etki eden faktörler; modelleme esaslı yöntemin esasları ve bu yaklaşım ile diagnostik arıza tespit ve teşhisinin yapılması araştırılmıştır.

Bu maksatla; bir turbo dizel motora ait EGR valfli hava emme manifoldu sistemin ve bu sistemde meydana geldiği kabul edilen hava kaçağı, hava akış sensörü, hava basınç sensörü ile EGR valfinin sıkışması arızalarının modelleme esaslı diagnostik sistem yapısı oluşturulmuştur.

**ANAHTAR SÖZCÜKLER** : Dizel Motor Kontrol / Bilgisayar Destekli Sistem yönetimi / Modelleme Esaslı Yöntemle Diagnostik Arıza İncelemesi / Dizel Motor Modellemesi / Diagnostik Hipotez Testleri

## **ABSTRACT**

### **THE USABILITY AND IMPORTANCE OF THE DIAGNOSTIC SYSTEMS TO DETERMINE THE MOTOR VEHICLES' POWERSOURCE CHARACTERISTICS IN PRACTICE**

**Hakan YILMAZ**  
**Balıkesir University, Institute of Science**  
**Department of Mechanical Engineering**

**M.sc. Thesis/ Supervisor : Asst. Prof. Hayrettin YÜKSEL**

**Balıkesir, 2007**

The control of operational characteristics with engine management system have widespreadly applicaiton for vehicles. So the systematics of engine control and diagnostic systems that are use for fault dedection and isolation have distinct importance.

At the first stage of this study, the electronic management system components, system operation in conjunction with the parameters, and the initial system design principles of ECU (Electronic Control Unit) controlled diesel engine are examined.

In the following stage, factors that effect design and development methods of fault diagnosis systems that have an important role in maintenance and operation of the previously examined electronic management system and diesel engine, basics of model based management, and fault diagnosis by the model based approach are researched.

By this purpose; a model based diagnosis system for the air-path of a turbo-charged diesel engine with EGR is constructed. The faults considered were air-mass flow sensor fault, intake-manifold pressure sensor fault, air-leakage, and the EGR-valve stuck in closed position.

**KEY WORDS** : Diesel Engine Control / Computer Aided System Management / Model Based Fault Diagnosis / Diesel Engine Modelling / Diagnostic Hypothesis Testing

## **İÇİNDEKİLER**

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET. ANAHTAR SÖZCÜKLER</b>	ii
<b>ABSTRACT, KEY WORDS</b>	iii
<b>İÇİNDEKİLER</b>	iv
<b>TABLO LİSTESİ</b>	vii
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b>	viii
<b>ÖNSÖZ</b>	ix
<b>1. GİRİŞ</b>	1
<b>2. MOTOR ELEKTRONİK YÖNETİM SİSTEMİ</b>	3
2.1 Motor Elektronik Yönetim Sisteminin Kumanda Yapısı	3
2.2 Motor Elektronik Yönetim Sisteminin Görevleri	4
2.3 Motor Elektronik Yönetim Sisteminin Elemanları	6
2.3.1 Sensörler	7
2.3.1.1 Motor Devir Sensörü (Krank Mili Konum Sensörü)	8
2.3.1.2 Eksantrik Mili Konum Sensörü	10
2.3.1.3 Soğutma Maddesi Sıcaklık Sensörü	11
2.3.1.4 Yakıt Sıcaklık Sensörü	12
2.3.1.5 Turboşarj Havası Sıcaklık Sensörü	13
2.3.1.6 Motor Yağı Basınç Sensörü	13
2.3.1.7 Motor Yağı Sıcaklık Sensörü	14
2.3.1.8 Turboşarj Basınç Sensörü	14
2.3.1.9 Emme Manifoldu Sıcaklık Sensörü	14
2.3.1.10 Emme Manifoldu Akış Sensörü	15
2.3.1.11 Manifold Mutlak Basınç Sensörü	15
2.3.1.12 Barometrik Basınç Sensörü	15
2.3.1.13 Yakıt Hattı Basınç Sensörü	16
2.3.1.14 Yakıt Sistemi Yağ Basınç Sensörü	16
2.3.1.15 Gaz Pedalı Konum Sensörü	16
2.3.2 Elektronik Kumanda Ünitesi (ECU)	18
2.3.2.1 Elektronik Yakıt Enjeksiyonu	21
2.3.2.2 Püskürtme Avans Mekanizması	21

2.3.2.3 Elektromanyetik Fan Kumandası	22
2.3.2.4 Rölanti Devri Kontrolü	22
2.3.2.5 Diagnostik Fonksiyon	22
2.3.2.6 Arıza Saklama Fonksiyonu	23
2.3.2.7 Yedekleme Fonksiyonu	23
2.3.2.8 Motorun Çalışma Aşamalarında Elektronik Kumanda	23
2.3.2.9 Elektronik Kumanda Ünitesinin Yapısı	25
2.3.2.9.1 Yorumlayıcı Ara Yüzü	25
2.3.2.9.2 Motor Kontrol Birimi	25
2.3.2.9.3 İşletme Birimi	27
2.3.2.10 Eş Zamanlı Çalışan Elektronik Kontrol Üniteleri	27
2.3.3 Motor Elektronik Yönetim Sistemi Tasarım Prensipleri	29
2.3.4 Yakıt Sistemi	33
2.3.4.1 Elektronik Kontrollü ve Mekanik Kontrollü Yakıt Sistemlerinin Karşılaştırılması	33
2.3.4.2 Elektronik Kontrollü Yakıt Sistemleri	35
2.3.4.2.1 Common Rail Yakıt Sistemi	35
2.3.4.2.1.1 Yüksek Basınç Hattı	38
2.3.4.2.1.2 Alçak Basınç Hattı	39
2.3.4.2.1.3 Elektronik Kontrol Devresi	39
2.3.4.2.2 HEUI Yakıt Sistemi	39
2.3.4.2.2.1 HEUI Yakıt Enjektörleri	40
<b>3. MOTOR DİAGNOSTİK SİSTEMLERİN İNCELENMESİ</b>	<b>42</b>
3.1 Diagnostik Sistem Tanımı	42
3.2 Diagnostik Sistem Güvenilirliği	45
3.3 Diagnostik Sistemlerin Uygulama Yönteminin Belirlenmesi	47
3.3.1 Öngörülme Arızalar	48
3.3.2 Model Oluşturulması	49
3.3.3 Bilgi Kazanımı	49
3.3.4 Taşıt Ve Motor Elektroniği Yönetim Sistemleri	49
3.4 Modelleme Esaslı Yöntem	50
3.4.1 Sistem Çıktı Değerindeki Sapmasının Bulunması	51
3.4.2 Alt Sistemlerde Modelleme Esaslı Yöntemin Uygulanması	52
3.5 Modelleme Esaslı Yöntemin Diagnostik Sistemlerde Uygulanması	53
3.5.1 Arıza Modelleri	54
3.5.2 Arıza Faktörü	54
3.5.3 Hipotez Testleri	55
3.5.4 Test Fonksiyonu	58
3.5.5 Hipotez Geçerlilik Bölgelerinin Belirlenmesi	59
3.6 Bir Dizel Motorunda Hava Kaçağı ve Sensör Arızalarının Modelleme Esaslı Yöntemle Diagnostik İncelemesi	60
3.6.1 Hava Emme Manifoldu ve EGR Sistemi	60
3.6.2 Genel Sistem Modeli	61
3.6.3 Sistem Modeli Formülasyonları	62
3.6.4 Arıza Tiplerinin Belirlenmesi	65
3.6.5 Arıza Modellerinin Oluşturulması	66
3.6.5.1 Arızasız Durum Modeli	66

3.6.5.2 Emme Manifoldu Hava Kaçağı Modeli	66
3.6.5.3 Emme Manifoldu Hava Akış Sensörü Arızası Modeli	67
3.6.5.4 Emme Manifoldu Hava Basınç Sensörü Arızası Modeli	67
3.6.5.5 EGR Valfi Arızası Modeli	68
3.6.6 Arıza Kümelerinin Oluşturulması	68
3.6.7 Sapma Değerinin Belirlenmesi	68
<b>4. SONUÇ VE TARTIŞMA</b>	<b>70</b>
<b>KAYNAKLAR</b>	<b>72</b>

## TABLO LİSTESİ

<b>Şekil</b>		
<b>Numarası</b>	<b>Adı</b>	<b>Sayfa</b>
Tablo 2.1	Krank mili ve eksantrik mili konum sensörleri arıza durumu	11
Tablo 2.2	Dizel motor sistem parametre ortalama değerleri	30
Tablo 3.1	Sistem Modeli Parametreleri ve Birimleri	64



## ŞEKİL LİSTESİ

<b>Şekil Numarası</b>	<b>Adı</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1	Elektronik motor yönetim sisteminin kumanda yapısı	4
Şekil 2.2	Motor elektronik yönetim sistemi	6
Şekil 2.3	Krank mili konum sensörü çalışma prensibi	9
Şekil 2.4	Temassız krank mili konum sensörü çalışma prensibi	10
Şekil 2.5	Motor soğutma suyu sıcaklık sensörü.	12
Şekil 2.6	Gaz pedalı konum sensörü konumu ile motor hızı ve devrinin ilişkisi	17
Şekil 2.7	Gaz pedalı konum sensörü ve sinyalleri	17
Şekil 2.8	Elektronik kumanda ünitesi bilgi girişi	19
Şekil 2.9	Elektronik kumanda ünitesi, sensörler ve yakıt sistemi	20
Şekil 2.10	Elektronik kumanda ünitesinin yapısı	25
Şekil 2.11	Motor kontrol ünitesi veri grafiği	26
Şekil 2.12	Yakıt optimizasyonu blok diyagramı	27
Şekil 2.13	Eş zamanlı çalışan iki elektronik kontrol üniteli sistem	28
Şekil 2.14	Dizel motorunun teorik modellemesi	29
Şekil 2.15	Elektronik kumanda ünitesinin tasarım aşamaları	32
Şekil 2.16	Common Rail yakıt sistemi	38
Şekil 2.17	HEUI yakıt sistemi	40
Şekil 2.18	HEUI yakıt sistemi enjektörü	41
Şekil 3.1	Diagnostik sistem çalışma şeması	43
Şekil 3.2	Harici diagnostik sistem	44
Şekil 3.3	Diagnostik sistemin güvenilirliği	46
Şekil 3.4	Modelleme esaslı yöntem	51
Şekil 3.5	Diagnostik arıza tespit sistemi hipotez testleri	56
Şekil 3.6	Hava emme manifoldu ve EGR sistemi	61

## **ÖNSÖZ**

Taşıtlar, iş makinaları veya diğer uygulama alanları çok geniş ve yaygın olan, elektronik yönetim sistemleri ile güç kaynağı karakteristiklerinin kontrolü, bu tür kumanda edilen güç kaynaklarında arıza tespit ve teşhis işlemlerinin gerçekleştirildiği diagnostik sistemlerin çalışma prensipleri bu çalışmanın kapsamında incelenmiştir.

Çalışmalarımda beni yönlendiren ve yol gösteren danışmanım Sn. Y. Doç. Dr. Hayrettin YÜKSEL'e,

Destegini hiçbir zaman benden esirgemeyen eşim Arzu'ya,

İleriye dönük yönlendirmeleri ile motivasyonumu güçlendiren komutanım Y.Müh.Bnb. Mustafa ÜSTÜN'e

Teşekkür ve Saygılarımı sunarım.

**Balıkesir, 2007**

**Hakan YILMAZ**

## 1. GİRİŞ

Daha yüksek güç, verim, bakım ve işletme güvenliği ile emisyon sınırlamalarına uygun egzoz gazı değerleri ortaya koyan elektronik yönetim sistemleri; motorlu taşıtlarda güç kaynağı olarak kullanılan gerek benzinli, gerekse dizel motorlarda yaygın kullanıma sahiptir. Elektronik yönetimli motor sistemlerinin işlev olarak büyük avantajları olmasına karşılık, fonksiyonel olarak meydana gelen arıza durumlarında, sistem karakteristiklerinin belirlenmesi özel arızacılık yöntemleri gerektirmektedir.

Elektronik yönetim sistemi ile techiz edilmiş bir taşıt motoru ele alınırsa; motoru oluşturan alt sistemlerin bir birinden önce gelen veya birbirleri ile eş zamanlı çalışan işletme parametrelerinden herhangi birinin nominal değerinden sapma göstermesi, bir bütün olarak motor sistemi fonksiyonu değerleri olan güç, verim, yakıt tüketimi vb. çıktı değerlerinde sapmaya yol açacaktır.

Gelişen motor teknolojisi ile birlikte yaygınlaşan araç üstü ve harici diagnostik arıza teşhis ve tespit sistemleri, elektronik yönetim sistemine haiz motorların bakım, işletme ve idamesinde en önemli unsuru teşkil etmektedir.

Motorlu taşıt teknolojisi açısından genel olarak ifade edilirse; diagnostik sistemler, ele alınan bir taşıt veya motor sistemin değişkenlerine ait ölçüm değerlerinin, bu değişkenlere ait olması gereken nominal değerler arasındaki sapmayı ve bu sapmanın kaynağını belirlenmektedir.

Günümüzde yaygın olarak kullanılan harici diagnostik sistemler, motorda meydana gelen bir arızayı teşhis ve tespit etmenin yanında bahse konu arızanın olası sebeplerini ve arızanın giderilebilmesi için yapılması gereken işlemleri de belirtmektedir.

Komple bir motor sisteminin veya motoru oluşturan alt sistemlerin hem ayrı ayrı hem de birbirleri ile olan girdi ve çıktı değerleri arasındaki

sapma değerlerini belirlemeye imkân veren modelleme esaslı yöntem yaklaşımı, diagnostik arıza teşhis ve tespit sistemlerinin geliştirilmesinde temel yöntemdir.

Modelleme esaslı yöntemle diagnostik sistem yaklaşımı, ilk olarak 80'li yılların başlarında ortaya konulmuştur. Sosyolijeden tıp bilmine kadar birçok alanda uygulama alanı olan modelleme esaslı yöntemin temeli, ele alınan bir sistemin yapısal, davranış veya fonksiyon modelini oluşturmaya dayanır.

Bu tezde; dizel motorlarına ait elektronik yönetim sistemi elemanlarının motor karakteristiklerini nasıl kumanda ettiği, diagnostik arıza teşhis ve tespit sistemleri ve bu sistemlerin geliştirildiği modelleme esaslı yöntemin prensipleri incelenmiş; diagnostik sistemlerin motor karakteristiklerindeki arızaları teşhis etme yöntemlerinden olan arıza modellemesi ve hipotez testlerinin motor alt sistemlerine uygulanmaları araştırılmıştır.

## **2. MOTOR ELEKTRONİK YÖNETİM SİSTEMİ**

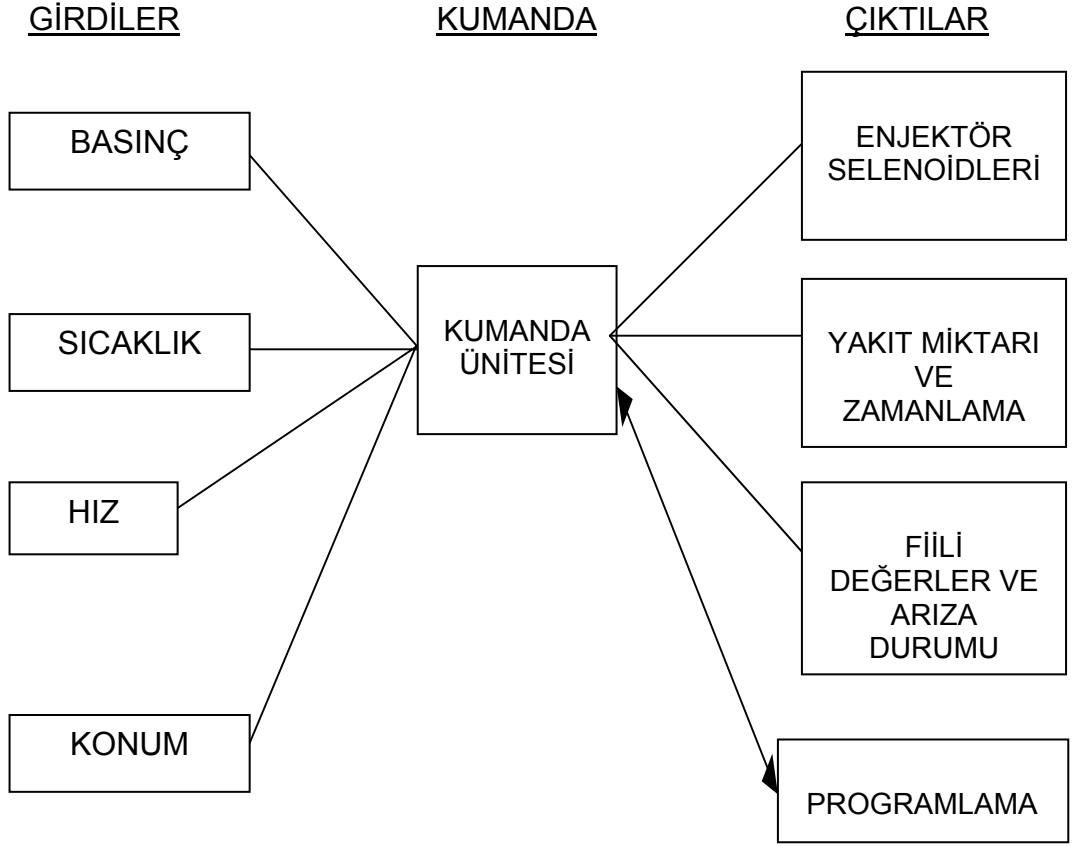
### **2.1 Motor Elektronik Yönetim Sisteminin Kumanda Yapısı**

#### **Motor Elektronik Yönetim Sisteminin Kumanda Yapısı**

Dünya taşıt pazarındaki firmalar arası yüksek rekabet, dizel motor sistemlerinde hızlı gelişmeye, yüksek performans ve düşük yakıt emisyonu sağlayacak yöntemlerin bulunması için sürekli teknolojik değişime neden olmuştur. Motor yönetim sistemi olarak da nitelendirilebilecek olan motorlarının elektronik donanımla kumandası; yol şartlarına göre optimum yakıt miktarı, motor gücü, her geçen gün daha katı sınırlamaların getirildiği egzoz emisyonu değerleri, azalan arıza ve bakım maliyetleri gibi sebeplerle günümüz teknolojisinde dizel motorlarında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Elektronik motor yönetim sisteminin mevcut olduğu motorlarda kumanda yapısı, şekil 2.1'de görüleceği üzere basit bir tarifle; girdiler (basınç, sıcaklık, devir, konum), gerçek zamanlı olarak değerlendirme ve karşılaştırma yapan bir kumanda fonksiyonu ile çıktılar (enjektör kumandası, yakıt miktarı, motor devri, arıza verileri vb.) olarak 3 temel bileşenden oluşmaktadır.

Yukarıda belirtilen avantajlarına ilave olarak motorun elektronik donanımla kumanda edilmesi, motor üzerindeki sıcaklık, basınç, seviye ve konum sensörleri tarafından kumanda ünitesine iletilen anlık motor çalışma bilgilerinin, özel yazılım yüklü diagnostik arıza teşhis ve test cihazları yardımıyla motorun çalışması esnasında fiili olarak izlenebilirliğini mümkün kılmaktadır. Motorun çalışması esnasında anlık olarak takip edilebilen karakteristik değerlerin izlenmesi, meydana gelebilecek arızaların önceden teşhis edilmesini, meydana gelecek herhangi bir arızanın ise hızlı olarak tespit edilebilmesini ve doğrudan arızaya müdahale edilebilmesini böylelikle zaman, işçilik ve malzeme tasarrufunu sağlamaktadır.



Şekil 2.1 Motor elektronik yönetim sisteminin kumanda yapısı

## 2.2 Motor Elektronik Yönetim Sisteminin Görevleri

Farklı motor üreticilerince değişik isimler kullanılsa da elektronik motor yönetim sistemi; bir elektronik kontrol ünitesi (ECU), yakıt donanımı, ateşleme sistemi ve sensörlerden meydana gelmektedir. Sensörler, motorun anlık çalışma değerlerini ölçerek, elektronik kontrol ünitesine motor fiili değerlerini gerçek zamanlı olarak ileten ve elektriksel olarak çalışan elemanlardır. Bu bilgilere göre, elektronik kontrol ünitesi tarafından yakıt sisteminde püskürtme zamanı ve püskürtme miktarı kumanda edilir.

Özellikle yüksek güç üreten dizel motorlarında yaygın olarak kullanılmaya başlanmış olan elektronik motor yönetimi, motor üretici firmalar

tarafından üretilen farklı motor yapı tarzlarına göre farklı kontroller gerçekleştirilmektedir.

Yakıt pompası tarafından, enjektörlere gönderilecek yakıt miktarını ayarlayarak motor devrini düzenleyen ve klasik dizel motorlarında mekanik olarak çalışan regülatörlerin yerini elektronik donanımların almasıyla ilk olarak kullanılmaya başlanan elektronik yönetim sistemleri teknolojik geliştirmeler neticesinde tüm motor karakteristiklerinin kontrol edilebildiği karmaşık bir sistem haline gelmiştir.

Motorun yakıt ihtiyacını belirlemesinin yanı sıra; yağ basıncı, soğutma suyu sıcaklığı ve soğutma suyu debi kontrol sensörleri tarafından gerçek zamanlı olarak iletilen motor bilgilerini sürekli izleyen elektronik yönetim sisteminin mekezi konumundaki elektronik kontrol ünitesi, nominal çalışma parametrelerinden meydana gelecek anormal bir sapma karşısında motoru durdurarak koruma altına almaktadır.

