

Elektronik Kontrollü Dizel Motorlarda
Performans Arttırımı

Serkan Mahir

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran 2007

Performance Improvement Of Electronic
Controlled Diesel Engines

Serkan Mahir

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Mechanical Engineering

June 2007

Elektronik Kontrollü Dizel Motorlarda
Performans Arttırımı

Serkan Mahir

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı
Enerji Termodinamik Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. Kemal Taner

Haziran 2007

Serkan Mahir' in YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Elektronik Kontrollü Dizel Motorlarda Performans Arttırımı” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Üye : Prof. Dr. Kemal Taner

Üye : Doç.Dr. Haydar Aras

Üye : Doç.Dr. Neşe Öztürk

Üye : Yrd. Doç. Dr. İrfan Üreyen

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ramazan Uğurlubilek

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Abdurrahman KARAMANCIOĞLU

Enstitü Müdürü

ELEKTRONİK KONTROLLÜ DİZEL MOTORLARDA PERFORMANS ARTTIRIMI

SERKAN MAHİR

ÖZET

Günümüzde dizel motorlar endüstriyel hayatta yaygın olarak kullanılmaktadır. Piyasa koşullarındaki rekabetçi ortam ve yüksek enerji maliyetleri sebebiyle motor performansı optimize edilmeye çalışılmaktadır. Bu amaç doğrultusunda gelişen teknoloji ile birlikte hayatımıza giren elektronik sistemlerin kullanımı hızla yaygınlaşmaktadır.

Bu çalışmada, dizel motorlar incelenerek motor performansını etkileyen parametreler belirlenerek açıklanmıştır. Elektronik kontrollü dizel motorlarda bu parametrelerin nasıl kontrol edildiği üzerinde durulmuştur. Örnek elektronik kontrollü dizel motorda belirtilen parametreler (avans açısı, silindir içi yanma basıncı, yakıt basıncı, giriş hava basıncı, yakıt miktarı...) hazırlanan değerler ile motorun karakteristiğinin gözlenebileceği çalışma koşullarında incelenmiştir. Deney tasarımı yapılarak incelenen parametreler değiştirilerek yanma optimizasyonu sağlanarak motorun birim yakıt tüketimi başına verdiği tork değeri arttırılmaya çalışılmıştır. Motorun maksimum performansını minimum yakıt tüketimi ile elde edileceği bu değerler belirlenmiştir. Belirlenen değerler matematiksel eşitlik kurularak formüle edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dizel Motorlarda Yanma Optimizasyonu

İçten Yanmalı Motorlarda Silindir içi Basınç Değişimi

Motorlarda Birim Yakıt Tüketiminin Azaltılması

PERFORMANCE IMPROVEMENT OF ELECTRONIC CONTROLLED DIESEL ENGINES

SERKAN MAHİR

SUMMARY

Today's World, Diesel engines are commonly used in industrial applications. Increase cost of energy and competition in industry, performance of diesel engines are tried to be optimized. According to the aim, application of electronic systems in diesel engines become widespread.

In this study, diesel engines were analyzed and the effective parameters on diesel engines performance were analyzed. The parameter control on electronic controlled diesel engines was explained. On a sample engine, the given parameters (degree of crankshaft for primary injection, peak fire pressure (pfp), fuel pressure, boost pressure, fuel quantity...) were analyzed on test cells to define engine characterization. With a design of experiment, specific fuel consumption of engine was decreased by changing the parameters. The parameters which supply the maximum specific fuel consumption (SFC) values were determined. The determined parameters were formulized by mathematical equations.

Keywords: Combustion Optimization In Diesel Engines

The Change Of Peak Fire Pressure In Internal Combustion Engines

Specific Fuel Consumption Decrease In Engines

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans çalışmalarında, gerek derslerimde ve gerekse tez çalışmalarında, bana danışmanlık ederek, beni yönlendiren ve her türlü olanağı sağlayan danışmanım sayın Prof. Dr. KEMAL TANER'e içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER**Sayfa**

ÖZET	V
SUMMARY	Vi
TEŞEKKÜR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	XVII
ÇİZELGELER DİZİN	IXX
ŞEKİLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XXII
1.GİRİŞ VE AMAÇ	1
2.İÇTEN YANMALI MOTORLAR	2
2.1. İçten Yanmalı Motorların Tarihçesi	2
2.2. İçten Yanmalı Motorların Sınıflandırılması	3
2.2.1 Silindir düzenlemesine göre	3
2.2.2 Çalışma zamanlarına göre	3
2.2.3 Ateşleme türüne göre	3
2.2.4 Karışımın oluşumuna göre	4
2.2.5 Soğutma yöntemine göre	4
2.2.6 Temel hareketin elde edilmiş şekline göre	4