Bu kapsamda motor elektronik yönetim sisteminin görevleri:

- Enjektörlere kumanda etmek,
- Motorun çalışması esnasında, motor çalışma bilgilerini gerçek zamanlı olarak takip etmek ve olması gereken değerlerle anlık karşılaştırma yapmak,
- Motorun çalışma şartlarına göre yakıt ihtiyacını belirlemek ve püskürtme zamanını ayarlamak,
- Motor soğutma sistemini fanına kumanda etmek,
- Motor çalışma verilerini, meydana gelen fiili ve geçmiş arıza bilgilerini raporlamaktır.

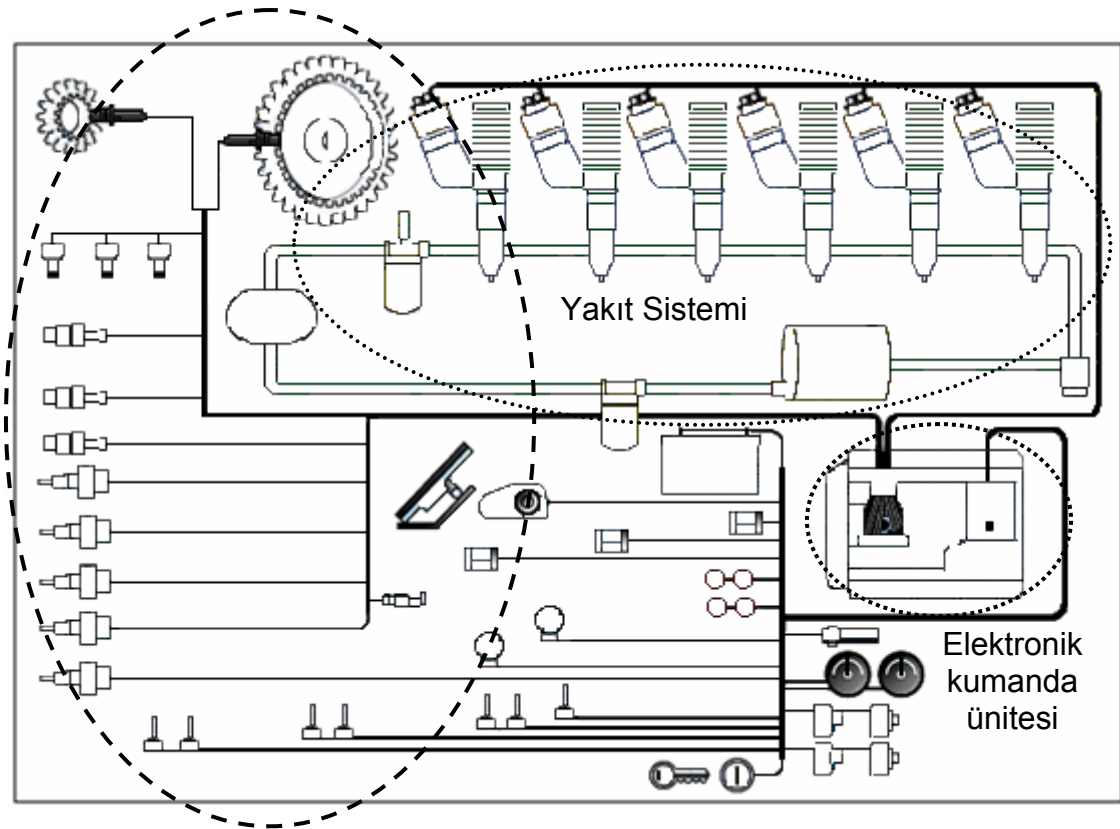
Günümüz teknolojisinde araçların motor, şanzıman, fren, vb. birçok donanımı için münferit kumanda sistemleri mevcut olup, bu sistemler ortak olarak araç seyir kumanda ünitesi tarafından koordine edilmektedir.

Bahse konu gelişmiş kumanda sistemlerinde diagnostik arıza arama ve teşhisi mantığı, elektronik kumanda sistemi işleyiş sistematığı altında bir dizi test zincirinin ve arıza verilerinin takip edilmesini kapsamaktadır.

### 2.3 Motor Elektronik Yönetim Sisteminin Elemanları

Her üretici firmanın kendine özgü geliştirmiş olduğu farklı sistemler ve ilave fonksiyonları olmakla birlikte, blok şeması şekil 2.2'deki şemada görüleceği gibi motor elektronik yönetim sistemlerinde aşağıda belirtilen elemanlar bulunmaktadır:

- Sensörler
- Elektronik Kumanda Ünitesi (ECU)
- Yakıt Sistemi



Sensörler

Şekil 2.2 Motor elektronik yönetim sistemi



Bir güç kaynağı olarak içten yanmalı motorlarda, motor elektronik yönetim sisteminin avantajları;

- Motor ve taşıt işletme şartlarına göre yakıt sarfiyatının optimizasyonunu,
- Motor işletme değerlerinin, sensörler yardımıyla gerçek zamanlı takip edilmesi ve bu değerlerin olması gereken ideal işletme şartlarına yaklaştırılmasını,
- Yakıt sarfiyatı optimizasyonuna göre, taşıt ve motor işletme şartlarına göre gereken motor torkunun elde edilmesini,
- Soğuk çalışma esnasında motorun aşıntısız ve seri bir şekilde işletme sıcaklığına ulaştırılmasını,
- Opsiyonel olarak, motor freni ve retarder sistemi mevcut araçlarda güvenli olarak yüksek frenleme kabiliyeti ve verimini sağlamasıdır.

### 2.3.1 Sensörler

Taşıtlarda çok farklı maksatlarla değişik sensörler kullanılmaktadır. Sensörler, motor elektronik yönetim sisteminin “duyu organları”dır. Prensipte olarak görevleri; değişken fiziksel değerleri bir elektrik değerine dönüştürmektir. Sensörlerin ölçü aralıkları tasarım olarak önceden belirlenmiş olup, motorun geçerli olan çalışma durumunu örneğin; yakıt sıcaklığı, motor devir sayısı veya yük gibi çeşitli elektriksel özelliği olmayan fiziki değerleri elektrik sinyallerine dönüştürerek aldığı bilgileri elektronik kumanda ünitesine iletirler. Sensörler, motorun o andaki konumu ve durumu hakkında sağlıklı verilerin alınmasını, arızalanma halinde arızanın nedenini, nerde olduğunu, yakıt tüketimini ve daha birçok veriyi kolaylıkla öğrenmesini sağlamaktadır. Sensörleri birbirlerinden farklı birçok sınıfa ayırmak mümkündür. Dizel motorlarındaki kullanılışlarına göre fiziksel ölçüm büyüklüklerine göre sınıflandırması aşağıdaki gibidir:

- Mekanik: debi, kuvvet, moment, basınç, ivme, pozisyon, vb.
- Termal: sıcaklık

- Elektriksel: voltaj, akım, direnç, endüktans, frekans vb.

Sensörler, veri aktarımını; elektronik kumanda ünitesinden gönderilen referans bir sinyale karşılık, düşük direnç veya voltaj durumunda sinyalin büyük bir kısmını, direncin veya voltajın artması durumunda ise daha az kısmının geri dönmesine izin vererek gerçekleştiriler.

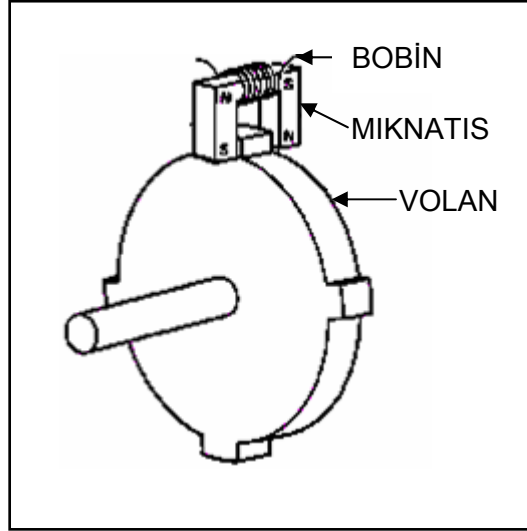
Sensörler en zor çalışma şartları altında fonksiyonlarını yerine getirerek, motor çalışma değerlerini doğru ölçebilmektedirler. Sensörlerin vereceği bilgilerin yanlış olması motorun verimsiz, yakıt ekonomisinden uzak ve güvenliği azalmış bir şekilde çalışmasına, kritik parametreler için de çalışmamasına neden olacaktır. Bu nedenle sensörlerden gelen sinyallerin, dış etkenlerden kaynaklanan frekans karışıklığı nedeniyle hatalı olmaması ve güvenli olması için fiber optik kablolar kullanılmaktadır.

Marka ve modellere göre farklılık göstermekle birlikte elektronik yönetim sistemine sahip dizel motorlarda kullanılan sensörler ve çalışma prensipleri aşağıda açıklanmıştır.

### **2.3.1.1 Motor Devir Sensörü (Krank Mili Konum Sensörü)**

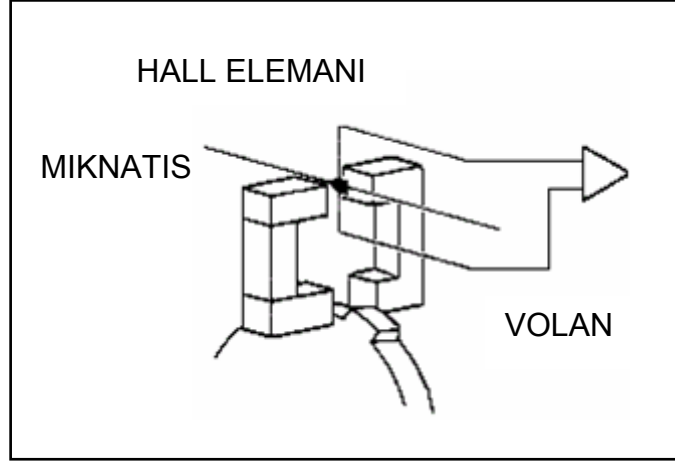
Motor devir sensörünün görevi krank milinin devir sayısını ve tam pozisyonunu, diğer bir ifadeyle açısal konumunu tespit ederek elektronik kumanda ünitesine iletmektir. Aynı zamanda bu bilgiyi, elektronik kumanda ünitesi tarafından gösterge tablosundaki motor devir saatine göndermektedir.

Krank milinin açısal konumu; püskürtme açısını, buna göre de elektronik kumanda ünitesi tarafından püskürtme süresinin hesaplanması için tetikleme noktasını verir. Gerçek zamanlı olarak krank mili devir sayısının algılanabilmesi için endüktif sensörler kullanılır. Şekil 2.3'de çalışma prensibi gösterilen bu sensörler, yumuşak bir demir çekirdek üzerine sarılmış bir bobin ve yanındaki bir tabii mıknatıstan oluşmuştur. Mıknatısın alan çizgileri



Şekil 2.3 Krank mili konum sensörü çalışma prensibi

yumuşak demir çekirdeğin içinden geçer. Yumuşak demir çekirdeğin ucu dönen volan dişlisine belli bir mesafede konumlandırılır. Sensör ucunun önünden geçen volan üzerindeki diş ve kanallar nedeniyle, sensörün içerisindeki sabit mıknatısın meydana getirdiği manyetik akı değişikliği neticesinde, sabit mıknatıs üzerine sarılmış olan sensör bobininin gerilim üretmesini sağlar. Bu sensörün ürettiği gerilim manyetik alan değişimlerinden dolayı alternatif özelliktedir. Üretilen gerilimin büyüklüğü, manyetik akının değişim hızına bağlıdır. Sensör çıkış voltajı artan krank dönüş hızıyla artar. Sensörün uç kısmının volan dişlisine olan mesafenin fazla olması durumda sensör bobininin ürettiği gerilim azalarak sensör çıkış sinyali etkilenmesine ve bu durum motorun çalışmamasına sebep olabilir. Manyetik alanın değişimi, eşit aralıklı volan dişlerinde aynı olup referans dişin olduğu bölgede ise farklı olacaktır. Uygulamalarda esas olarak kullanılan sensör çıkış sinyalinin frekansıdır. Endüktif sensörden çıkan bilgiyi sinyale çevriminin en yaygın yolu dönüştürücü devreden geçirmektir. Bu sabit bir büyüklük fakat değişken bir frekans kare dalgası oluşturur. Krank mili konum sensörlerinde diğer bir uygulama olan ve temassız dönel pozisyon sensörü olarak isimlendirilen (Hall etkisi prensibi) sensör tipi şekil 2.4'de gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Temassız krank mili konum sensörü çalışma prensibi

### 2.3.1.2 Eksantrik Mili Konum Sensörü

Birinci silindir üst ölü nokta sensörü olarak da isimlendirilen ve silindirlerin çevrim sırasını, elektronik kumanda ünitesine bildiren eksantrik mili konum sensörü, krank mili konum sensörü ile aynı prensipte ve krank mili sensörü ile senkronize çalışan manyetik algılayıcı, endüktif bir sensördür.

Eksantrik mili konum sensörü, enjeksiyon başlangıcının hesaplanmasında kullanılan sinyal senkronizasyonu için, elektronik kumanda ünitesi'ne işaret sinyali verir. Eksantrik mili dişlisinin alın kısmında 1 adedi referans konumunda, diğerleri simetrik olarak yerleştirilmiş pimlerin, sensörün önünden geçmesi sonucu, sensörün içerisindeki sabit mıknatista meydana gelen manyetik akı değişikliği, sabit mıknatısın üzerine sarılmış olan bobinde alternatif gerilim üretilmesini sağlar. Üretilen gerilimin büyüklüğü, dolayısıyla sensör çıkış voltajındaki artış, manyetik akının değişim hızına bağlıdır.

Motor çalıştırıldığında, elektronik kumanda ünitesi tarafından krank mili konum sensörü ve eksantrik mili konum sensörü sinyallerinin senkronizasyonu kontrol edilir. Her iki sinyal de mevcutsa, bütün aksiyonlar

krank mili konum sensörü sinyaline bağlanır. Sinyallerden birinin olmaması durumunda elektronik kumanda ünitesi tarafından yapılan işlemler ve motorun çalışma durumu tablo 1.1’de gösterilmiştir.

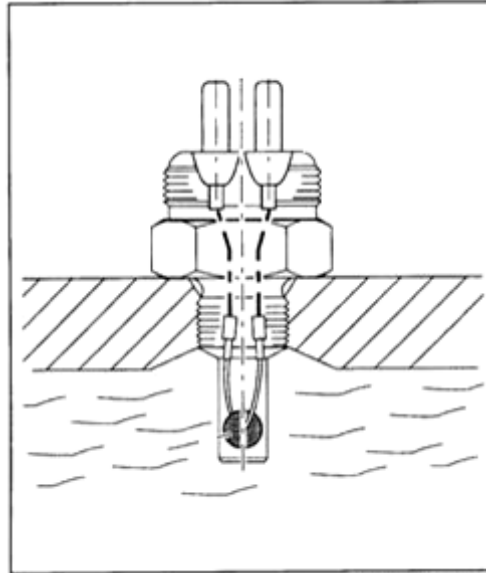
.....sinyali olmadığında,	Motor gücü, tork sınırlama	Motor çalışmaz	Motor kendiliğ inden stop eder.
Marş sırasında krank mili konum sensörü	X		
Motor çalışırken krank mili konum sensörü	X		
Marş sırasında eksantrik mili konum sensörü	X	X	
Motor çalışırken eksantrik mili konum sensörü	X		
Her iki sensörün			X

Tablo 2.1 Krank mili ve eksantrik mili konum sensörleri arıza durumu

### 2.3.1.3 Soğutma Maddesi Sıcaklık Sensörü

Şekil 2.5’de şematik resmi sunulan soğutma maddesi sıcaklık sensörünün yapısında NTC (Negatif Sıcaklık Katsayısı) termistör (ısı direnç) bulunmaktadır. Bu sensör söz konusu termistör vasıtasıyla soğutma suyu sıcaklığını tespit eder. Termistörler bir işlem değişkeninin yarım veya bir dereceye kadar olan sıcaklık aralığındaki kontrolüne olanak tanırırlar. Sensörün yapısındaki termistör, soğutma suyu sıcaklığı ile ters orantılı direnç üretir. Düşük sıcaklıklarda yüksek direnç değeri, yükselen sıcaklıkla da azalan direnç değeri ve bununla orantılı sinyal voltajı elektronik kumanda ünitesine iletilir. Elektronik kumanda ünitesi ise bu direnci izleyerek silindirlerdeki karışımı doğru oranda zenginleştirmek amacıyla motorun ısını hesaplamaktadır. Düşük sıcaklık şartlarında yakıtın buharlaşmasının zor olması nedeniyle daha zengin bir karışıma ihtiyaç duyulmaktadır. Bu

nedenden dolayı, soğutma suyu sıcaklığı düşük iken termistörün direnci artar ve yüksek voltajlı bir sinyali elektronik kumanda ünitesine gönderilir. Elektronik kumanda ünitesi, bu sinyali esas alarak soğuk motor çalışmasını iyileştirebilmek için yakıt enjeksiyon hacmini artırır. Soğutma suyu sıcaklığı yüksek olduğu zaman düşük voltajlı bir sinyal elektronik kumanda ünitesine gönderilerek yakıt enjeksiyon hacmi azaltılır. Soğutma maddesi sıcaklığının, motor işletme sıcaklığı üst kritik değerine ulaşması durumunda, sensör tarafından iletilen sinyale müteakip, elektronik kumanda ünitesi fan devresini kumanda eder.



Şekil 2.5 Motor soğutma suyu sıcaklık sensörü

#### **2.3.1.4 Yakıt Sıcaklık Sensörü**

Dizel motorlarında, silindirlerdeki yanma işlemi sıkıştırılan havanın basıncı ve sıcaklığı ile doğrudan bağıntılıdır. Ancak diğer taraftan yakıt sıcaklık sensörü galerideki yakıtla doğrudan temas kurmadan, yakıt sıcaklığı galerisindeki bir ara plakayla yakıt sıcaklığını belirler. Motor sıcakken çalıştırıldığı zaman, sıcaklık sensörü elektronik kumanda ünitesine bir

topraklama sinyali gönderir. Bu sinyalle ve diğer sensörlerden (krank mili konum sensörü, soğutma suyu sıcaklık sensörü) gelen sinyallerle birlikte elektronik kumanda ünitesi ECU, yakıt enjektörlerinin açılış zamanını belirler ve dolayısıyla motorun sıcakken çalıştırma karakteristiklerini optimize eder.

#### **2.3.1.5 Turboşarj Havası Sıcaklık Sensörü**

Turboşarj havasının hacmi, buna göre de miktarı sıcaklığa göre değişmektedir. Turboşarj havası sıcaklık sensörünün yapısında yarı iletken malzemelerden üretilen bir direnç bulunmaktadır. Isı yükseldiğinde direncin değeri düşer. Elektronik kumanda ünitesi tarafından uygulanan referans besleme gerilimi, sensörün çıkış ucundan alınan gerilimle karşılaştırılır ve daha önceden kaydedilmiş haritalar yardımıyla hava sıcaklığı tespit edilir. Elektronik kumanda ünitesinin programında mevcut sıcaklık değerini bir standart olarak kullanır ve sıcaklık bu değerden az ise enjeksiyon hacmini artırır, fazla ise enjeksiyon hacmini azaltır. Böylece gerekli hava yakıt-hava oranı ortam sıcaklığından bağımsız olarak sağlanmış olur.

#### **2.3.1.6 Motor Yağı Basınç Sensörü**

Motor yağı basınç sensörü, motor yağ basıncı bilgini elektronik kumanda ünitesine gönderir. Motor yağ basıncı değeri elektronik kumanda ünitesi tarafında sürekli olarak takip edilerek, gösterge panosuna iletilir. Motorun emniyetli çalışmasına yönelik kritik öneme sahip sensördür. Motor yağ basıncında meydana gelebilecek anormal bir düşme durumunda motor elektronik kumanda ünitesi tarafından, sürücüden bağımsız olarak motor durdurulur.

### **2.3.1.7 Motor Yağı Sıcaklık Sensörü**

Özellikle HEUI yakıt sistemi mevcut dizel motorlarında kullanılan ve yapısında NTC termistör bulunan motor yağı sıcaklık sensörü, elektronik kumanda ünitesine motor yağı sıcaklığı ile orantılı analog sinyal gönderir. Elektronik kumanda ünitesi bu sensörden gelen bilgiye göre yağ viskozitesini hesaplar. Bu değer HEUI yakıt sistemi mevcut dizel motorlarında, püskürtülen yakıt miktarı açısından önemlidir.

### **2.3.1.8 Turboşarj Basınç Sensörü**

Turboşarj basınç sensörü turboşarj basıncını (emme manifoldu basıncı) tespit eder. Motora emilen havanın miktarı; sıcaklığının yanı sıra turboşarj emme basıncına bağlı olup, gerekli yakıt püskürtme miktarı belirlenirken, elektronik kumanda ünitesi tarafından takip edilmektedir. Sensörün yapısında basınca göre direnç değeri değişen bir eleman bulunmaktadır. Emme manifoldunda değişen vakum miktarına göre değişen gerilim bilgisi, elektronik kumanda ünitesi tarafından enjektörlerin açık kalma süresi belirlenirken kullanılır. Eğer turboşarj basıncı anormal bir şekilde yükselirse, elektronik kumanda ünitesi, motoru korumak için yakıt göndermeyi keser. Ayrıca, taşıtta atmosfer basınç sensörü mevcut ise, turboşarj basınç sensörü bu sensörle birlikte motorun korunmasına yönelik güç sınırlaması kumandası sağlar. Gelişmiş turboşarj sistemlerinde, emme manifoldundan emilen havanın miktar ve basıncı, elektronik kumanda ünitesi tarafından ayarlanabilmektedir.

### **2.3.1.9 Emme Manifoldu Sıcaklık Sensörü**

Yapısında NTC termistör bulunan ve hava emiş hattında, hava soğutucusu gövdesine monte edilmiş olan bu sensör, emme manifolduna giriş yapan havanın sıcaklığı ölçer.



### **2.3.1.10 Emme Manifoldu Akış Sensörü**

Emme manifolduna giriş yapan hava miktarının ölçen bu sensörün çalışması kızgın telli algılama elemanı ile gerçekleşmektedir. Geçen havanın etkisi ile elemanda sıcaklık düşümü meydana gelir. Elektronik kumanda ünitesi tarafından gönderilen akım ile elemanın düşen sıcaklığı yükseltilir. Elemanın sıcaklık düşümüne bağlı olarak gönderilen akım ile manifolda akan havanın kütlesi orantılıdır. Elektronik kumanda ünitesi, manifold hava akış ve sıcaklık sensörlerinden gelen bilgiyi, püskürtülecek yakıtın miktarını belirlemek için kullanır.

### **2.3.1.11 Manifold Mutlak Basınç Sensörü**

Emme manifoldundaki havanın basıncının ölçümünü yapan sensördür. Dijital veya analog tipleri mevcut olan sensörün dijital olanları frekans değişimli, analog olanları ise voltaj değişimlidir. Manifold mutlak basınç sensöründen gönderilen basınç bilgisi, elektronik kumanda ünitesi tarafından motor yükünün hesaplanmasında dolayısıyla püskürtülen yakıt miktarının ve püskürtme açısının belirlenmesinde kullanılır.

### **2.3.1.12 Barometrik Basınç Sensörü**

Değişken kapasitörlü, analog bir sensör olan barometrik basınç sensörü, püskürtülecek yakıt miktarı ve püskürtme zamanlamasının hesaplanması için elektronik kumanda ünitesine atmosfer basıncı değerini bildirir. Yükselen irtifa değeri ile püskürtülen yakıt miktarı ters orantılıdır.

### **2.3.1.13 Yakıt Hattı Basınç Sensörü**

Common Rail yakıt sistemi mevcut motorlarda, yakıt hattı basıncını elektronik kumanda ünitesine bildirir.

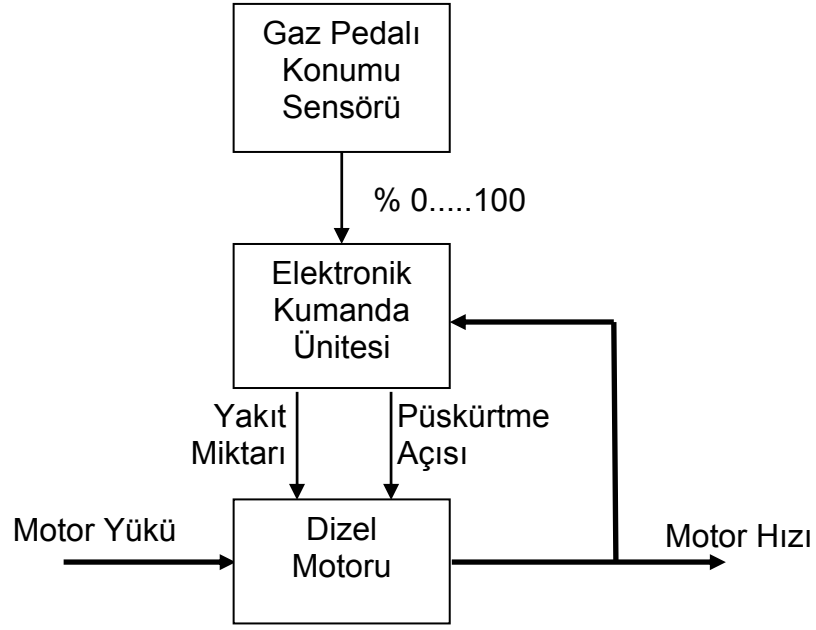
### **2.3.1.14 Yakıt Sistemi Yağ Basınç Sensörü**

HEUI yakıt sistemi mevcut dizel motorlarında, motor yağ basıncı ile yakıt püskürtme basıncı oluşturulur. Bahse konu yakıt sistemi mevcut motorlar için yakıtın püskürtme zamanlaması ve miktarı açısından kritik bir sensördür.

### **2.3.1.15 Gaz Pedalı Konum Sensörü**

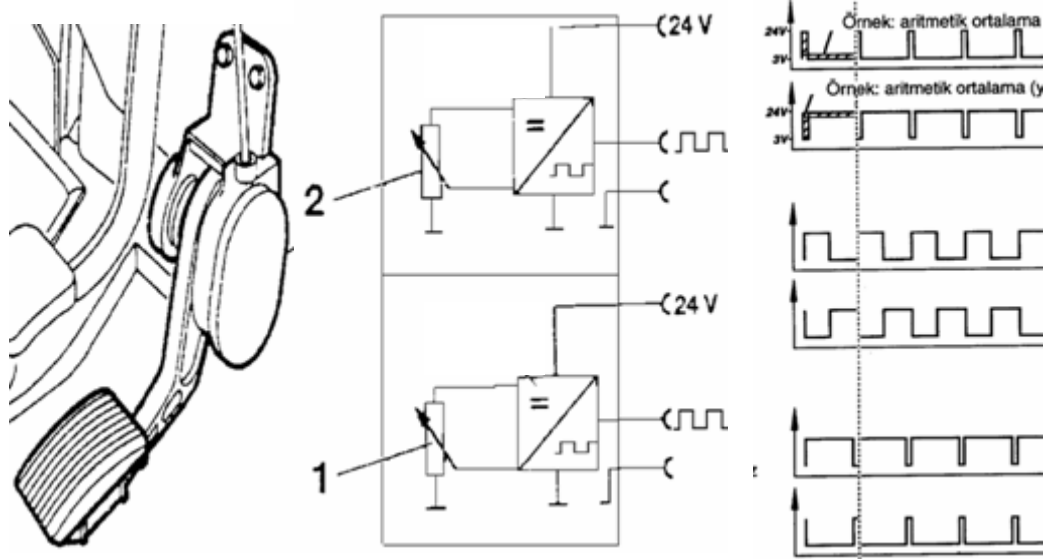
Enjektörlerin yakıt püskürtme miktarının, dolayısıyla da motor torkunun belirlenebilmesi için, elektronik kumanda ünitesine gaz pedalının konumunu elektronik kumanda ünitesine bildirir. Elektronik gaz vericisi olarak da adlandırılan gaz pedalı konum sensörleri potansiyometrik ve Hall etkili olarak iki ayrı tiptir. Potansiyometrik sensörler yapısında değişken bir direnç bulunmaktadır. Değişken dirençten akım geçirildiğinde, değişen direnç değeri ile orantılı bir voltaj elde edilir.

Motor elektronik yönetim sisteminde, motor hızı ve devrinin belirlenmesinde gaz pedalı konum sensörünün konumunun şekil 2.6'da görüldüğü gibi doğrudan etkisi bulunmaktadır.



Şeki 2.6 Gaz pedalı konum sensörü konumu ile motor hızı ve devrinin ilişkisi

Gaz pedalı konum sensörü iki adet impuls genişlik modülasyonlu voltaj sinyalinı elektronik kumanda ünitesine gönderir. Gaz pedalının konumun bilgisi gönderilen impuls sinyalinin genişliğinde mevcuttur. Gaz pedalına basıldığında, impuls değışirken frekans aynı kalır. Her iki sinyal birbirine zıttır. Gaz pedalı konum sensörü ve zıt impuls sinyalleri şekil 2.7’de



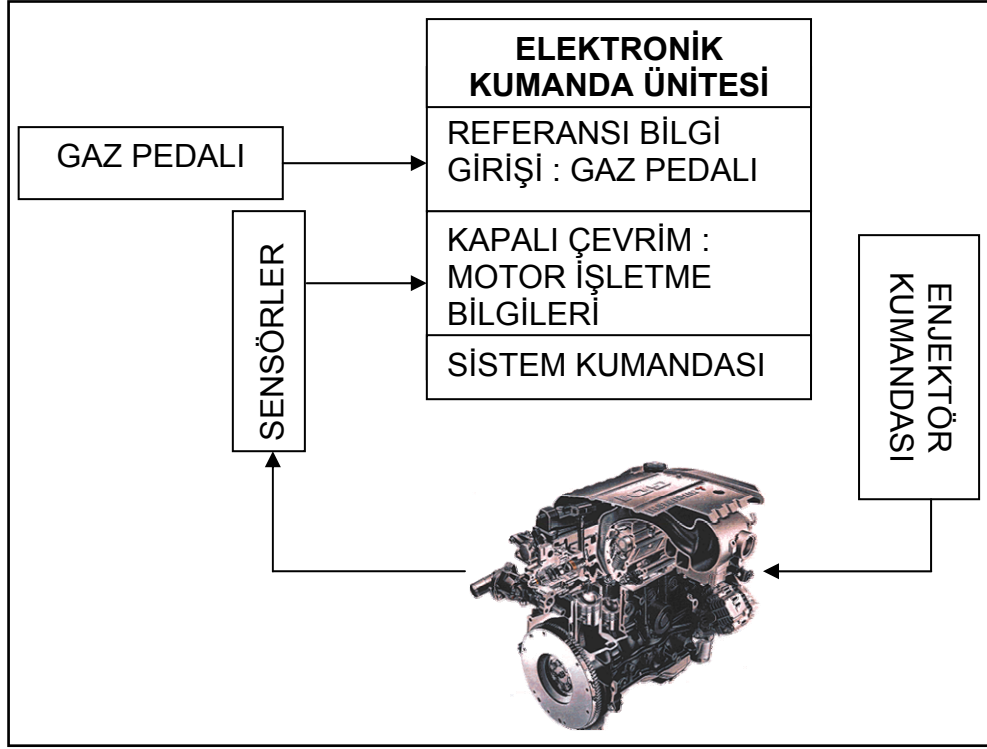
Şekil 2.7 Gaz pedalı konum sensörü ve sinyalleri

sunulmuştur. Sinyal 1, yakıt enjeksiyon hacmi ve motor gücünü arttırmak; sinyal 2 ise yakıt kesme kontrolü için kullanılır. Sinyal 1 gaz pedalının konumuna tekabül eder dolayısıyla gaz pedalına ne kadar basıldığını gösterir. İmpuls genişliği modülasyonu gaz pedalına basıldığında değişir ancak frekans aynı kalır. Bu sinyal değeri rölantide düşük olup tam gaz yönünde artarken sinyal 2 değeri rölantide yüksek olup tam gaz yönünde azalır. Gaz pedalını basılmaya başlandığında, sinyal 1'deki değişimle rölanti konumunun terk edildiği elektronik kumanda ünitesi tarafından algılanarak, talep edilen tork değeri dolayısı ile enjeksiyon miktarı belirlenir. Gaz verme miktarı azaltılırken sinyal 2 devreye girer. Turboşarj havası emiş sensöründen gelen sinyale bağlı olarak hava miktarında azalma meydana gelirken, gaz pedalı konum sensöründen sinyal 1 de artış meydana geldiğinde elektronik kumanda kutusu tarafından motorun yük altında olduğu duruma uygun olarak yakıt miktarı ve püskürtme açısı yeniden düzenlenir.

### **2.3.2 Elektronik Kumanda Ünitesi (ECU)**

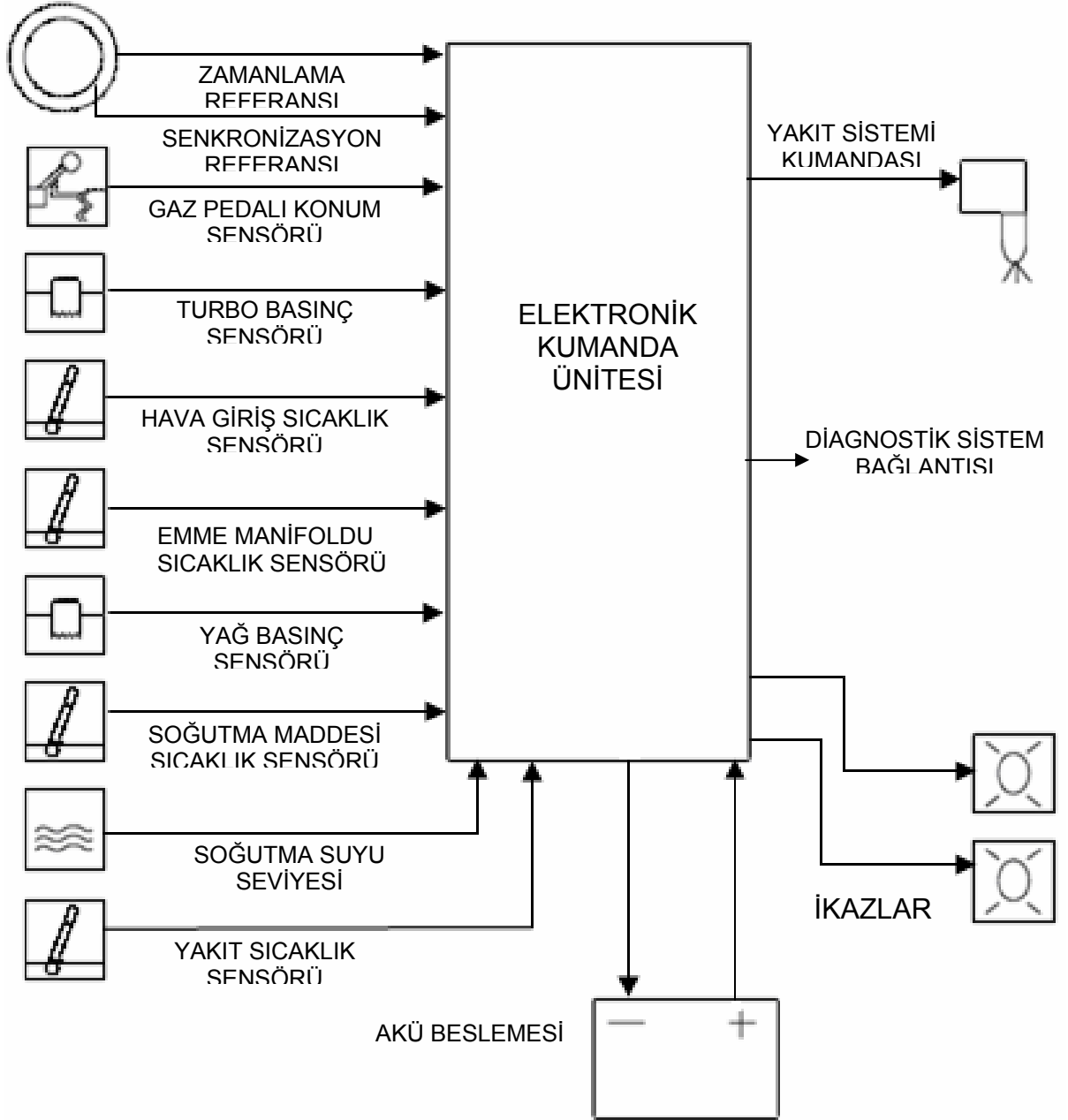
Motor elektronik yönetim sistemi elemanlarından elektronik kumanda ünitesi, sensörlerin göndermiş olduğu bilgi yani elektrik sinyallerini gerçek zamanlı olarak, daha önceden hafızasına kayıtlı olan elektrik gerilimi haritaları ile karşılaştırır. Sensörlerden gelen sinyallerin düşük veya yüksek oluşuna göre motorun gerekli gördüğü yerlerini uyarıcı sinyaller ile kumanda ederek motorun kontrolünü sağlar. Yapısal olarak elektronik kumanda ünitesinde tüm işlemleri, bilgi işlem ünitesi (CPU) gerçekleştirir. Elektronik kumanda ünitesi; motorun performansını kontrol eden elektronik yakıt enjeksiyonu, elektronik avans mekanizması ve rölanti devri kontrol sistemlerini, tamir esnasında arızanın tespit edilmesine yardımcı olan diagnostik fonksiyonu ve bu sistemlerden herhangi birinde arıza olduğu zaman devreye giren arıza-saklama fonksiyonlarını içerir [1]. Motor elektronik kontrol sisteminde, elektronik kontrol ünitesine bilgi girişi şekil 2.8'deki şemada gösterilmiş olup, bunlar;

- Sürücünün hızlanma ve yavaşlama talebine bağlı olarak gaz pedalı konum sensörü ile yapılan harici hız referansı bilgi girişi,
- Motorun çalışması esnasında diğer sensörlerden gelen motor işletme bilgileridir.



Şekil 2.8 Elektronik kumanda ünitesi bilgi girişi

Elektronik kumanda ünitesinin sensörlerle bağlantısı ve yakıt sistemi kumandası şekil 2.9'da şematik olarak gösterilmiştir:



Şekil 2.9 Elektronik kumanda ünitesi, sensörler ve yakıt sistemi

### **2.3.2.1 Elektronik Yakıt Enjeksiyonu**

Enjektörler; elektronik kumanda ünitesinden gelen sinyallere ve programlanmış azami motor hızına uygun olarak optimum güç değeri ve yakıt ekonomisi elde edilecek şekilde belirli bir miktarda yakıtı silindirlere püskürtürler. Elektronik kumanda ünitesi tarafından, azami motor hızının aşılması için kritik motor hızı değerinde yakıt sistemi basıncının regülasyonu yapılarak yakıt püskürtme işlemi kısıtlanır. Elektronik kumanda ünitesi, motorun çalışması ile birlikte, gibi değişen şartları tespit eden sensörlerden sinyal alır:

- Emme manifold basıncı veya emme havası hacmi
- Krank mili açısı
- Motor devri
- Hızlanma/yavaşlama
- Soğutma suyu sıcaklığı
- Emme havası sıcaklığı
- Elektronik Kontrol Ünitesi motorun mevcut çalışma şartlarına en uygun yakıt miktarını ve püskürtme süresini bu sinyallere göre karar verir.

### **2.3.2.2 Püskürtme Avans Mekanizması**

Elektronik kumanda ünitesi motorun çalışma koşullarının hepsini birden göz önüne alarak en uygun yanma zamanını temin edecek bilgiler ile programlanmıştır. Bu bilgiye ve aşağıda sıralanan çeşitli motor çalışma şartlarını tespit eden sensörlerden gelen bilgiye dayanarak elektronik kumanda ünitesi yakıt, sistemine tetikleme zamanı sinyalleri yollayarak enjektörlerin en uygun zamanda püskürtme yapmasını sağlar.

- Krank mili açısı
- Motor devri

- Emme manifold basıncı veya emme havası hacmi
- Soğutma suyu sıcaklığı

### **2.3.2.3 Elektromanyetik Fan Kumandası**

Motor verilerinin gerçek zamanlı takibi kapsamında; elektronik kumanda ünitesi tarafından soğutma maddesi sıcaklık sensöründen gelen bilgiye göre motor işletme sıcaklığının çalışma rejimine uygun seviyelerde olması sağlanmak için gerektiğinde motor tahrikinden bağımsız olarak elektromanyetik fan sistemi çalıştırılır.

### **2.3.2.4 Rölanti Devri Kontrolü**

Elektronik kumanda ünitesi aşağıdaki gibi motorun farklı çalışma koşullarına karşılık gelen hedef motor devirlerine programlanmıştır.

- Soğutma suyu sıcaklığı
- Radyatör fanı açma/kapama

Elektronik kumanda ünitesi, soğutma suyu sıcaklığı sensöründen ve krank mili konum sensöründen gelen sinyallere uygun olarak, gaz pedalı konum sensöründen artan talep sinyali gelse de rölanti devrini hedef değere çeker.

### **2.3.2.5 Diagnostik Fonksiyon**

Elektronik kumanda ünitesi çeşitli sensörlerden gelen sinyalleri sürekli olarak kontrol eder. Bu sinyallerde herhangi bir hatalı çalışma tespit ederse, arıza ile ilgili bilgileri hafızasında tutar. Diagnostik cihaz bağlandığında veya



gösterge panelindeki “Motor Kontrol” lambasını yakarak arızalı çalışmayı bildirir. Motorda hasar meydana gelmemesi maksadıyla, motor yağ basıncı sensöründen gönderilen sinyalde normal değerden sapma tespit ettiğinde motoru durdurur ve problem giderilene kadar çalışmasına izin vermez.

Arıza aramaya yönelik olarak; motorun gerçek zamanlı olarak fiili değerlerini ölçme, silindirleri sıralı olarak devre dışı bırakma (silindir testi), püskürtmesiz yakıt sistemi kontrolü (enjektör testi), sensörlerin besleme gerilim ölçümleri, karter basıncı ölçümü, kompresör basıncı ölçümü gibi diagnostik fonksiyonları yerine getirir.

#### **2.3.2.6 Arıza Saklama Fonksiyonu**

Sensörlerden elektronik kumanda ünitesine gelen sinyallerde bir anormallik olduğu takdirde, elektronik kumanda ünitesi motoru kontrol etmek için kendi hafızasında bulunan standart değerleri kullanır.

#### **2.3.2.7 Yedekleme Fonksiyonu**

Elektronik kumanda ünitesinin kendisi kısmen arızalandığı takdirde bile, yakıt enjeksiyonu ve ateşleme zamanının kontrolü yedekleme fonksiyonu tarafından devam ettirilir. Bu, motorun, aracın hemen hemen normal çalışmasına devam edecek şekilde kontrol edilmesini mümkün kılar.

#### **2.3.2.8 Motorun Çalışma Aşamalarında Elektronik Kumanda Ünitesinin Görevleri**

Motor elektronik yönetim sisteminin mevcut olduğu bir motorlu araçta, elektronik kumanda ünitesi; kontağın kapalı konumunda, açıldıktan hemen

sonrasında, motorun çalışmaya başlamasında ve araç seyir halindeyken farklı fonksiyonları yerine getirmektedir.