İÇİNDEKİLER(devam)**Sayfa**

2.2.7 Supap düzenine göre	4
2.2.8 Havanın silindirlere doldurulma şekline göre	4
2.2.9 Yakıt türüne göre	4
2.3. Temel Çevrimlerin İncelenmesi	5
2.3.1 Otto çevrim	5
2.3.2 Dizel çevrim	5
3. MOTOR KARAKTERİSTİĞİNİN BELİRLENMESİ.....	7
3.1 Motor Karakteristiğini Belirten Temel Kavramlar.....	7
3.1.1 İndike güç.....	7
3.1.2 Özgül yakıt sarfiyatı.....	8
3.1.3 Ortalama indike basınç.....	8
3.1.4 İndike verim.....	8
3.1.5 Ortalama efektif basınç.....	8
3.1.6 Mekanik verim.....	8
3.1.7 Efektif verim.....	8
3.1.8 Motorun güç eğrilerinin incelenmesi.....	9
3.2 Motor Yakıtının Özellikleri.....	10

İÇİNDEKİLER(devam)**Sayfa**

3.2.1 Vuruntumukavemeti.....	11
3.2.2 Uçuculuk.....	11
3.2.3 Vizkozite	11
3.2.4 Yakıt ve yanma ürünlerinin korozitif özelliği.....	11
3.2.5 Tortu miktarı.....	11
3.2.6 Çinkoya karşı aktivitesi	12
3.2.7 Akma noktası - Donma noktası	12
3.2.8 Alevlenme noktası.....	12
3.2.9 Yakıtın özgül ağırlığı.....	12
3.3 Yanmanın Kimyasal Olarak İncelenmesi.....	10
3.3.1 Yanmanın Temel Olarak İncelenmesi.....	11
4.GENEL YAKIT PÜSKÜRTME YÖNTEMLERİ.....	14
4.1 Yakıt Sistemleri.....	14
4.1.1 Yakıtın yüksek basınçta püskürtülmesi.....	14
4.1.2 Püskürtülen yakıt miktarının tam olarak ölçülebilmesi.....	14

İÇİNDEKİLER(devam)**Sayfa**

4.2 Yakıt Sistemine Yardımcı Diğer Sistemler.....	16
4.2.1 Hava emiş sistemi.....	16
4.2.2 Soğutma sistemi.....	18
5. DİZEL MOTORLARDA ELEKTRONİK KONTROL.....	19
5.1 Motorlarda Elektronik Kontrol.....	19
5.1.1 Mikro işlemcili kontrol sistemi.....	19
5.1.2 Giriş elemanı.....	20
5.1.3 Mikro işlemci.....	20
5.1.4 Mikrobilgisayarlar.....	21
5.1.5 Hafıza haritaları.....	23
5.2 Günümüz Motorlarında Elektronik Kontrol ve Yakıt Sistemi	23
5.2.1 Alçak basınç hattı.....	25
5.2.2 Yüksek basınç hattı	25
6. DENEYSEL ÇALIŞMADA KULLANILAN MOTOR.....	27
6.1. Motora Ait Genel Bilgiler.....	27

İÇİNDEKİLER(devam)**Sayfa**

6.2 Motorun Temel Kontrol Parametreleri ve Açıklaması.....	30
6.3 Yakıt Sisteminin Ayrıntılı Olarak İncelenmesi.....	31
6.3.1Püskürtme zaman haritaları.....	31
6.3.2Püskürtme süre haritaları.....	32
6.3.3Püskürtme basınç haritaları.....	32
6.3.4 Püskürtme sürdürülebilirlik haritaları.....	32
6.3.5 Sınırlama parametreleri.....	32
6.4MotorKalibrasyonAdımları.....	33
6.4.1 Motorun temel karakteristiğinin belirlenmesi	33
6.4.2Belirlenen noktalarda istenilen torkun veya gücün sağlama.....	34
6.4.3 Sınırlama haritaları ile motorun herhangi arıza moduna karşı koruma	40
7. DENEYSEL ÇALIŞMALARDA KULLANILACAK EKİPMANLAR.....	44
7.1. Testin Yapılacağı Dinamometreye Ait Bilgiler.....	44
7.2 Silindir İçi Basınç Ölçümü İçin Sensör ve Ara yüzün Temel Çalışma Prensibi..	50
7.2.1 Silindir içi basıncın ölçülmesi öncesi hazırlıklar.....	50