Kontak kapalı konumdayken:

- Motor parametrelerinin hafızada saklamak.
- Mevcut arızalar için arıza kodlarının fiili arıza hafızasında saklanmak.
- Daha önce meydana gelmiş ve giderilmiş arızalara ait arıza kodlarının geçmiş arızalar hafızasında saklanmak.

Kontak açıldıktan sonra:

- Mevcut ise diğer kumanda üniteleri (Seyir kumandası, Retarder, ABS, ASR vb.) ve araç konsolundaki ikaz ve göstergelerle iletişim kurmak.
- Çevre birimlerde (sensörler) arıza kontrolü için, otomatik kısa test işlemini gerçekleştirmek.
- Krank mili ve eksantrik mili sensörlerinden gerekli bilgileri almak.
- Gaz pedalı konum sensörüne besleme sinyali göndermek.

Motor çalıştırılırken:

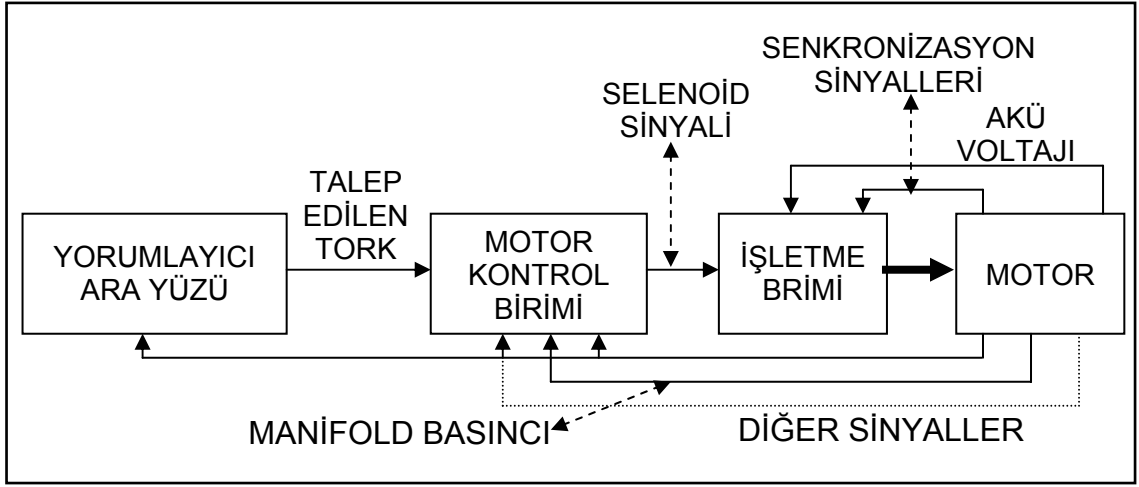
- Alternatörün ikazı.

Motor çalışması ve araç seyir halindeyken:

- Motorun fiili değerlerinin takip etmek.
- Programındaki işletme değerlerine göre motor parametrelerinin kontrolü.
- Meydana gelecek arızaları tespit etmek. Gerektiğinde ikaz ve koruma fonksiyonlarını devreye sokmak.

### 2.3.2.9 Elektronik Kumanda Ünitesinin Yapısı

Elektronik kumanda ünitesi yapısal olarak; birbirleriyle bağlantılı çalışan; yorumlayıcı ara yüzü, motor kontrol birimi ve işletme biriminden oluşur [2]. Elektronik kumanda ünitesi yapısal sistemi blok diyagramı şekil 2.10'da sunulmuştur.



Şekil 2.10 Elektronik kumanda ünitesinin yapısı

#### 2.3.2.9.1 Yorumlayıcı Ara Yüzü

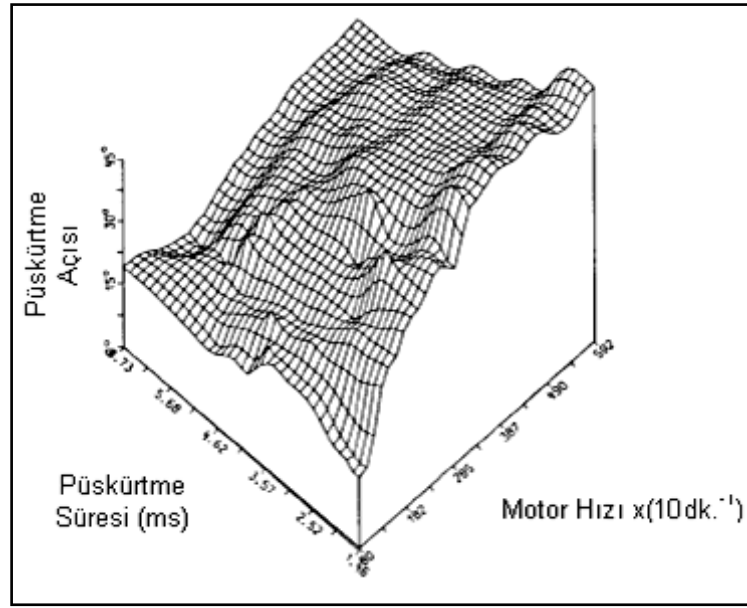
Sürücünün talebini, bir başka deyimle gaz pedalı konum sensöründen aldığı sinyaline göre talep edilen motor torku değerini hesaplar.

#### 2.3.2.9.2 Motor Kontrol Birimi

Krank mili konum sensörünün gönderdiği krank mili dönüş hızı değeri ve yardımcı olarak diğer sensörlerden iletilen motor verilerine göre motorun fiili tork değerini tespit ederek; bu değeri, yorumlayıcı ara yüzünden iletilen talep edilen motor tork değeri ile karşılaştırır. Karşılaştırma sırasında fiili değer, talep edilen değerden yukarıya doğru farklılık gösteriyorsa yakıt

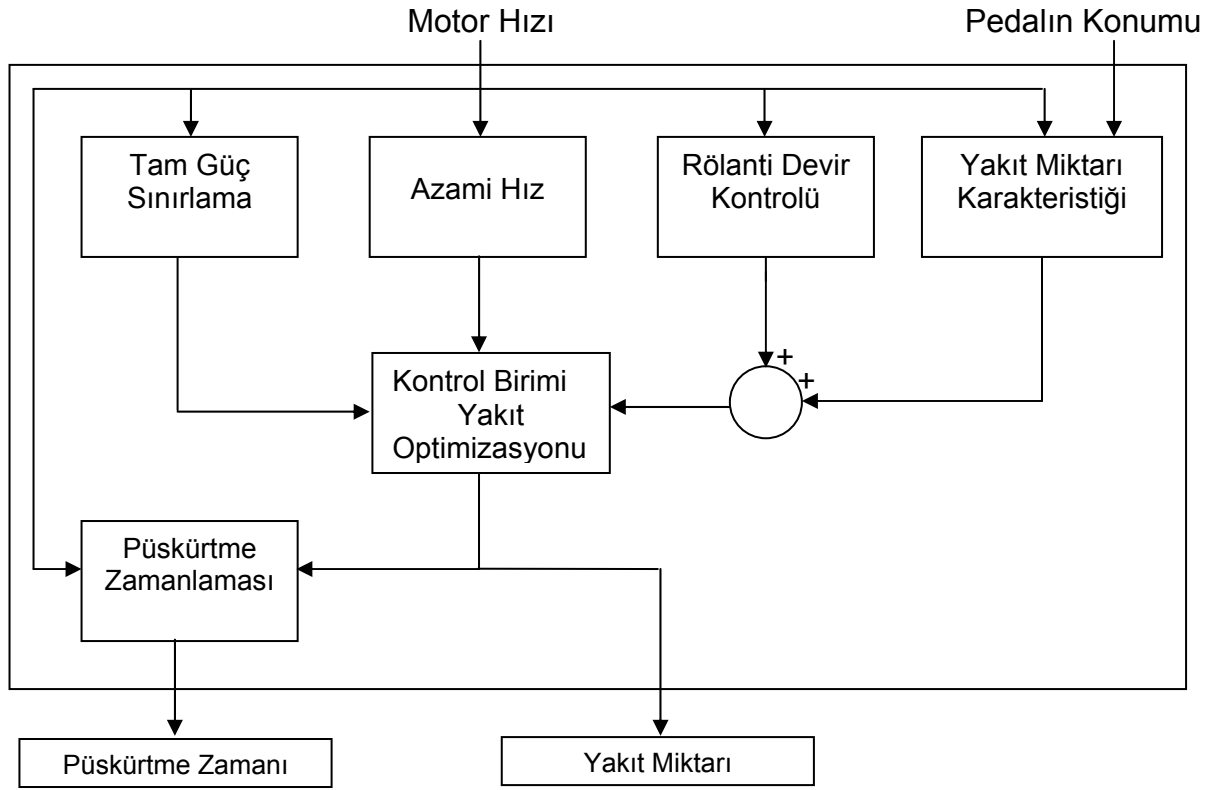
püskürtmesini azaltacak, bunun tersi durumda ise yakıt püskürtmesini arttıracak sinyali, diğer bir ifadeyle de; enjektörlerin açık kalma süresini işletme birimine iletir. Yapılan karşılaştırma ile daima fiili değer, talep edilen değere eşitlenir.

Motor torku değeri; enjektörlerden püskürtülen yakıt miktarını ifade eden enjektörlerin açık kalma süresi, püskürtme açısı ve motor hızının fonksiyonu olup, motorun üreticisi firmasınınca optimum yakıt sarfiyatı sağlanacak şekilde, motor kontrol birimine şekil 2.11'de şematik olarak sunulan veri grafiği yazılım olarak yüklenmiştir.



Şekil 2.11 Motor kontrol ünitesi veri grafiği

İhtiyaç duyulan motor torkunun elde edilmesi için, püskürtülen yakıt miktarının optimizasyonu motor kontrol birimince sağlanır. Yakıt miktarının optimizasyonunda; motor hızı ve gaz pedalı konumuna göre yakıt püskürtme açısı ve miktarının belirlenmesini etkileyen faktörlerin blok diyagramı şekil 2.12'de sunulmuştur.



Şekil 2.12 Yakıt optimizasyonu blok diyagramı

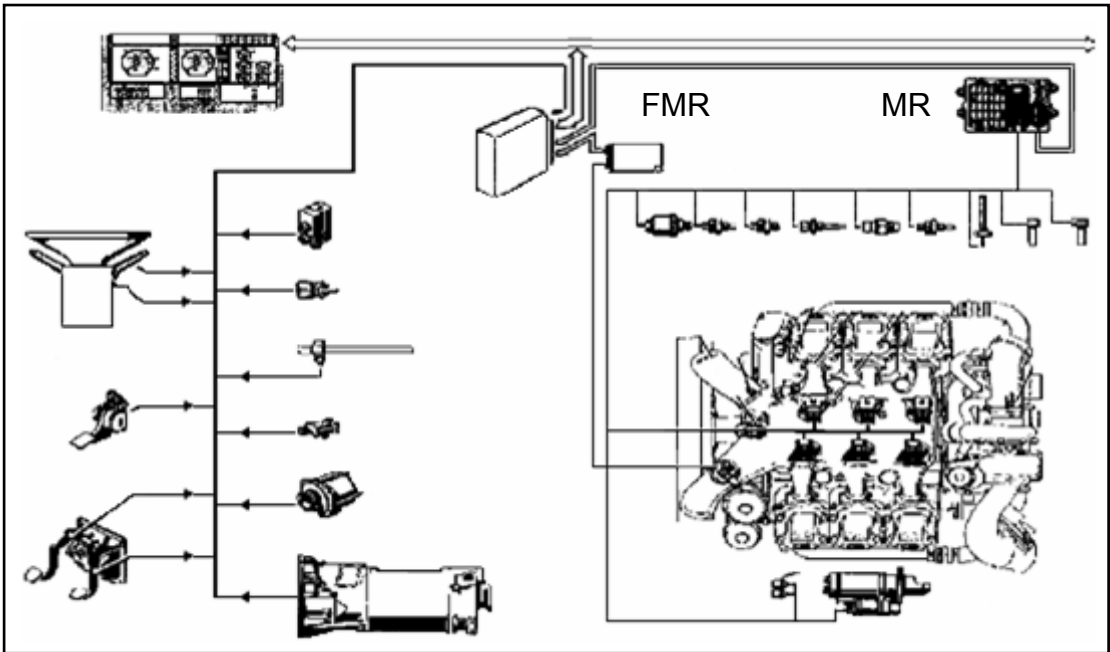
### 2.3.2.9.3 İşletme Birimi

İşletme birimince, motor yakıt sistemi kumanda edilmektedir. Motor kontrol biriminden aldığı sinyale göre, krank mili ve eksantrik mili konum sensörlerinin ilettiği sinyallerle senkronize olarak enjektör selenoidlerine püskürtme için kumanda sinyali gönderir.

### 2.3.2.10 Eş Zamanlı Çalışan Elektronik Kontrol Üniteleri

Elektronik yönetim sistemi bulunan motorlarda, kumanda ünitelerinin yapısında genel olarak yukarıda açıklanan kontrol, işletme birimleri ile yorumlayıcı ara yüzü beraber olmakla birlikte, tasarım olarak kontrol birimi ve ara yüzün tek bir ünite, işletme biriminin ise ayrı bir ünite, bir birleriyle eş zamanlı çalışan uygulamalar da mevcuttur. Bu uygulamaya

örnek olarak; şekil 2.13’de sunulan ve Mercedes tarafından geliştirilen sistemde, motor elektronik kumanda ünitesini tek bir birim yerine, birbirleri ile koordineli olarak çalışan, motor ve taşıt üzerinde iki ayrı birim olarak tasarlamıştır. Motor üzerinde mevcut ünite (MR) sensörler tarafından iletilen verilere göre, motorun mevcut şartlarında ürettiği fiili tork değerini hesaplar. Taşıt üzerindeki kumanda birimi (FMR) taşıt üzerinde mevcut diğer kumanda ünitelerini koordine ederken (EBD, ASR, ABS, taşıt konfigürasyonuna göre otomatik şanzıman, vb.) diğer taraftan sürücü taleplerini (gaz pedalı sensörünün konumu, işletme veya egzoz freni, retarder) takip ederek “ön görülen motor torku değeri”ni hesaplar ve bu değeri motor üzerindeki kumanda ünitesi MR’ye iletir. Bu değeri, MR fiili tork değeri ile karşılaştırır. Fiili değer, öngörülen değerden yukarı doğru bir farklılık gösterecek olursa MR tarafından enjektörlerden püskürtülen yakıt miktarı azaltılır, bunun tersi durumda ise artırılır. Fiili değer daima ön görülen değere eşitlenir.

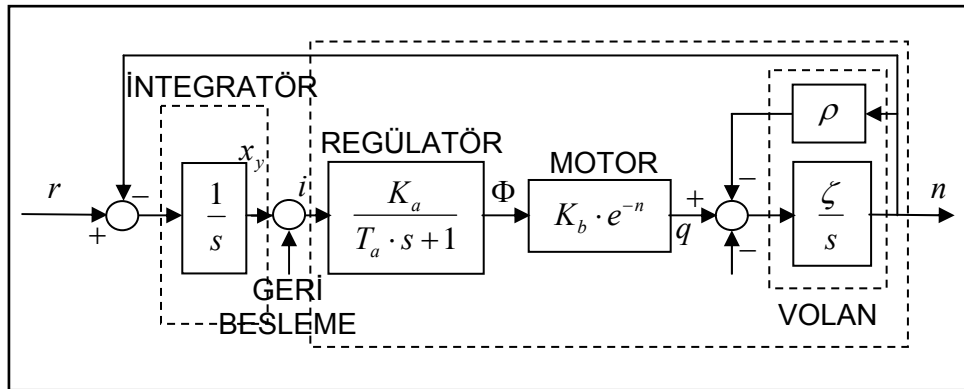


Şekil 2.13 Eş zamanlı çalışan iki elektronik kontrol ünitesi sistemi

### 2.3.3 Motor Elektronik Yönetim Sistemi Tasarım Prensipleri

Klasik dizel motorlarında püskürtülen yakıt miktarı ve püskürtme açısı mekanik olarak kumanda edilirken, elektronik yönetim sistemine sahip motorlarda püskürtülen yakıt miktarı ve püskürtme açısının yanı sıra yakıt sistemi basıncı, enjektör kumandası, motor yapı tarzına göre turboşarj emişi, soğutucu fan, egzoz gazı değerleri, vb. kumandaları da gerçekleştirilmektedir. Kumanda edilen faktörlerin kendi aralarında optimizasyonu, geri besleme kontrolü yapılarak sağlanırken; diğer taraftan elektronik yönetim sisteminin fonksiyonunu yerine getirmesini sağlayan, elektronik kontrol ünitesinin yazılım programı kapsamında hafızasına yüklenmiş olan motor ayar ve işletme parametreleri tabloları vasıtasıyla da ileri besleme kontrolü yapılmaktadır.

Geri besleme kontrolü kapsamına örnek olarak; daha iyi motor performans ve yakıt optimizasyonu için motor ayar parametrelerinin kendi aralarındaki korelasyonunun uyumlu olması gereklidir. Bu hedefe ulaşabilmek için motor elektronik kumanda ünitesinin programlanmasında teorik modelleme yapılır [3]. Teorik modellemelerde, temel başlangıç olarak dizel motora ait blok diyagramı ve fonksiyon ifadeleri şekil 2.14'de sunulmuştur.



Şekil 2.14 Dizel motoru blok diyagramı

$r$  : Referans hız değeri

$\rho$  : Viskoz sürtünme katsayısı

$e^{-n}$  : Blok zaman gecikmesi\*

$K_b$  : Motor tork sabiti

$x_y$  : Zaman blok gecikmesi

$i$  : Enjektör tetikleme sinyal akımı

$K_a$  : Regülatör kazanç sabiti

$T_a$  : Regülatör zaman sabiti

$\Phi$  : Yakıt püskürtme miktarı

$q$  : Güç zamanı sonunda krank milinden elde edilen mekanik tork

$\zeta$  : Volan ivmelenme değeri

$n$  : Volan çıkış devri

\*  $e^{-n}$  (blok zaman gecikmesi), 3 kısımdan oluşmaktadır:

- Yük bozucu girdisine karşı silindirlerin cevap zamanı (güç zamanı gecikmesi)
- Yük bozucu girdisine karşılık enjektörlere verilen yakıt miktarının değiştirilmesi zamanı. (yanma gecikmesi)
- Yakıtın yanması ve ihtiyaç duyulan gücün elde edilmesi

Dizel motor sistem parametre ortalama değerleri tablo 2.2.'de sunulmuştur.

PARAMETRE	DEĞER ARALIĞI	NOMİNAL DEĞERİ
Regülatör kazanç sabiti $K_a$	1,0	1,0
Regülatör zaman sabiti $T_a$ (sn)	0,05 – 0,2	0,125
Motor tork sabiti $K_b$	0,8 – 1,5	1,15
Volan ivmelenme sabiti $\zeta$ ( $\text{sn}^{-1}$ )	0,1 – 0,5	0,3
Viskoz sürtünme katsayısı $\rho$	0,1	0,1

Tablo 2.2 Dizel motor sistem parametre ortalama değerleri



Teorik modellemenin bir sonraki aşamasında, yakıt ve hava karışımının miktarı, püskürtme açısı gibi değişkenler ile gaz pedalının açılmal konumu ve manifold basıncının fonksiyonu olan motor yükü parametresinden başka taşıtın çekiş kuvveti, tahrik sistemi, hızı ve ataletine bağılı olarak belirlenir.

Çekiş kuvveti;

$$F_t = \frac{T \cdot \varphi \cdot \eta}{R} - \left[ (I_e + I_t) \cdot (\varphi \cdot \varphi_d)^2 + I_w \right] \cdot \frac{a}{R^2} \quad (2.1)$$

Taşıtl hızı;

$$V = \frac{R \cdot \omega_e \cdot (1 - s)}{\varphi \cdot \varphi_d} \quad (\text{ivmelenme}) \quad (2.2)$$

$$V = \frac{R \cdot \omega_e}{(\varphi \cdot \varphi_d) \cdot (1 - s)} \quad (\text{frenleme}) \quad (2.3)$$

Direnç kuvveti;

$$F_R = \mu_R \cdot m \cdot g + \frac{c_d \cdot \rho_h \cdot A \cdot V^2}{2} \quad (2.4)$$

$T$  = Motor torku

$\varphi$  = Şanzıman tahvil oranı

$\eta$  = Şanzıman Mekanik verimi

$R$  = Tekerlek çapı

$I_e$  = Motor atalet momenti

$I_t$  = Şanzıman atalet momenti

$\varphi_d$  = Tahrikli aks tahvil oranı

$I_w$  = Tekerlek atalet momenti

$a$  = Taşıtl ivmesi

$V$  = Taşıtl hızı

$\omega_e$  = Krank mili açısai hızı

$s$  = Lastik kenarı

$F_R$  = Direnç kuvveti

$\mu_R$  = Yuvarlanma sürtünme katsayısı

$m$  = Taşıt kütleai

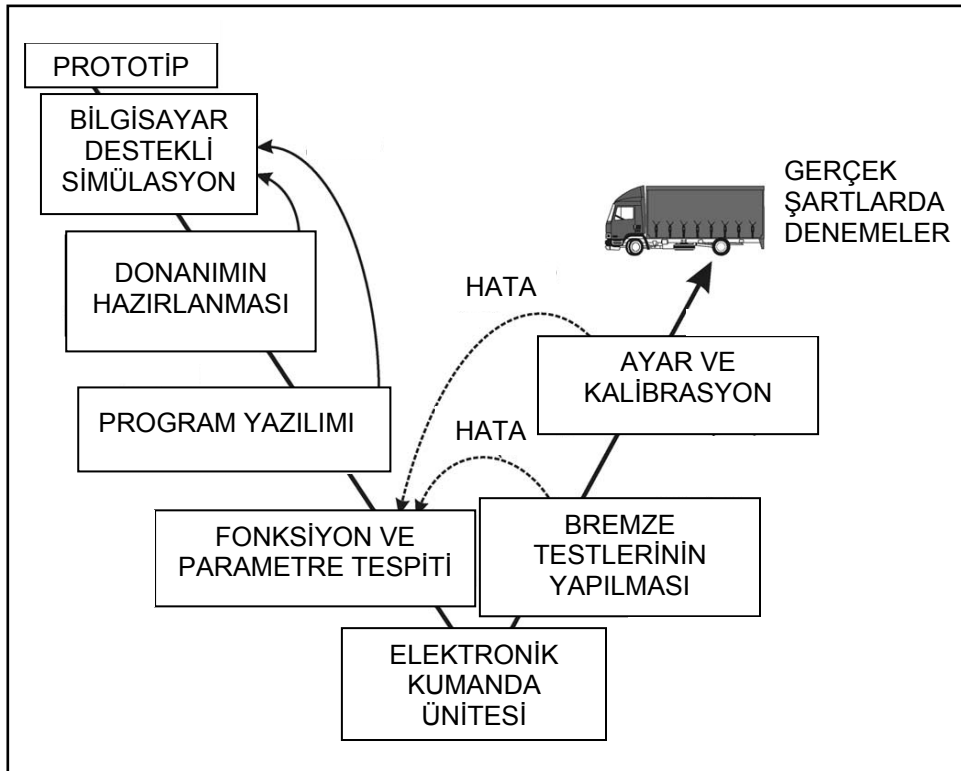
$g$  = Yerçekimi ivmesi

$c_d$  = Tutunma katsayısı

$\rho_h$  = Hava yoğunluğu

$A$  = Araç ön yüzey alanı

Elektronik kumanda ünitesinin tasarım aşamaları da şekil 2.15 olarak sunulmuş olup, bu aşamalar; yazılım, yazılımın gerçek zamanlı olarak fonksiyon yerine getirip getirmediğinin kontrolünün yapıldığı bilgisayar simülasyonu, elektronik kontrol ünitesine yazılım yüklemesinin yapılarak motor test ünitesi denemesi ve araç üstü test bölümlerinden oluşmaktadır [4].



Şekil 2.15 Elektronik kumanda ünitesinin tasarım aşamaları

## 2.3.4 Yakıt Sistemi

### 2.3.4.1 Elektronik Kontrollü ve Mekanik Kontrollü Yakıt Sistemlerinin Karşılaştırılması

Dizel motorlarında motorun güç verimi ve egzoz emisyonu değerleri motor konstrüksiyonu dışında, yanma prosesinin kontrolüne bağlıdır. Yanma ve yakıt – hava karışımı formasyonu da yakıt sistemindeki enjektörler vasıtası ile püskürtülen yakıtın miktarına ve püskürtmenin zamanlamasına bağlıdır. Bir dizel motoru yakıt sisteminde;

- Yakıt dağıtımı ve püskürtmenin başlangıcı,
- Püskürtme süresi ve püskürtülen yakıt miktarı,
- Yakıt püskürtme basıncı sürekli kontrol altında tutulan ve motor verimini doğrudan etkileyen faktörlerdir.

Mekanik olarak çalışan motor yakıt sistemlerinde, püskürme pompası hareketini bir dişli veya kayış sistemi yardımı ile motordan alarak, her strokta sıra ile her bir silindire ait enjektöre, pompa elemanı yardımıyla yakıt göndermektedir. Mekanik motorlarda devir sayısının alt ve üst devir sınırlamaları; merkezkaç kuvveti ile çalışan regülatörlerle motor devir hızına bağlı olarak, yakıt püskürtme pompası elemanlarının ayar kremayerine bağlı gaz çubuğu ile yakıt miktarının ayarlanması yapılarak sağlanmaktadır. Artan devir sayılarında, püskürtme avansı ve yakıt miktarının ayarlanması yine mekanik regülatörler yardımıyla sağlanmaktadır.

Tamamen mekanik olarak çalışan dizel motorlarında, motor verimi ve motor verimini doğrudan etkileyen yakıt sistemine bağlı faktörler, yakıt sistemi elemanlarının mekaniğine ve motor devrine bağlıdır. Böyle bir sistemde, püskürtülen yakıtın miktarı ve basıncı; yakıt pompasının yapısındaki yakıt basma pistonunun çapı ve hızı, kamın şekli, enjektör yapısı ve yakıt basınç borularının uzunluğu ile bağıntılıdır. Bu sistemde subap

zamanlamasının, püskürtme açısının veya püskürtülen yakıt miktarının motorun işletme durumuna göre ayarlanabilmesi mümkün olmamaktadır.

Motorun ilk çalıştırılması esnasında, özellikle soğuk kalkışta; yakıt besleme pompasının çalışması ve yakıt püskürtmesinin başlangıcı ile silindirlere gönderilen yakıt miktarı ve bunlara ilave olarak motor yağlaması mekanik motor sistemlerinde fakir yanmaya, düşük motor verimine ve yüksek motor aşınmalarına sebep olmaktadır.

Motor elektronik kontrol yönetimi ve buna bağlı olarak da yakıt sistemlerinin kullanılması 1980'li yılların sonlarıdır. Motor elektronik yönetim sistemlerinde, yakıt sistemi elemanlarının işletilmesi ve parametrelerinin takibi elektronik kumanda ünitesi tarafından gerçekleştirilmektedir. Elektronik yakıt kontrol sistemleri;

- Motor devir hızından bağımsız,
- Yakıt sistemi elemanları mekaniğinden bağımsız,
- Gerçek zamanlı ve gecikmesiz olarak,
- Sabit ve yüksek püskürtme basıncına sahip,
- Motor işletme şartlarına göre optimum yakıt sarfiyatı ve yüksek motor gücü sağlayan sistemlerdir.

Mekanik olarak çalışan yakıt sistemleri ile karşılaştırıldığında, elektronik kontrollü yakıt sistemlerinin yukarıda belirtilen üstünlükleri ilave olarak, motordaki aşınmaları azaltmakta ve motor ömrünü uzatmaktadır.

Elektronik kontrol yönetimine sahip bir motorun tüm işletme şartlarında optimum yakıt ihtiyacı, motorun tasarım aşamasında analiz, test ve modelleme yöntemleri ile belirlenmektedir. Tespit edilen işletme parametreleri elektronik kontrol ünitesinde 3 boyutlu tablolar (motor devri, gaz pedalı konumu ve yakıt miktarı) halinde kayıt edilmektedir. Elektronik kumanda ünitesi, bir taraftan bu tablodan gaz pedalının konumu ve motor devrine göre gerçek zamanlı olarak ihtiyaç duyulan yakıt miktarını belirlerken,

diğer taraftan sensörler yolu ile aldığı motor bilgilerine göre motor işletme şartları için olması gereken yakıt miktarını tespit ederek olması gereken değeri talep edilen değere eşitler.

Dizel motorlarında, sıkıştırma çevrimi ve yakıt püskürtülmesi esnasında basınçlar söz konusudur. Motor elektronik kontrol sistemleri, yakıtın; püskürtme zamanlamasının ve püskürtme miktarının yanı sıra püskürtme basıncını ve püskürtme işleminin kumandasını da gerçekleştirmektedir. Böylelikle motor hızının, gücünün ve torkunun kontrol edilebilmesine ve yakıt optimizasyonuna ilave olarak yanma gürültüsü ve vuruntunun da önünü geçilmektedir.

Karşılaştırma yapmak gerekirse; 2 litre hacmindeki elektronik yakıt sistemine sahip bir dizel motorunun, aynı özellikteki mekanik kumandalı dizel motoruna göre ortalama olarak elde edilen tork değeri %35, güç değeri %24 artmakta, rölanti devri gürültü seviyesi 6,5 dB azalmaktadır [4].

#### **2.3.4.2 Elektronik Kontrollü Yakıt Sistemleri**

Elektronik kontrol yönetim sistemli dizel motorlarında farklı sistemler tasarlanmakla birlikte, genel olarak Common Rail ve HEUI (hidrolik tahrikli, elektronik kontrollü birim enjektör) yakıt sistemleri kullanılmaktadır. İki sistem arasında yakıt basıncı yönünden farklılık; Common Rail yakıt sisteminde tüm yakıt sistemi yüksek basınç altında tutulurken, HEUI yakıt sisteminde; yakıtın silindirlere püskürtülmeden önce düşük basınçta olmasıdır.

##### **2.3.4.2.1 Common Rail Yakıt Sistemi**

1990'lı yılların başında geliştirilen Common rail sistemi, yakıtın yüksek basınç altında tutulduğu ve buradan enjektörlere dağıtıldığı, bir ortak hat sistemidir. Şeması Şekil3. 'de sunulan Common Rail yakıt sistemi fonksiyon

olarak; yüksek basınç hattı, alçak basınç hattı ve elektronik kontrol devresi gruplarından oluşmaktadır.

Common-Rail yakıt sisteminde, yüksek basınç üretimi ve püskürtme miktarı ayarı yapılabilmektedir. Düşük devir ve kısmi yük altında da üretilebilen yüksek basınç ön, ana ve tamamlama püskürtmeleri yaparak, püskürtme başlangıcının esnek olmasına imkan sağlar. Püskürtme olanaklarının tamamen esnek olması, dizel yakıt işleminin en yüksek performansı göstermesine ve egzoz gazı işleme sistemlerini, en iyi şekilde entegre etmeye olanak sağlar.

Common-Rail dizel teknolojisindeki diğer gelişmelerden farklı olarak mevcut motor konseptlerine kolayca entegre olması mümkün olup, sistemin avantajları aşağıda verilmiştir:

- Hava-yakıt karışımının oluşumunu iyileştirir,
- Enjeksiyon basıncının ayarlaması yapılabilir. Hem enjeksiyon avansı, hem de enjeksiyon süresi açısından, enjeksiyonun tam olarak kumanda edilmesini sağlar.
- Üst ölü noktadan önce, motor devrine ve yüküne bağlı olarak kumanda edilen pilot enjeksiyonu (ön enjeksiyon), yanma odası basıncının ve ses seviyesinin azaltılmasını sağlar.
- Çalışma koşullarının değiştiği durumlarda ve özellikle de soğukta yakıt enjeksiyonunun başlangıcı ve enjekte edilen yakıt miktarı ayarlanabilir
- Yanma ekolojiktir ve ekonomiktir,
- Çalışması için daha az motor gücüne ihtiyaç duyulur,
- Basit ve modüler bir sistemdir.

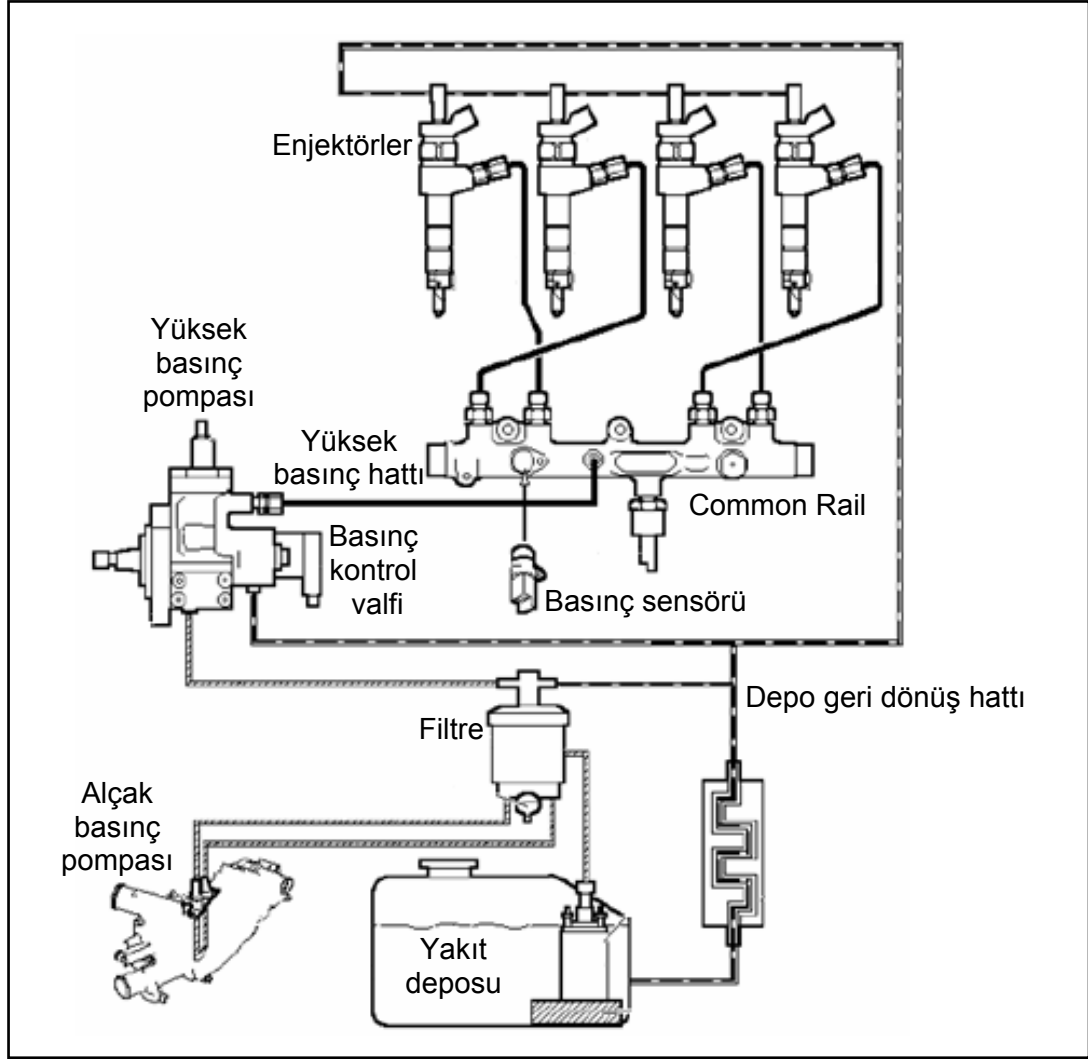
Common-Rail sistemi, bugüne kadar kullanılan sistemlere göre yakıt sarfiyatı konusunda, egzoz gazı emisyonu, çalışma sistemi ve gürültü oluşumunda daha üstündür. Direkt tahrik edilen tek pompalı sistemlerden farklı olarak Common-Rail yakıt sisteminde basınç oluşumu ve püskürtme ayrılmaktadır. Geleneksel dizel direkt püskürtücüleri yaklaşık ortalama 900

bar'lık basınç ile çalışırken, Common-Rail yakıt sisteminde, yakıt 2000 bar'a kadar yükselen bir basınç ile ortak bir boru üzerinden enjektörlere dağıtılmaktadır. Elektronik motor kumandası, bu yüksek basıncı, motorun devir sayısına ve yüküne göre ayarlar.

Yakıtın püskürtülmesi, manyetik supap kumandalı enjektörlerle yapılmaktadır. Bu da püskürtmenin şekillendirilmesinde, pilot (ön) püskürtme imkanı sağlamaktadır. Pilot püskürtme, esas ana püskürtmeden önce oluşarak yakıtın yanmasına ilişkin çıkış oranlarını yüksek derecede iyileştirmektedir. Ayrıca motorun düşük egzoz gazı emisyonları ve gürültü seviyesi ile çalışması sağlanmaktadır.

Şekil 2.16'da sunulan Common Rail Sisteminde; basınç oluşumu ve püskürtmenin ayrılması, yüksek basınç tutucusu dağıtıcı ortak hat ve enjektörlere giden borularla sağlanmaktadır. Yakıt püskürtmesi, elektronik kumanda ünitesinden manyetik supaba giden bir sinyal ile başlatılır. Püskürtülen yakıt miktarı, hem manyetik supabın açılma süresine hem de sistem basıncına bağlıdır.

Sistem basıncını, yüksek basınçlı, pistonlu pompa oluşturmaktadır. Yüksek basınç pompası, düşük tahrik dönme momentleri ile çalışır, bu da pompa tahrikinin yükünü azaltmış olur. Basınç oluşumu için, binek otomobillerde dağıtıcı tip pompalar; ticari araçlarda ise sıra tipi pompalar öngörülmüştür.



Şekil 2.16 Common Rail yakıt sistemi

#### 2.3.4.2.1.1 Yüksek Basınç Hattı

Yüksek basınç pompası, basınç kontrol valfi, ortak yakıt hattı, hat basıncı sensörü, enjektörler ve yakıt borularına yüksek basınç hattının elemanlarıdır. Ortak yakıt hattı basıncı 1800 bar değerine kadar ulaşmakta olup, basınç kontrolü elektronik kontrol ünitesince motor devrinden bağımsız olarak gerçekleştirilmektedir. Yüksek basınç, eksantrik mili ile tahrik edilen bir yüksek basınç pompası ile sağlanmaktadır. Ortak hattın basınç değeri, hat basınç sensörü tarafından takip edilirken, kontrol valfi bu basıncı sabit



değerde tutmaktadır. Sistemde kullanılan enjektör; tetiklemesi elektronik kumanda ünitesi tarafından yapılır.

#### **2.3.4.2.1.2 Alçak Basınç Hattı**

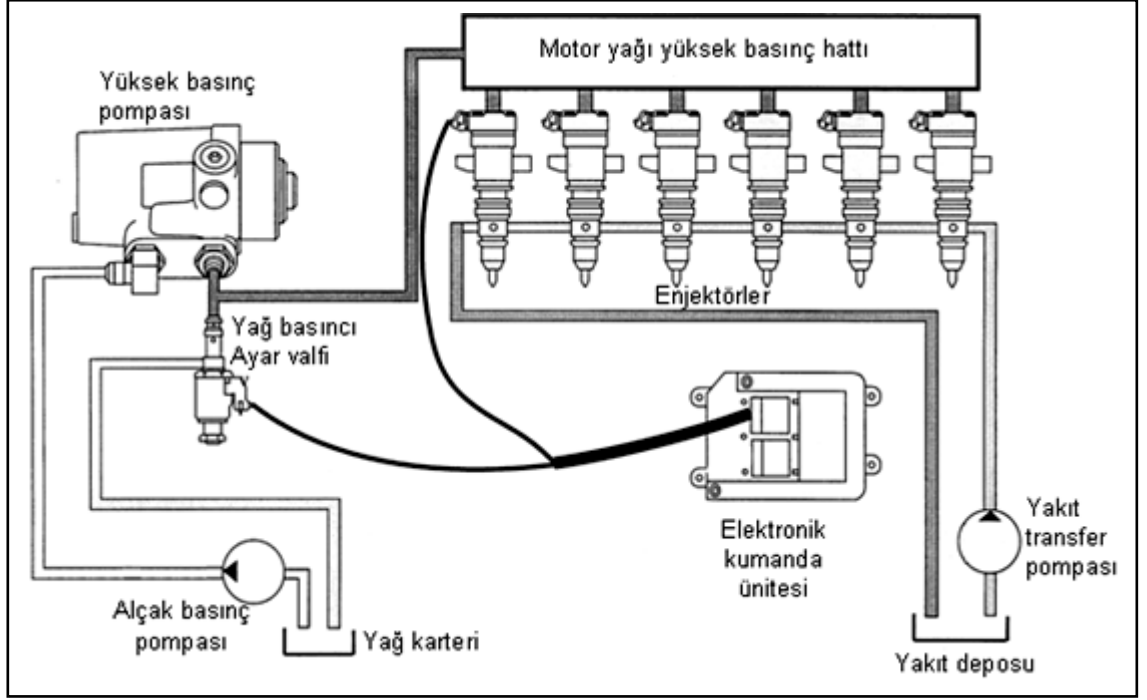
Bu hattın görevi yüksek basınç hattına yakıt sağlamaktır. Yakıt deposu, filtre ve besleme pompası alçak basınç hattının elemanlarıdır. Besleme pompası, yakıt deposundan aldığı yakıtı, yüksek basınç hattı elemanı olan yüksek basınç pompasına gönderir.

#### **2.3.4.2.1.3 Elektronik Kontrol Devresi**

Tüm yakıt sistemini kumanda eden elektronik kontrol devresi elemanları; dizel motoru sensörleri ve elektronik kumanda ünitesidir. Elektronik kontrol ünitesi, aynı zamanda enjektör püskürtme basıncını olan ortak hat basıncını, basınç kontrol valfi üzerinden kumanda eder; gerçek zamanlı olarak motorun yakıt ihtiyacı miktarını tespit ederek, enjektör selenoidlerine tetikleme sinyali gönderir.

#### **2.3.4.2.2 HEUI Yakıt Sistemi**

Common rail sistemi sistemi gibi 1990'lı yılların başında geliştirilen HEUI yakıt sistemi de fonksiyon olarak; yüksek basınç hattı, alçak basınç hattı ve elektronik kontrol devresi gruplarından oluşmaktadır. Ancak HEUI sisteminde, Common rail yakıt sisteminden farklı olarak yüksek basınç hattında motor yağı bulunmaktadır. Yakıt enjektörlere girmeden önce düşük basıçtır. Şekil 2.17'de sunulan HEUI sisteminde, yakıt basıncı yağ hidrolik basıncı yardımıyla enjektörlerde yükseltilmektedir.



Şekil 2.17 HEUI yakıt sistemi

### 2.3.4.2.2.1 HEUI Yakıt Enjektörleri

Yapısı şekil 2.18’de sunulan HEUI yakıt enjektörlerinin çalışması yakıtın enjektörlere dolumu, yakıtın püskürtülmesi ve püskürtme sonu olarak 3 aşamada olmaktadır.