İÇİNDEKİLER(devam)**Sayfa**

8. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	55
8.1. İzlenecek Yöntem.....	55
8.2. Motorun Mevcut Çalışma Koşullarının Belirlenmesi.....	56
9.DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA.....	59
9.1. Ölçüm Sonuçları.....	59
9.2 Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması ve Denemelerdeki Temel Kriter.....	63
9.2.1 2400 rpm motor devri %100 yük durumunda	63
9.2.2 2400 rpm motor devri %50 yük durumunda	63
9.2.3 2200 rpm motor devri %100 yük durumunda	64
9.2.4 2200 rpm motor devri %50 yük durumunda	64
9.2.5 2000 rpm motor devri %100 yük durumunda	64
9.2.6 2000 rpm motor devri %50 yük durumunda	64
9.2.7 1800 rpm motor devri %100 yük durumunda	65
9.2.8 1800 rpm motor devri %50 yük durumunda	65
9.2.9 1600 rpm motor devri %100 yük durumunda	65
9.2.10 1600 rpm motor devri %50 yük durumunda	65
9.2.11 1450 rpm motor devri %100 yük durumunda	65
9.2.12 1450 rpm motor devri %50 yük durumunda	66

İÇİNDEKİLER(devam)

Sayfa

9.2.13	1300 rpm motor devri %100 yük durumunda	66
9.2.14	1300 rpm motor devri %50 yük durumunda	66
9.3	Ölçüm Sonuçlarına Göre Optimizasyon.....	67
9.3.1	2400 rpm motor devri %100 yük çalışma durumuna göre	67
9.3.2	2400 rpm motor devri %50 yük çalışma durumuna göre	68
9.3.3	2200 rpm motor devri %100 yük çalışma durumuna göre	69
9.3.4	2200 rpm motor devri %50 yük çalışma durumuna göre.....	70
9.3.5	2000 rpm motor devri %100 yük çalışma durumuna göre	71
9.3.6	2000 rpm motor devri %50 yük çalışma durumuna göre	72
9.3.7	1800 rpm motor devri %100 yük çalışma durumuna göre	73
9.3.8	1800 rpm motor devri %50 yük çalışma durumuna göre	74
9.3.9	1600 rpm motor devri %100 yük çalışma durumuna göre	75
9.3.10	1600 rpm motor devri %50 yük çalışma durumuna göre	76
9.3.11	1450 rpm motor devri %100 yük çalışma durumuna göre	77
9.3.12	1450 rpm motor devri %50 yük çalışma durumuna göre	78
9.3.13	1300 rpm motor devri %100 yük çalışma durumuna göre	79
9.3.14	1300 rpm motor devri %50 yük çalışma durumuna göre	80
9.4	Ölçüm Sonuçlarını Matematiksel ve İstatistiksel İncelenmesi.....	82
9.4.1	2400 rpm motor devri tüm pedal pozisyonları	82
9.4.2	2200 rpm motor devri tüm pedal pozisyonları	83

İÇİNDEKİLER(devam)**Sayfa**

9.4.3	2000 rpm motor devri tüm pedal pozisyonları	83
9.4.4	1800 rpm motor devri tüm pedal pozisyonları	84
9.4.5	1600 rpm motor devri tüm pedal pozisyonları	85
9.4.6	1450 rpm motor devri tüm pedal pozisyonları	86
9.4.7	1300 rpm motor devri tüm pedal pozisyonları	86
10.	SONUÇLARIN İNCELENMESİ.....	88
11.	KAYNAKLAR DİZİNİ.....	89