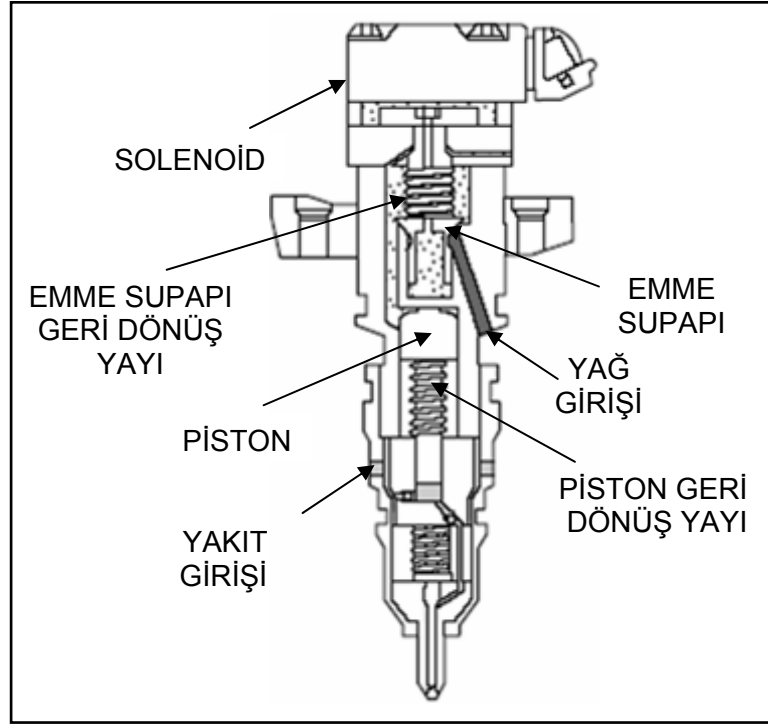
- Yakıtın enjektörlere dolumu:

Enjektöre yakıt dolumu aşamasında, emme supapı kapalı konumda olup, yüksek basınçtaki yağın enjektörlere girmesini engellemektedir. Transfer pompası yardımı ile yakıt enjektörün içine, piston alt ucundaki oyuğa doldurulur.

- Yakıtın püskürtülmesi:

Elektronik kumanda ünitesinden gönderilen akımla solenoidin tetiklenmesiyle meydana gelen manyetik alanın emme subapı geri dönüş yay kuvvetini yenmesi sonucunda, emme supapının yukarı doğru hareket eder. Emme

subapının üst boşluğundaki yağ haznesinin tahliye deliği kapanır. Yüksek basınçtaki motor yağı giriş kanalından emme supabının üst kısmındaki boşuğa dolarken, diğer taraftan pistonun üzerine bastırır. Motor yağının, piston geri dönüş yay kuvvetini yenerek piston üzerine etki etmesi sonucu basıncı yükselen yakıt, enjektör memesinden yanma odasına püskürtülür.



Şekil 2.18 HEUI yakıt sistemi enjektörü

- Püskürtme sonu:

Selonoid akımının kesilmesiyle püskürtme işlemi tamamlanmış olur. Akımın kesilmesiyle manyetik alan kuvveti ortadan kalkar. Emme subapı geri dönüş yayı, emme supabını yuvasına doğru iter. Yağ haznesinin tahliye deliği açılırken, yağ giriş kanalı kapanır. Meydana gelen ani basınç düşüşü ile piston geri dönüş yayı, pistonu yuvasına iter.

### 3. MOTOR DİAGNOSTİK SİSTEMLERİN İNCELENMESİ

#### 3.1 Diagnostik Sistem Tanımı

Bir prosedür olarak diagnostik sistem; dinamik bir süreçte, bir arızanın olup olmadığının aranması, meydana gelmiş bir arızanın ne olduğunun ve bu arızanın dinamik sistemdeki yerinin tespit edilmesi, kısaca ifade edilirse arıza tespit ve teşhis sistemidir. Tanımlama olarak;

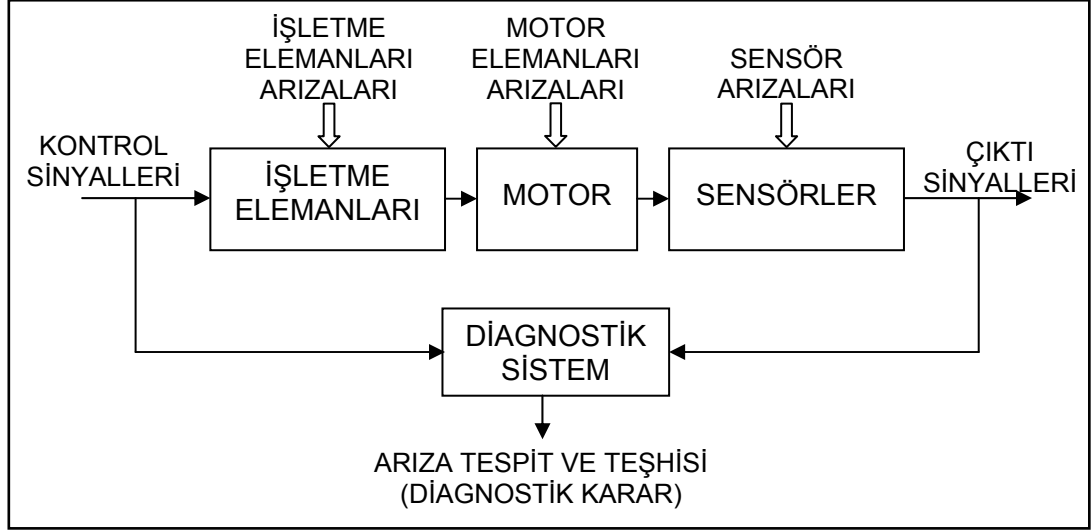
- Arıza tespiti:

Bir sistemde, bir arızanın meydana geldiğinin belirlenmesi arızanın tespitidir.

- Arıza teşhisi:

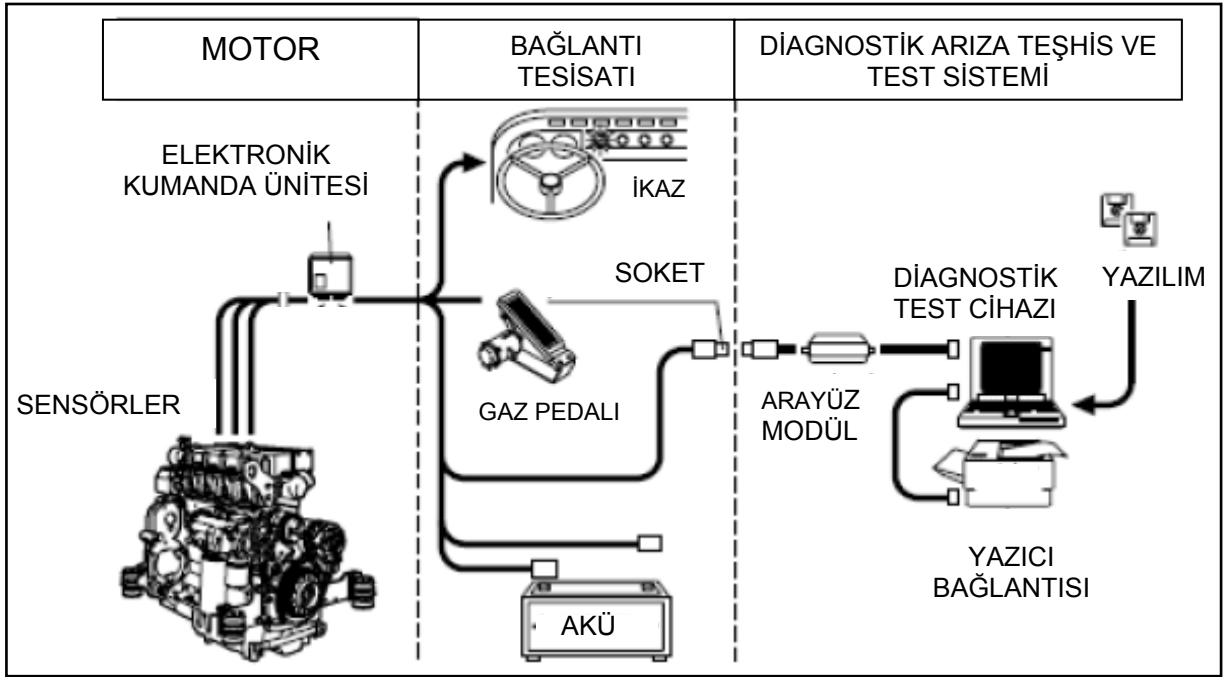
Bir sistemde meydana geldiği tespit edilen bir arızanın yerinin, zamanının ve tipinin belirlenmesi arızanın teşhisidir.

Diagnostik arıza teşhis ve tespit sistemleri taşıt üstü ve harici ekipman olarak iki tip olup, taşıt üstü sistemler sürüş esnasında taşıtın motor dahil fren sistemleri, şanzıman, egzoz vb. gibi diğer elektronik kumanda tertibatlı sistemlerin çalışmasını bağımsız olarak kontrol altında tutmaktadır. Meydana gelebilecek bir arıza durumunda, sesli ve ışıklı ikaz devresini çalıştırarak sürücüyü uyararak araç üstü diagnostik arıza teşhis ve test sistemlerinden farklı olarak, harici diagnostik arıza teşhis ve tespit sistemleri ile daha kapsamlı arıza analizinin yapılması ve fonksiyon test işlemleri mümkün olmaktadır. Şekil 3.1'de, bir diagnostik arıza teşhis ve tespit sisteminin çalışma blok şeması görülmektedir.



Şekil 3.1 Diagnostik sistem çalışma şeması

Bir veya daha fazla kumanda birimi mevcut elektronik yönetim sistemi tarafından, ayar ve işletme parametreleri tablolarına bağlı şekilde, bilgi tabanlı olarak kumanda edilen bir motor ve alt donanımları birbirleri ile etkileşimli olarak çalışmaktadır. Araç üstü diagnostik arıza teşhis ve tespit sistemlerinin bir bütün olarak genel arıza uyarısı yapmasıyla beraber; bilgisayar program yazılımı olarak tasarlanmış harici diagnostik arıza teşhis ve tespit sistemleri istenilen kumanda biriminin seçimi yapılarak, taşıt veya motor sistemi ile bunlara ait alt sistemlerin girdi ve çıktıları arasında bir sapma olup olmadığını takip edebilmesine imkân sağlamaktadır. Şekil 3.2'de, elektronik yönetim sisteminin mevcut olduğu bir taşıtta, harici olarak kullanılan bir diagnostik arıza teşhis ve tespit sisteminin, çalışma şeması görülmektedir.



Şekil 3.2 Harici diagnostik sistem

Bu kapsamda bir harici diagnostik arıza tespit ve teşhis sisteminin, motor ile ilgili fonksiyonları aşağıdadır:

- Elektronik kumanda ünitesi hafızasında, motorun çalışması esnasında kayıt ettiği işletme parametrelerinin ölçülmüş değerlerinin ve bunlardan azami veya asgari limitler (mevcutsa) dışına düşenlerin sınır değerlerinin görüntülenmesini hem motor duruyorken ve hem de çalışırken sağlar.
- Motorun bölgesel ve özel çalışma durumlarını uyum sağlaması veya bir değiştirme parçasını takarken elektronik kumanda ünitesinin takılan parçanın ayarlamalarını kendi belirli ortamlarına uydurabilmesi gibi nedenlerle programlanması veya parametrelerinde değişiklik yapılması gerekir. Bu işlem yalnızca harici diagnostik sistemle yapılabilir.
- Elektronik kumanda ünitesinin hata hafızasında kayıtlı herhangi bir hata mesajını okumak için kullanılır. Hata mesajları; arıza yeri, tipi, toplam arıza sayımı (her bir arızanın ve yerinin sayımı), mesaj konumu (aktif / pasif), acil durum modu (evet / hayır) bilgilerini içerirler.

- Arıza tespit ve teşhis işlemlerinde yardımcı olan silindir basınç testi, motor devir testi ve enjektör testi gibi işlev testleri yapılabilir. İşlev testinde elektronik kumanda ünitesi iletim programı atlanır ve kumandalar diagnostik sistem tarafından yazılımında mevcut test programı ile yapılır.

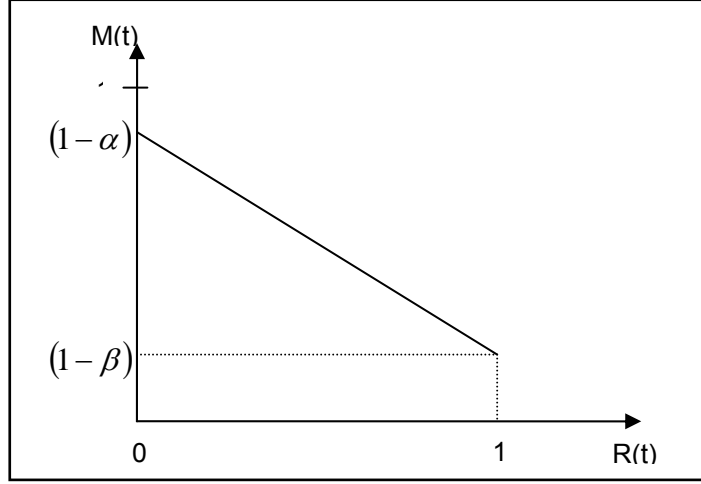
Taşıt ve motor üretici birçok firma ile bu firmalara donanım üreten firmalar ürünlerinde taşıt, motor, şanzıman vb. elektronik yönetim sistemlerini ve buna bağlı ilave donanım olarak harici arıza teşhis ve tespit diagnostik sistemlerini yaygın olarak kullanmaktadır. Ancak bahse konu sistemlerin yaygın kullanılmasının yanında, firmalar arası rekabet gereği her markanın kendilerine özgü yazılım ve diagnostik sistemler geliştirmeleri ve değişen ürün modellerinde farklı sistemler kullanmaları nedeniyle bahse konu sistemlerin tasarım ve geliştirilmesinde yöntem seçimi problemini ortaya çıkarmıştır.

### 3.2 Diagnostik Sistem Güvenilirliği

Yapısal ve fonksiyonel olarak bir diagnostik sistemden beklenen en önemli faktör doğru, güvenilir ve çabuk olarak arıza teşhis ve tespitini yapabilmesidir. Diagnostik bir sistem uygun tasarlanmadığı durumda aşağıda açıklanan 2 hata tipine duyarlı olacaktır [5]:

- $\alpha$  (tip 1) hata: Dinamik sistemde herhangi bir arıza olmadığı halde, diagnostik sistemin hata varmış gibi algılamasıdır.
- $\beta$  (tip 2) hata: Dinamik sistemde bir arıza meydana geldiği halde, diagnostik sistem tarafından algılanmamasıdır.

Bir dinamik sistemde arıza olup olmadığının, doğru olarak tespit edebilmesi diagnostik sistemin güvenilirliğini göstermektedir. Şekil 3.3'de belirtildiği gibi bir t zamanı süresinde, diagnostik sistemin güvenilirliği ile dinamik sistemin arıza yapma olasılığı lineer orantılıdır.



Şekil 3.3 Diagnostik sistemin güvenilirliği

$R(t)$  = Diagnostik sistemin, zamana bağlı güvenilirlik fonksiyonu.

$M(t)$  = Dinamik sistemin, zamana bağlı arıza yapma olasılık fonksiyonu.

$\beta$  = Diagnostik sistemin, dinamik sistemde meydana gelmiş bir arızayı tespit edememe olasılığı.

$\alpha$  = Diagnostik sistemin, herhangi bir arıza olmadığı halde arıza varmış gibi algılama olasılığı.

Burada  $\beta > \alpha$  durumu gösterilmiştir olup, diagnostik sistemin güvenilirliği analitik olarak ifade edildiğinde;

$$R(t) = (1 - \beta) - (1 - \alpha) \cdot (1 - M(t)) = (1 - \alpha) - (\alpha - \beta) \cdot (1 - M(t)) \quad (3.1)$$

Bu denkleme göre;

- Dinamik sistem %100 güvenilir ise  $M(t) = 0$  ve diagnostik sistemin güvenilirliği  $(1 - \alpha)$  olur. Buna göre; diagnostik sistem, olmayan bir arızayı varmış gibi tespit etmek konusunda güvenilir değildir.



- Dinamik sistem arızalı ise  $M(t)=1$  ve diagnostik sistemin güvenilirliği  $(1-\beta)$  olur. Buna göre; diagnostik sistem, meydana gelen bir arızayı tespit etmek konusunda güvenilir değildir.
- $\alpha = \beta$  Olması durumunda, diagnostik sistemin güvenilirliği;  $(1-\alpha) = (1-\beta)$  olur.
- Genel olarak  $\beta > \alpha$  durumu geçerli olup, diagnostik sistem güvenilirlik fonksiyonu  $R(t)$ 'nin sınırları  $(1-\alpha) < (1-\beta)$  şeklindedir.

Diagnostik sistemin, zamana bağlı güvenilirlik fonksiyonunun (1) kısmi türevleri alındığında sonuçların negatif olduğu görülür;

$$\frac{dR(t)}{d\alpha} = M(t) - 1 \quad (3.2)$$

$$\frac{dR(t)}{d\beta} = -M(t) \quad (3.3)$$

$$\frac{dR(t)}{dM(t)} = -(\beta - \alpha) \quad (3.4)$$

$\alpha, \beta$  ve  $M(t)$  fonksiyonu arttıkça  $R(t)$  azalmakta olup, bir çok durum için  $M(t)$  fonksiyonunun değeri 0,5'ten küçüktür. Buna göre;  $\left| \frac{dR(t)}{d\alpha} \right|$  mutlak değeri  $\left| \frac{dR(t)}{d\beta} \right|$  mutlak değerinden büyük olup,  $R(t)$  güvenilirlik fonksiyonu  $\beta$ 'dan çok  $\alpha$ 'dan etkilenmektedir.

### 3.3 Diagnostik Sistemlerin Uygulama Yönteminin Belirlenmesi

Diagnostik sistemlerin tanımında da belirtildiği gibi; diagnostik arıza teşhis ve tespit sistemleri taşıt üstü ve harici ekipman olarak iki tiptir. Harici diagnostik arıza teşhis ve tespit sistemleri ile kapsamlı arıza analizi ve fonksiyon test işlemleri yapılabilmektedir. Taşıt üstü diagnostik sistemler ise

sürüş esnasında taşıtın motor, fren sistemleri, şanzıman, egzoz vb. gibi diğer elektronik kumanda tertibatlı sistemlerin çalışmasını bağımsız olarak kontrol altında tutmaktadır. Bu sebeple, taşıt üstü diagnostik sistemlerin harici diagnostik sistemlerden farklı olarak motorda veya elektronik olarak kumanda edilen diğer sistemlerde meydana gelecek anormal durumları çok çabuk olarak algılaması ve gerekli sürücü ikaz sistemlerini çalıştırması gerekmektedir.

Çevrimsel, dinamik bir sistem olan motorun ve yazılım olarak belirli algoritmalarından oluşan elektronik motor yönetim sistemlerinin arıza tespit ve teşhisi için kullanılan diagnostik sistem donanımlarının tasarımında daha önce mevcut verilere dayalı istatistiksel arıza analizi veya parametrelerin tahmini hesaplanması yöntemleri kullanılmıştır.

İstatistiksel veri analizi ve parametrelerin tahmini hesaplanması yöntemlerinde, dinamik bir sistemin denklem veya proses olarak davranış fonksiyonunun verileri incelenip, olması gereken fonksiyon değerlerinden sapma göstermiş olanlar tespit edilmektedir. Basit ve lineer sistemler için sistem fonksiyonu oluşturularak arıza kaynağına ulaşılabilmekle birlikte karmaşık ve lineer olmayan sistemler için davranış fonksiyonu tanımlamasında yeterli olmamaktadır [6,7]. Ayrıca sistem çıktı değerlerinde meydana gelecek ani sapmalar tespit edilirken, küçük sapma değerleri izlenememektedir. Gelişen bilgisayar teknolojisi ile birlikte bu yöntemin yerini esnek bir yöntem olan modelleme esaslı yöntem almıştır. Belirtilen yöntemlerin yerine, modelleme esaslı diagnostik yöntem kullanılması aşağıda belirtilen avantajları bulunmaktadır:

### **3.3.1 Öngörülme Arızalar**

İstatistiksel veri analizi ve parametrelerin tahmini hesaplanması yöntemleriyle, sistemde yalnızca meydana gelmiş arızaların tanımlamasını

yapabilmekte, modelleme esaslı yöntemde ise model üzerinde sistemde henüz meydana gelmemiş arızaların öngörü çalışmaları yapılabilmektedir.

### **3.3.2 Model Oluşturulması**

Modelleme esaslı yöntemde, bir sistem modelinin genel olarak ve bu genel model içinde, sistem elemanlarına ait alt modellerin incelenmesi mümkün olurken istatistiksel veri analizi ve parametrelerin tahmini hesaplanması yöntemlerinde, sisteme özel bilgiler kullanılarak sistem yalnızca genel olarak incelenebilmektedir.

### **3.3.3 Bilgi Kazanımı**

Modelleme esaslı yöntem oluşturulan modelin parametrelerinin, tasarımı yapılan sistemde doğrudan kullanılmasına imkân sağlamaktadır. Ancak istatistiksel veri analizi ve parametrelerin tahmini hesaplanması yöntemlerinde elde edilen parametrelerde büyük oranda hata meydana gelebilmekte ve doğrudan kullanılamamakta, sağlama yapılmasını gerektirmektedir.

### **3.3.4 Taşıt Ve Motor Elektroniği Yönetim Sistemleri**

Diagnostik sistemlerinin tasarım ve geliştirme yönteminin seçimine etki eden faktörler ile modelleme esaslı yöntemin özelliklerinin tasarım ve geliştirme ilkeleri yönünden uyumluluk gösterdiği görülmektedir.

Genel olarak içten yanmaları motorların;

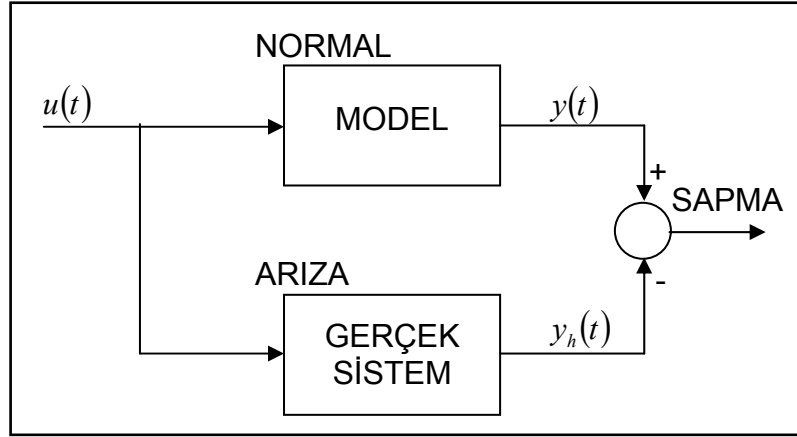
- Yapısal olarak komple incelenebilmesinin yanında ayrıca yağlama, yakıt ve elektrik gibi alt sistem bölümleri olarak ayrıştırılabilmesi,

- Geneline bakıldığında, arızalarının alt sistem olarak ayrıştırılan bölümlerde meydana gelmesi,
- Genel sistem davranışının, alt sistemlerinin davranışlarına bağlı olarak ortaya konabilmesi gibi nedenlerle özellikle harici diagnostik sistemlerin tasarımı ve geliştirilmesi için en ideal yöntem modelleme esaslı yöntemidir.

Modelleme esaslı yöntemin, harici diagnostik sistemlerde arıza tipinin belirlenmesi ve işlev testlerinin (silindir basınç testi, motor devir testi ve enjektör testi) yapılmasında birçok avantajı söz konusudur. Taşıt üstü diagnostik sistemler ise görevleri gereği, sistem sapmalarını gerçek zamanlı takip eden ve sistem parametrelerinde meydana gelebilecek bir sapma durumuna karşı reaksiyon zamanı çok kısa olması gereken dinamik geri beslemeli aktif kontrol sistemleridir. Görev farkı gereği araç üstü diagnostik sistemlerde, harici diagnostik sistemlerde özellikle kullanımı uygun olan modelleme sistemine ilave olarak simülasyon yöntemi kullanılmaktadır [7].

### **3.4 Modelleme Esaslı Yöntem**

Modelleme esaslı yöntemin temeli; şekil 3.4'de görüleceği üzere, bir sistemin çıktı değerleri olan gözlemlenen değerler ile sistemin davranış şekli olan sistem fonksiyonu çıktı değerlerinin karşılaştırılması, farklı girdi ve çıktı değerlerinin ilişkilendirilerek aralarındaki sapmanın belirlenmesidir [8]. Bu yöntem farklı mühendislik alanlarında sıklıkla kullanılmaktadır.



Şekil 3.4 Modelleme esaslı yöntem

Sistem modelinin çıktı fonksiyonu  $y(t)$ ; sistem fonksiyonu  $x(t)$ , girdi değeri  $u(t)$  ve zamana  $(t)$  bağlıdır.

$$y(t) = g(x(t), u(t), t) \quad (3.5)$$

Sistem parametreleri matrisi  $A$  ve girdi değerleri matrisi  $B$  olarak sistem modelinin lineer çıktı fonksiyonu;

$$y(t) = A \cdot x(t) + B \cdot u(t) \quad (3.5-a)$$

### 3.4.1 Sistem Çıktı Değerindeki Sapmasının Bulunması

Herhangi bir  $t_1$  anında, sistem parametreleri matrisinin  $a_1$  değeri ve girdi değerleri matrisinin  $b_1$  değeri için sistem modeli çıktı fonksiyonu;

$$y(t_1) = a_1 \cdot x(t_1) + b_1 \cdot u(t_1) \quad (3.5-c)$$

Gerçek sistemde,  $t_1$  anındaki sistem parametreleri matrisinin sapma gösteren  $a_h$  değeri için sistem çıktı fonksiyonu;

$$y_h(t_1) = a_h \cdot x(t_1) + b_1 \cdot u(t_1) \quad (3.5-d)$$

Sistem modelinin ve gerçek sistemin çıktı fonksiyonları değerleri arasındaki fark ( $\varepsilon$ ) sapma miktarıdır:

$$\Delta = y(t_1) - y_h(t_1) \quad (3.6)$$

$$\Delta = x(t_1) \cdot (a_1 - a_h) \quad (3.6-a)$$

$$(a_1 - a_h) = \varepsilon \quad (3.6-b)$$

### 3.4.2 Alt Sistemlerde Modelleme Esaslı Yöntemin Uygulanması

Yapısal olarak bir sistemin komple incelenebilmesinin yanında ayrıca sistemin alt sitem bölümleri de ayrı olarak modellenebilir [9]. Genel bir sistem modeline ait her alt sistem modeli aşağıdaki genel ifadeyi karşılamalıdır;

$$\frac{dx_i}{dt} = \sum_{j=1}^{N_{G,i}} f_{ji} - \sum_{l=1}^{N_{\zeta,i}} f_{il} - f_{\text{ürt},i} \quad (3.7)$$

$x_i = i$  Alt modelinin sistem fonksiyonu

$f_{ji} = i$  Alt modelinin kendinden bir önceki  $j$  alt sistem modelinden gelen çıktı değeri

$f_{il} = i$  Alt modelinin kendinden bir sonraki  $l$  alt modeline gönderdiği çıktı değeri

$N_{G,i} = i$  Alt modeline gelen toplam girdi sayısı

$N_{\zeta,i} = i$  Alt modelinden olan toplam çıktı sayısı

$f_{\text{ürt},i} = i$  Alt modelinin ürettiği veri değeri

### 3.5 Modelleme Esaslı Yöntemin Diagnostik Sistemlerde Uygulanması

Modelleme esaslı yöntemde, dinamik sistemin davranış fonksiyonuna sahip bir model oluşturulmaktadır. Dinamik sisteme ait girdi değerlerine karşılık elde edilen çıktı değerleri (gözlem değerleri) ile model sistemde aynı girdi değerlerine karşılık gelen çıktı değerleri karşılaştırılarak, aralarında bir sapmanın olup olmadığı izlenmektedir. Sistem çıktı değerinin, model sistem çıktı değerinden farklılık göstermesi sistemde hatalı bir işletme parametresinin olduğunu göstermektedir. Çıktı değerlerinin arasında sapmanın olduğunun belirlenmesi arızanın tespitidir. Sistem çıktı değeri ile model sistemin çıktı değeri arasında meydana gelebilecek farklılığın, diğer bir ifade ile sapmanın olup olmadığının belirlenmesinde Bayesian teoremi, Kalman filtre analizi, paçacık filtreleme ve sinyal prosesi gibi yaklaşım yöntemleri kullanılmaktadır.

Sistem girdi değerleri olarak nitelendirilen veriler; sensörlerin elektrik sinyaline çevirdiği motorun basınç, sıcaklık, konum vb. fiziksel değerleridir. Sensörlerden gelen bu bilgiler, motorun elektronik kumanda ünitesi tarafından yazılımında mevcut zaman, durum ve sıra özellikli şekilde olan motor işletme parametreleri tablolarıyla karşılaştırmalı olarak takip edilerek, motorun optimum güç ve yakıt ekonomisi sağlayacak şekilde işletilmesi sağlanmaktadır. Modelleme esaslı diagnostik yöntem yaklaşımında, elektronik yönetim sistemine sahip bir dizel motor sisteminin girdi sinyallerini motor devri ve püskürtme avansı; çıktı sinyallerini tork, sıcaklık ve egzoz gazı emisyonu fiziksel değerleri oluşturur. Motor modeli içinde bir alt model olan yakıt sistemi için girdi değeri yakıt püskürtme sinyali çıktı değeri ise püskürtülen yakıt miktarıdır.

Modelleme esaslı yöntemle; motor sisteminin girdi değerine karşılık, davranış fonksiyonuna göre ölçülen çıktı değeri ile motorun model sisteminin çıktı değerleri ait sapmanın yani arızanın tespiti yapılır.

### 3.5.1 Arıza Modelleri

Arıza; dinamik bir süreç olan ve teknolojik gelişmelere paralel olarak giderek karmaşıklaşan taşıt ve taşıtın bir güç kaynağı olan dizel motorundaki bir parçanın görevini hatalı olarak yerine getirmesi veya tamamen görev yapamaz olması sebebiyle, taşıt veya motorun kısmen veya tamamen görevini yapamamasıdır. Bu kapsamda; elektronik yönetim sistemine sahip bir dizel motorunun arızalarını fiziki olarak 3 grupta toplanmaktadır:

- Sensör arızaları: Sensör arızaları genel olarak; yapısal arızalar, elektrik sistemi devre arızalarından oluşmaktadır.
- İşletme sistemi arızaları: Motor elektronik yönetim sisteminin elektronik kumanda ünitesinde meydana gelen yapısal veya elektriksel arızalardır.
- Motor elemanlarının arızaları: Motor sistemi elemanlarında meydana gelen yapısal ve fonksiyonel arızalardır.

Diagnostik olarak arıza tespiti için kullanılan sinyal modellemesinde arızalar sınıflandırılması meydana geliş biçimlerine göre sınıflandırılır:

- Ani olarak meydana gelen arızalar
- Başlangıç aşamalı arızalar
- Fasıllı arızalar

### 3.5.2 Arıza Faktörü

Arıza faktörü  $\theta$ ; meydana gelen arızalar için arıza katsayısı değeri olarak etki eder. Buna göre herhangi bir arıza tipi için çıktı değeri  $y_s$ , arıza katsayısı  $\theta_s$  ve gerçek sistem değeri  $y_g$  ilişkisi, arızaların meydana geliş şekilleri de dikkate alındığında;

Ani olarak meydana gelen arızalar için (sensör sinyal değişimi vb.);



$$y_s = \theta_s \cdot y_g \quad (3.8)$$

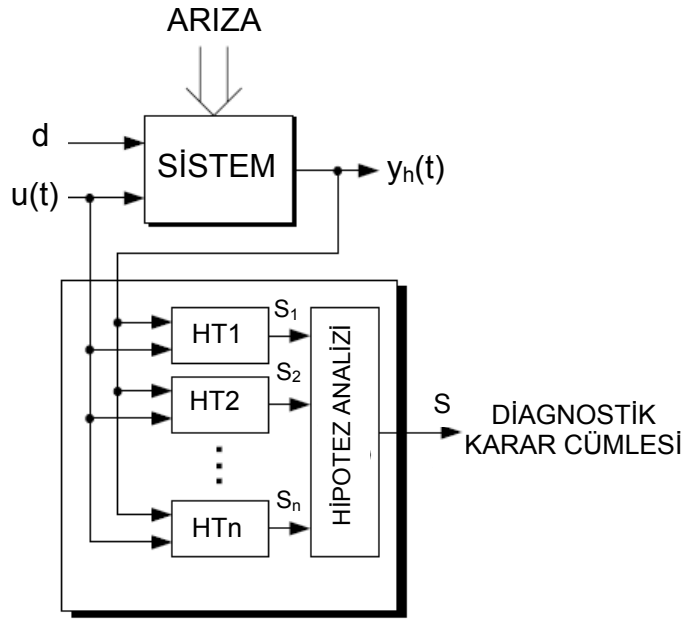
Başlangıç aşamalı arızalar için (hava kaçağı vb.);

$$|y_s - y_g| = \theta_s \quad (3.9)$$

Bir sisteme ait tüm arıza faktörlerinin kümesi:  $\theta_F = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n)$

### 3.5.3 Hipotez Testleri

Var olduğu ve değeri tespit edilen sapmanın anlamı arızalı bir sistem işletme parametresinin kendi sınır değer miktarını aşması anlamına gelmektedir. Sistemin hangi işletme parametresinin sınır değer aşımına sebep olduğunun diğer bir ifade ile arıza tipinin belirlenmesi arıza teşhisidir. Şekil 3.5'de sunulan blok şemasında görüleceği üzere; motor sisteminin girdi değeri  $u(t)$  ile çıktı değeri  $y_h(t)$ , diagnostik sistemin girdi değerleridir. Arıza tipinin belirlenmesinde, diagnostik sistemin matematiksel olarak teşhis algoritmasının yapılandırıldığı hipotez testleri (HT, HT1, HT2...HTn) kullanılmaktadır [10]. Kaynağı bilinmeyen ancak "d" bozucu sinyali (motor işletme parametresi) nedeniyle sistemin çıktı değerinde sapma meydana getiren arıza tipinin belirlenmesi, diagnostik sistemin çıktısı olan diagnostik karar cümlesini oluşturur.



Şekil 3.5 Diagnostik arıza tespit sistemi hipotez testleri

Sistemin bilinen tüm arıza tiplerinin kümesi :  $\Omega_{n+1} = \{FN, F_1, F_2, \dots, F_n\}$

$FN$  : Arıza Yok durumunu göstermektedir.

$H_i^0$  Hipotezi için tanımlı arıza tipleri kümesi  $M_i^0$  olarak ifade edilirse,  $H_i^1$  hipotezine ait arıza tipleri kümesinin elemanları,  $M_i^1$  kümesinin elemanlarından farklıdır. Buna göre;  $H_i^0$  hipotezi geçerli değil ise  $H_i^1$  hipotezi geçerli olup, sistemde mevcut arıza tipi  $M_i^0$  kümesine değil,  $M_i^1$  aittir. Böylelikle sistemdeki mevcut arıza tipinin belirlenebilmesi (diagnostik karar cümlesi) için her bir hipotez testi  $HT_i$  sıra ile  $S_i$  bilgi sağlar.

Buna örnek olarak; sistemdeki yeri bilinmeyen ancak işletme parametresinin “d” bozucu girdisi sebebiyle meydana gelen  $F_k$  arıza tip için hipotez testi aşağıdaki gibi tanımlanır;

$$H_1^0 : F_k \in M_1^0 = \{NF, F_1\},$$

$$H_2^0 : F_k \in M_2^0 = \{NF, F_2\}$$

$$H_3^0 : F_k \in M_3^0 = \{NF, F_3\}$$

$$H_1^1 : F_k \in M_1^1 = \{F_2, F_3\}$$

$$H_2^1 : F_k \in M_2^1 = \{F_1, F_3\}$$

$$H_3^1 : F_k \in M_3^1 = \{F_1, F_2\}$$

Eğer  $H_1^0$  hipotezi geçerli değil ise,  $F_k$  arıza tipi  $M_1^1$  kümesinin elemanı olup, arıza tipi  $F_2$  veya  $F_3$ 'tür.  $H_1^0$  ve  $H_2^0$  hipotezlerinin her ikisi de geçerli değil ise bu durumda;  $H_1^1$  ve  $H_2^1$  hipotezlerinin arıza kümelerinin kesişim elemanı olan  $F_3$  arıza tipi diagnostik karar cümlesi olacaktır.

$$S = F_k \in M_1^1 \cap M_2^1 = \{F_2, F_3\} \cap \{F_1, F_3\} = F_3$$

$F_k$  arızasına ait arıza faktörü  $\theta_k$  dikkate alınarak;

$$S = \theta_k \in \theta_1^1 \cap \theta_2^1 = \{\theta_2, \theta_3\} \cap \{\theta_1, \theta_3\} = \theta_3$$

$$\theta_1^1, \theta_2^1 \in \theta_F$$

Yukarıda açıklanan örnekte olduğu gibi diagnostik karar cümlesi, hipotez testlerine ait arıza kümelerinin kesişimi şeklindedir. Arızaların fazla olması durumunda diagnostik karar cümlesine ait arıza tipi kümesi elemanlarının sayısı arıza tipleri sayısı kadar, bir başka ifade ile geçerli olan hipotezlere ait arıza kümelerinin kesişim elemanlarının sayısı kadar olacaktır [10].

$$S = \bigcap_{i=H_1^1} M_i^C \quad (3.10)$$

$\bar{i}$  = geçerli hipotez testi sayısı

### 3.5.4 Test Fonksiyonu

Ele alınan bir sistemde girdi ve çıktı değerleri bir  $t_0$  ve  $(t_0 + N)$  örnek zaman aralığında ölçülür.

$$y(t) = F(x, u(t)) \quad \Rightarrow \quad \dot{x} = \begin{bmatrix} u(t_0) & u(t_0 + t_1) \dots \dots \dots u(t_0 + N) \\ y(t_0) & y(t_0 + t_1) \dots \dots \dots y(t_0 + N) \end{bmatrix}$$

Arıza tipi kümesinde tanımlanan arıza tiplerinden, bir  $i$  parametresindeki arıza için ifade edilirse  $t_0$  ve  $(t_0 + N)$  örnek zaman aralığında sistemde ölçülen girdi ve çıktı değerleri matrisine ait  $y(t)$  çıktı değerleri, bahse konu  $i$  parametresinin arızasız çalışma durumundaki hesaplana değerlerinden, sapma göstermektedir.

$$y(t) = y_h(t)$$

Buna göre; ele alınan  $i$  parametresinin arızası için test fonksiyonu  $T_i$ ; arızasız durum için sistem modelinden hesaplanan ve olması gereken  $y(t)$  çıktı değerlerinin, sistemde örnek zaman aralığında ölçülen girdi ve çıktı değerleri  $\dot{x}$  matrisine ait  $y_h(t)$  çıktı değerlerinden farkı olan sapma değeri ( $\varepsilon$ ) ile ilişkilidir.

$$|y_h(t) - y(t)| = \varepsilon_i(t) \quad (3.11)$$

$$T(\dot{x}) = \frac{1}{N} \sum_{t=t_0}^{t=t_0+N} (y_h(t) - y(t))^2 = \frac{1}{N} \sum_{t=t_0}^{t=t_0+N} (\varepsilon_i(t))^2 \quad (3.12)$$

Eleman sayısı  $n$  olan arıza tipi kümesindeki her bir parametre arızası ve hipotez testi için ölçüm yapılarak elde edilen  $\dot{x}$  matrisine göre  $T$  test fonksiyonunun değeri belirlenir.

### 3.5.5 Hipotez Geçerlilik Bölgelerinin Belirlenmesi

Diagnostik sistem; yukarıda açıklanan farklı arızalar için tanımlanan verileri, sistemde ölçülen değerlerle karşılaştırmaktadır. Bu karşılaştırma da hipotez testleri ile yapılmaktadır. Bir seri hipotez testlerin birleştirilerek diagnostik sistem oluşturulması, hipotez testleri yapısının oluşturulmasının temel fikridir.

Her bir hipotez testi için bir test değeri ve arıza eşiği bulunmalıdır. Arıza tipi kümesindeki her bir  $i$  parametresi için, arıza eşik değerinden ( $J_i$ ) geçerli olan arıza hipotezi  $H_i^0$  tanımlanır.  $T$  fonksiyonunun değeri ile arıza eşik değeri karşılaştırılır.  $T$  fonksiyonunun değerinin sapma eşik değerine eşit ya da büyük olduğu değerler arıza hipotezinin geçerlilik bölgesidir.

$$T_n(\hat{x}) \geq J_i \quad H_i^0 \text{ Geçerlidir.}$$

$$T_n(\hat{x}) < J_i \quad H_i^0 \text{ Geçerli değildir.}$$

Geçerli  $H_i^0$  hipotez için karşılık gelen,  $\Omega$  arıza tipi kümesine ait arıza tipi sistemde mevcuttur.

Özellikle sensör arızalarında,  $\theta$  arıza faktörünün bazı değerleri için arıza tiplerinin ayırt edilmesi zorlaşmaktadır. Bu durum; hipotez testlerinde, hangi arıza tiplerinin gruplanabileceği tereddütünü oluşturabilmektedir. Örnek olarak; arıza faktörü nedeniyle bir hata büyüklüğünün limiti sıfır değerine yaklaştığında arızasız durum ( $NF$ ) mevcutmuş gibi gözükmektedir. Hataya sebebiyet vermemek için hipotez testlerinin arıza gruplamasında çoğunlukla sensör arıza tipleri ve arızasız durum arıza tipi kümelerinde beraber gruplanır.

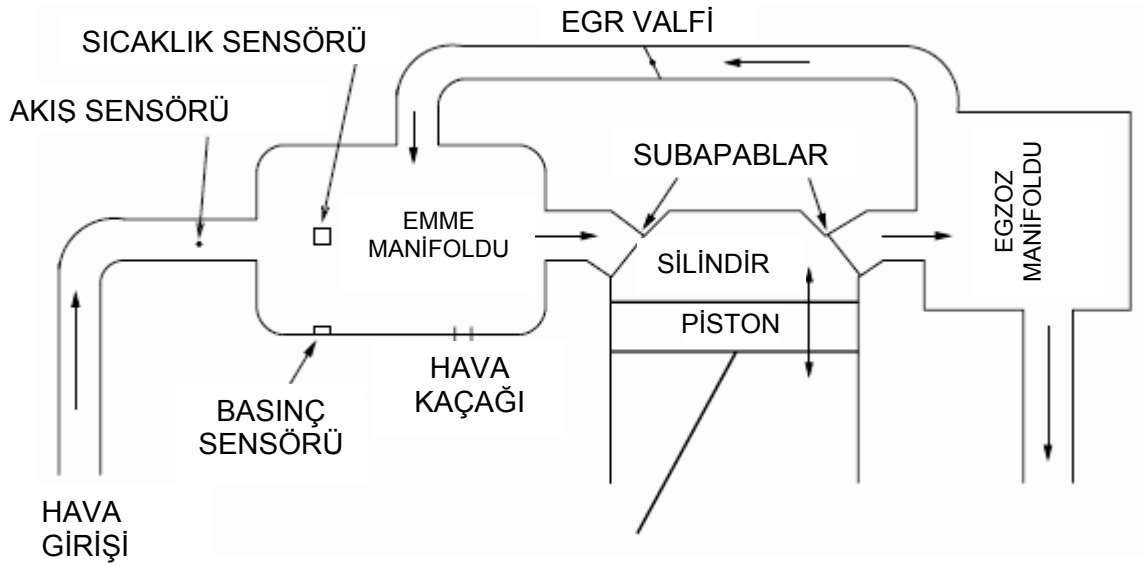
### **3.6. Bir Dizel Motorunda Hava Kaçağı ve Sensör Arızalarının Modelleme Esaslı Yöntemle Diagnostik İncelemesi**

#### **3.6.1 Hava Emme Manifoldu ve EGR Sistemi**

Egzoz gazı sirkülasyon sistemi (EGR) mevcut bir dizel motorunun, hava emme ve egzoz sistemi şeması şekil 4.6'da sunulmuştur. Motorun işletme koşullarına göre enjektörlerden püskürtülecek yakıt miktarının belirlenmesinde kullanılmak üzere, silindirlere emilen havanın miktar ve basınç bilgileri, emme manifoldunun girişindeki hava akış ve basınç sensörleri tarafından ölçülerek elektronik kumanda ünitesi ne gönderilir. Yanma zamanı sonunda, silindirlere çıkan egzoz gazının bir kısmı, bir klapanin bulunduğu sirkülasyon hattından emme manifolduna verilir [8].

Bir diagnostik sistem, yukarıda açılan egzoz gazı sirkülasyon sisteminde aşağıda belirtilen durumlar için arıza teşhisi ve tespiti yapar:

- Emme manifoldu hava kaçakları.
- Hava akış sensörü arızası
- Hava basınç sensörü arızası
- EGR valfinin sıkışması



Şekil 3.6 Hava emme manifoldu ve EGR sistemi

### 3.6.2 Genel Sistem Modeli

Hava emme manifoldu sistemi modelinin, sistem işletme parametreleri ve girdi değerlerine göre genel fonksiyon ifadesi;

$$F = f(x, u) \quad (3.13)$$

Gerçek sistem ve sistem modelinin işletme parametreleri;

$$x = \begin{pmatrix} p_g \\ m_g \\ p_e \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Emme Manifoldu Basıncı & [Pa] \\ Emme Manifoldu Hava Kütlesi & [kg] \\ Egzoz Manifoldu Basıncı & [Pa] \end{pmatrix} \quad (3.14)$$

Gerçek sistem ve sistem modelinin girdi değerleri;

$$u = \begin{pmatrix} \dot{m}_{hava} \\ n \\ X_{EGR} \\ X_{DGT} \\ T_{giriş} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Hava Debisi \quad [kg / s] \\ Motor Devri \quad [d / d] \\ EGR Valfi Konumu \quad (0-1) \\ Turbo Valfi Konumu \quad (0-1) \\ Manifoldu Hava Giriş Sıcaklığı \quad [K] \end{pmatrix} \quad (3.15)$$

### 3.6.3 Sistem Modeli Formülasyonları

Tanımlanan sistem için parametre bağıntıları aşağıdadır [11,12]:

$$P_{giriş} = \frac{R_{gaz}}{V_{giriş} \cdot c_{v, gaz}} \left( c_{p, hava} \cdot W_{HAS} \cdot T_{hava \text{ soğ. çıkş.}} + c_{p, egzoz} \cdot W_{EGR} \cdot T_{EGR} - c_{p, gaz} \cdot W_{gaz \text{ giriş}} \cdot T_{giriş} \right) \quad (3.17)$$

$$\dot{m}_{hava} = W_{HAS} - \frac{m_{hava}}{m_{hava} + m_{EGR}} \cdot W_{gaz \text{ giriş}} \quad (3.18)$$

$$\dot{m}_{EGR} = W_{EGR} - \frac{m_{EGR}}{m_{hava} + m_{EGR}} \cdot W_{gaz \text{ giriş}} \quad (3.19)$$

$$\dot{m}_{egzoz} = W_{egzoz} - W_{turbo} - W_{EGR} \quad (3.20)$$

$$W_{EGR} = \frac{A_{EGR} \cdot P_{egzoz}}{\sqrt{R_{egzoz} \cdot T_{egzoz}}} \cdot \psi_{K, egzoz} \left( \frac{P_{giriş}}{P_{egzoz}} \right) \quad (3.21)$$



$$\psi_K \left( \frac{P_1}{P_0} \right) = \begin{cases} \sqrt{\frac{2K}{K-1} \left\{ \left( \frac{P_1}{P_0} \right)^{\frac{2}{K}} - \left( \frac{P_1}{P_0} \right)^{\frac{K+1}{K}} \right\}} \\ \text{eğer } \left( \frac{P_1}{P_0} \right) \geq \left( \frac{2}{K+1} \right)^{\frac{K}{K-1}} \text{ veya} \\ \sqrt{K \left( \frac{2}{K+1} \right)^{\frac{K+1}{K-1}}} \end{cases} \quad (3.21-a)$$

$$W_{\text{gaz, giriş}} = f \left( n \cdot \frac{P_{\text{giriş}}}{T_{\text{giriş}} \cdot R_{\text{gaz}}} \right) \cdot \frac{n \cdot P_{\text{giriş}}}{T_{\text{giriş}} \cdot R_{\text{gaz}}} \cdot \frac{V_{\text{motor}}}{120} \quad (3.22)$$

$$T_{\text{giriş}} = \frac{P_{\text{giriş}} \cdot V_{\text{giriş}}}{(m_{\text{hava}} + m_{\text{EGR}}) \cdot R_{\text{gaz}}} \quad (3.23)$$

$$T_{\text{EGR}} = \left( \frac{P_{\text{giriş}}}{P_{\text{egzoz}}} \right)^{\frac{K_{\text{egzoz}} - 1}{K_{\text{egzoz}}}} \cdot T_{\text{egzoz}} \quad (3.24)$$

$$W_{\text{egzoz}} = W_{\text{gaz giriş}} + W_{\text{ykt}} \quad (3.25)$$

$$P_{\text{egzoz}} = \frac{m_{\text{egzoz}} \cdot R_{\text{egzoz}} \cdot T_{\text{egzoz}}}{V_{\text{egzoz}}} \quad (3.26)$$

$$R_{\text{gaz}} = \frac{R_{\text{hava}} \cdot m_{\text{hava}} + R_{\text{egzoz}} \cdot m_{\text{EGR}}}{m_{\text{hava}} + m_{\text{EGR}}} \quad (3.27)$$

$$c_{v \text{ gaz}} = \frac{c_{v \text{ hava}} \cdot m_{\text{hava}} + c_{v \text{ egzoz}} \cdot m_{\text{EGR}}}{m_{\text{hava}} + m_{\text{EGR}}} \quad (3.28)$$

Tablo 3.1 Sistem Modeli Parametreleri ve Birimleri

PARAMETRE	AÇIKLAMASI	BİRİMİ
$P_{giriş}$	Emme manifoldu basıncı	(Pa)
$V_{giriş}$	Emme manifoldu hacmi	( $m^3$ )
$R_{hava}$	Hava gaz sabiti	(J/kg · K)
$c_{p\ hava}$	Hava sabit basınç özgül ısısı	(J/kg · K)
$c_{v\ hava}$	Hava sabit hacim özgül ısısı	(J/kg · K)
$R_{egzoz}$	Egzoz gazı gaz sabiti	(J/kg · K)
$c_{p\ egzoz}$	Egzoz gazı sabit basınç özgül ısısı	(J/kg · K)
$c_{v\ egzoz}$	Egzoz gazı sabit hacim özgül ısısı	(J/kg · K)
$R_{gaz}$	Emme manifoldu hava ve gaz karışımı gaz sabiti	(J/kg · K)
$c_{p\ gaz}$	Hava ve gaz karışımı sabit basınç özgül ısısı	(J/kg · K)
$c_{v\ gaz}$	Hava ve gaz karışımı sabit hacim özgül ısısı	(J/kg · K)
$K_c$	Özgül ısılar oranı	( $c_p/c_v$ )
$W_{HAS}$	Hava akış sensöründen geçen havanın akış kütlesi	(kg/sn)
$W_{EGR}$	EGR'den emme manifolduna egzoz gazı akış kütlesi	(kg/sn)
$T_{EGR}$	EGR valfinden geçen egzoz gazının sıcaklığı	(K)
$W_{gaz\ giriş}$	Silindirlere giren hava gaz karışımının akış kütlesi	(kg/sn)
$T_{giriş}$	Emme manifoldu giriş sıcaklığı	(K)
$m_{hava\ giriş}$	Emme manifoldundaki havanın kütlesi	(kg)
$m_{EGR}$	Emme manifolduna EGR'den geçen egzoz gazı kütlesi	(kg)
$W_{egzoz}$	Silindirlere egzoz gazı akışının kütlesi	(kg/sn)
$m_{egzoz}$	Egzoz manifoldundaki egzoz gazının kütlesi	(kg)
$P_{egzoz}$	Egzoz manifoldu basıncı	(Pa)
$T_{egzoz}$	Egzoz manifoldu sıcaklığı	(K)

Tablo 3.1'in devamı

PARAMETRE	AÇIKLAMASI	BİRİMİ
$W_{ykt}$	Silindirlere püskürtülen yakıtın akış kütlesi	( $kg/sn$ )
$n$	Motor devri	( $d/dk$ )
$V_{motor}$	Silindir hacmi	( $m^3$ )
$A_{EGR}$	EGR valfi efektif yüzey alanı	( $m^2$ )
$V_{egzoz}$	Egzoz manifoldunun hacmi	( $m^3$ )
$P_{atm}$	Atmosfer basıncı	( $Pa$ )
$W_{turbo}$	Turbonun türbin tarafından egzoz gazının akış kütlesi	( $kg/sn$ )

### 3.6.4 Arıza Tiplerinin Belirlenmesi

Örnek hava emme manifoldu sisteminde, aşağıda belirtilen 5 arıza durumu için arıza tipleri ele alınmıştır. Sistemde her seferinde tek bir arızanın meydana geldiği kabul edilmiştir.

- $NF$  : Arıza yok
- $FH$  : Manifold hava kaçağı arızası
- $F_A$  : Manifold hava akış sensörü arızası
- $F_B$  : Manifold hava basınç sensörü arızası
- $F_{EGR}$  : EGR valfinin kapalı durumda sıkışmış olarak kalması.

Sistemin tüm arıza tiplerinin kümesi :  $\Omega = \{ FN, FH, F_A, F_B, F_{EGR} \}$

### 3.6.5 Arıza Modellerinin Oluşturulması

#### 3.6.5.1 Arızasız Durum Modeli

Hava emme manifoldu ve EGR valf sisteminin arızasız çalışma durumu için Bölüm 4.6.2.1’de açıklanan formüller geçerlidir. Bu formüller ilave olarak sensörlerde ve EGR referans konumunda herhangi bir arıza bulunmamaktadır.

$$W_{HAS, sensör} = W_{HAS} \quad (3.29-a)$$

$$T_{giriş, sensör} = T_{giriş} \quad (3.29-b)$$

$$P_{giriş, sensör} = P_{giriş} \quad (3.29-c)$$

$$n_{sensör} = n \quad (3.29-d)$$

$$P_{atm, sensör} = P_{atm} \quad (3.29-e)$$

$$A_{EGR} = A_{EGR, ref.} \quad (3.29-f)$$

#### 3.6.5.2 Emme Manifoldu Hava Kaçağı Modeli

Hava kaçağının emme manifoldunda meydana geldiği modellenen sistemde, kompresör ve silindire arasındaki kısımda basıncın ve sıcaklığın büyük ölçüde değişmediği kabul edilmiştir. Ayrıca kaçak miktarının sabit olduğu kabul edilerek (3.17), (3.18), (3.19), (3.20) denklemleri düzenlenirse;

$$P_{giriş} = \frac{R_{gaz, giriş}}{V_{giriş}} \left( c_{p\ hava} \cdot W_{HAS} \cdot T_{çıkı\ hava\ soğ.} + c_{p\ egzoz} \cdot W_{EGR} \cdot T_{EGR} - c_{p\ gaz} (W_{gaz} + W_{kaçak}) \cdot T_{gaz} \right)$$

$$\dot{m}_{hava} = W_{HAS} - \frac{m_{hava}}{m_{hava} + m_{EGR}} (W_{gaz} + W_{kaçak})$$

$$\dot{m}_{EGR} = W_{EGR} - \frac{m_{EGR}}{m_{hava} + m_{EGR}} (W_{gaz} + W_{kaçak})$$

$$W_{kaçak} = \frac{A_{kaçak} \cdot P_{giriş}}{\sqrt{R_{gaz} \cdot T_{giriş}}} \psi_{K, hava} \left( \frac{P_{atm}}{P_{giriş}} \right)$$

Sistemde hava kaçağı dışında başka bir arıza bulunmamaktadır.

### 3.6.5.3 Emme Manifoldu Hava Akış Sensörü Arızası Modeli

Hava debisi, hava emme manifoldu sisteminin girdi değerlerinden olup, hava akış sensörünün arızası gerçek sistemin girdi sinyaline tesir eder. Hava akış sensörünün gerçek sistemdeki girdi değerinin  $u_{g,HAS}$ , sistem modeli girdi değeri  $u_{m,HAS}$  ve arıza katsayısı  $\theta_{HAS}$  olarak ifadesi;

$$u_{g,HAS} = \theta_{HAS} \cdot u_{m,HAS} \quad (3.30)$$

Hava akış sensörü girdi değeri dikkate alınarak, hava emme manifoldu sistem fonksiyonu genel ifadesi;

$$F = f \left( x, \begin{pmatrix} \theta_{HAS} \cdot u_{m,HAS} \\ \vdots \\ u \end{pmatrix} \right) \quad (3.31)$$

### 3.6.5.4 Emme Manifoldu Hava Basınç Sensörü Arızası Modeli

Hava akış sensörü arızasındaki gibi; hava basınç sensörünün sinyali de hava emme manifoldu sisteminin girdi değerlerinden olup, girdi değerinin, sistem modeli girdi değeri ve arıza katsayısı olarak ifadesi;

$$u_{g,HBS} = \theta_{HBS} \cdot u_{m,HBS} \quad (3.32)$$

Hava basınç sensörü girdi değeri dikkate alınarak, hava emme manifoldu sistem fonksiyonu genel ifadesi;

$$F = f \left( x, \begin{pmatrix} \theta_{HBS} \cdot u_{m,HBS} \\ \vdots \\ u \end{pmatrix} \right) \quad (3.33)$$

### 3.6.5.5 EGR Valfi Arızası Modeli

EGR valfinin kapalı konumda sıkışması durumunda, emme manifolduna egzoz gazı geçişi olmayacaktır. Buna göre EGR valfi arıza modeli için yalnızca  $A_{EGR} = 0$  olacaktır.

### 3.6.6 Arıza Kümelerinin Oluşturulması

Sistemde her seferinde bir arıza meydana geldiği kabulü dikkate alınarak; belirlenen arıza tiplerine göre arıza kümeleri aşağıdadır:

$$M_1^0 = \{NF\}, M_2^0 = \{NF, F_A\}, M_3^0 = \{NF, F_B\}, M_4^0 = \{NF, FH\}, M_5^0 = \{EGR\}, \\ M_2^1 = \{F_A\}, M_3^1 = \{F_B\}, M_4^1 = \{FH\}$$

### 3.6.7 Sapma Değerinin Belirlenmesi

$M_1^0 = \{NF\}$  ve  $M_5^0 = \{EGR\}$  arıza kümeleri için sapma değeri;

$$\varepsilon(t) = P_{giriş}(t) - \hat{P}_{giriş}(t) \quad (3.34)$$

Burada; emme manifoldu basınç değeri  $P_{giriş}(t)$  sistemde örnek zaman aralığında ölçülen değer,  $\hat{P}_{giriş}(t)$  değeri ise model sistemden arızasız durum için hesaplanan değerdir.

$FH$ ,  $F_A$  ve  $F_B$  için sırasıyla  $\theta_{MH}$ ,  $\theta_{HAS}$  ve  $\theta_{HBS}$  arıza faktörleridir. Arıza faktörleri genel olarak  $\theta_k$  şeklinde ifade edilirse, her bir arıza faktörü için sapma değeri ( $\varepsilon$ ) hesaplanır.

$$\varepsilon_k(t|\theta_k) = P_{giriş}(t) - \hat{P}_{giriş,k}(t|\theta_k) \quad (3.35)$$

Sapma miktarları kullanılarak hesaplanan test fonksiyonu ile her bir arıza durumu için eşik değerleri karşılaştırılır ve hipotez geçerlilik bölgeleri, buna bağlı olarak arıza kümeleri ve arıza tipi belirlenir.

$$T_k(\dot{x}) \geq J_k \quad H_k^0 \text{ Geçerlidir.}$$

$$T_k(\dot{x}) < J_k \quad H_k^0 \text{ Geçerli değildir.}$$

#### 4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Motorlu taşıtların güç kaynağı karakteristiklerinin arızalarının belirlenmesinde diagnostik sistemlerin kullanımı araştırılmıştır. Elektronik yönetim sistemi ile kumanda edilen dizel motorların, işletme karakteristiklerindeki arızaları belirlemek için kullanılan diagnostik sistemlerin çalışma sistematiği ve bir arızayı nasıl tespit ve teşhis ettiği incelenmiştir.

Diagnostik arıza incelemesinin temelini modelleme esaslı yöntem yaklaşımıyla sistem ve arıza modellerinin oluşturulmasına, hipotez testlerine dayanmaktadır.

Modelleme esaslı yöntemde; ele alınan bir sistemin karakteristiklerine ait değerlerin, sistemin modeli oluşturularak elde edilen değerlerle sapma gösterip göstermediği incelenmektedir. Herhangi bir karakteristik değerdeki sapma nedeniyle ortaya çıkan fark belirlenmektedir. Test fonksiyonu ile minimize edilen sapmanın, arıza eşiği değerleri ile karşılaştırılması yapılarak arızanın tipi belirlenmektedir.

Taşıt ve motor endüstrisi açısından modelleme esaslı yöntemin;

- Nesnel olarak karmaşık sistemlerin incelenmesine,
- Alt sistem incelemesinin yapılarak, problemlerin kısmi çözümlerinin oluşturulmasına,
- Oluşturulan modeller gerektiğinde aynı yapıdaki farklı girdi değerlerine göre işletme karakteristiklerinin incelenmesine,
- Farklı arızalar için modeller oluşturabilmesine,
- Sistem arıza analizinden başka, dinamik sistem tasarımına ve parametrelerinin incelenebilmesine,
- Alt modellerle oluşturulacak veri tabanlarının, tasarım aşamasında farklı sistem konfigürasyonlarının oluşturulmasına ve böylelikle fiziksel prototipe ihtiyacı en alt seviyeye indirilmesine,



- Bir motor veya taşıtın henüz tasarım aşamasındayken karşılaşılacak problem veya arızaların tespit edilebilmesine,
- Zaman ve maliyet tasarrufuna imkân sağladığı değerlendirilmiştir.

Gerek harici olarak arıza tespit ve teşhisi yapan, gerekse sistem parametrelerini gerçek zamanlı olarak takip eden araç üstü diagnostik sistemler, taşıt teknolojisinde güç kaynağı karakteristiklerinin belirlenmesinde kritik öneme haizdir.

## KAYNAKLAR

- [1] Cassanelli G., Fantini F., Serra S., "Reliability in automotive electronics: a case study applied to diesel engine control", *PERGAMON, Microelectronics Reliability* 43, (2003), 1411- 1416.
- [2] Glielmo L., Vasca F., Rossi C., "Architecture for Electronic Control Unit Tasks in Automotive Engine Control", International Symposium on Computer-Aided Control System Design, Anchorage, Alaska, USA, (2000),1-6.
- [3] Kuang B., Wang Y., Lin Tan Y., "Controller Design for Diesel Engine Systems", *IEEE, 0-7803-6338-8/00/*, (2000).
- [4] Isermann R. and Müller N., "Design of computer controlled combustion engines", *PERGAMON, Mechatronics*, 13, (2003) 1067- 1089.
- [5] Yang G. and Zaghata Z., "Robust Reliability Design of Diagnostic Systems", Annual Reliability and Maintainability Symposium, Michigan, USA, (2003).
- [6] Struss P. and Price C., "Model-Based Systems in the Automotive Industry", American Association for Artificial Intelligence, 0738-4602-2003, (2003) 1-18.
- [7] Sachenbacher M., Struss P., Weber R., "Advances in Design and Implementation of OBD Functions for Diesel Injection based on a Qualitative Approach to Diagnosis", SAE 2000 World Congress, Detroit, USA, (2000), 23-32.
- [8] Jaw, L. C. and Wang W., "Mathematical formulation of model-based methods for diagnostics and prognostics", ASME Turbo Expo 2006: Power for Land, Sea and Air, Barcelona, Spain, (2006).
- [9] Ohata A. and Furuta K., "Integration of Physical and Statistical Models for Automotive Engine Control", International Conference on Control Applications, Munich, Germany, (2006).

[10] Nyberg M. and Stutte T., "Model based diagnosis of the air path of an automotive diesel engine", *Elsevier*, doi:10.1016/S0967-0661(03)00120-5, (2003).

[11] Olofsson N., Evaluation of observers for fault diagnosis on an automotive engine, M. Thesis, Linköping University, Linköping, Sweden, (2000).

[12] Nyberg M., Model Based Fault Diagnosis Methods, Theory, and Automotive Engine Applications, M. Thesis, Linköping University, Linköping, Sweden, (1999).