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 Örnek bir indike güç diyagramı	7
3.2 Örnek $b_e - p_{me}$ eğrisi	9
3.3 Örnek bir motor için performans eğrisi	10
4.1 Örnek bir motor için her iki yöntemin karşılaştırılması	15
4.2 Turbo şarj sistemi.....	17
5.1 Örnek mikro işlemci genel görünümü	19
5.2 Örnek mikro işlemci içyapısı	20
5.3 Açık devre kontrol sistemi genel gösterim.....	21
5.4 Kapalı devre kontrol sistemi genel gösterim	21
5.5 Merkezi kumanda birimi girdi ve çıktılar genel gösterimi.....	24
5.6 Örnek bir motorun elektronik kontrolünün genel gösterimi.....	25
6.1 Motorun ön görünüş kesit resmi	29
6.2 Yakıt sistemi şematik gösterimi	30
6.3 İncelenecek olan motorun temel tork ve güç eğrisi.....	34
7.1 Zölner tipi dinamometre genel görünüm	45
7.2 Dinamometre bağlı motor ve odanın genel görünümü.....	46
7.3 Dinamometre yakıt ölçüm cihazı genel görünüm.....	47
7.4 Egzoz gazları ölçüm cihazı.....	48
7.5 Duman cihazı genel görünüm.....	49
7.6 Blow by ölçüm cihazı genel görünüm.....	50
7.7 Silindir içi basınç ölçüm için kullanılan sensör ve adaptör.....	51
7.8 Basınç ölçüm sensörünün adaptör içerisindeki görünümü.....	52
7.9 Motorun üzerinde sensörün bağlandığı hal genel görünüm.....	52
7.10 Krank mili açısı ölçme amaçlı aparat genel görünüm.....	53
7.11 Ölçüm amaçlı sensör bilgisayar bağlantı ara yüz genel görünüm.....	54
7.12 Pfp sensör motor üzerinde genel görünüm.....	54
8.1 İncelenecek motordaki kritik noktaların belirlenmesi.....	56
9.1 2400 rpm %100 yük ölçüm değerleri SFC grafiği.....	68

ŞEKİLLER DİZİNİ(devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
9.2 2400 rpm %50 yük ölçüm değerleri SFC grafiği.....	69
9.3 2200 rpm %100 yük ölçüm değerleri SFC grafiği	70
9.4 2200 rpm %50 yük ölçüm değerleri SFC grafiği.....	71
9.5 2000 rpm %100 yük ölçüm değerleri SFC grafiği.....	72
9.6 2000 rpm %50 yük ölçüm değerleri SFC grafiği	73
9.7 1800 rpm %100 yük ölçüm değerleri SFC grafiği	74
9.8 1800 rpm %50 yük ölçüm değerleri grafiği.....	75
9.9 1600 rpm %100 yük ölçüm değerleri SFC grafiği.....	76
9.10 1600 rpm %50 yük ölçüm değerleri SFC grafiği.....	77
9.11 1450 rpm %100 yük ölçüm değerleri SFC grafiği.....	78
9.12 1450 rpm %50 yük ölçüm değerleri SFC grafiği	79
9.13 1300 rpm %100 yük ölçüm değerleri SFC grafiği.....	80
9.14 1300 rpm %50 yük ölçüm değerleri SFC grafiği	81

TABLOLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Ottove dizel çevrim 4 motor zamanı için karşılaştırılması.....	6
3.1 Bazı yakıt türleri için ısııl değeri	9
6.1 Örnek motorun teknik özellikleri.....	27
6.2 Örnek bir krank açısı tablosu.....	36
6.3 Örnek gaz pedalı kalibrasyonu.....	37
6.4 Egzoz salınım değeri tablosu	37
6.5 Örnek yakıt basıncı tablosu.....	39
6.6 Örnek gaz pedalı kalibrasyon tablosu	39
6.7 Örnek dişli koruma haritası.....	40
6.8 Motor koruma modu haritalar.....	41
6.9 Duman değeri sınırlama haritaları.....	42
7.1. Dinamometre genel özellikleri.....	56
8.1 Ölçülen değerler.....	69
9.1 145 bar pfp ile tüm ölçüm sonuçları.....	71
9.2 150 bar pfp ile tüm ölçüm sonuçları.....	72
9.3 155 bar pfp ile tüm ölçüm sonuçları.....	72
9.4 160 bar pfp ile tüm ölçüm sonuçları.....	73
9.5 165 bar pfp ile tüm ölçüm sonuçları.....	73
9.6 170 bar pfp ile tüm ölçüm sonuçları	74
9.7 175 bar pfp ile tüm ölçüm sonuçları.....	74
9.8 180 bar pfp ile tüm ölçüm sonuçları.....	75
9.9 2400 rpm %100 yük ölçüm değeri tablosu.....	79
9.10 2400 rpm %50 yük ölçüm değeri tablosu.....	80
9.11 2200 rpm %100 yük ölçüm değeri tablosu.....	81
9.12 2200 rpm %50 yük ölçüm değeri tablosu.....	82
9.13 2000 rpm %100 yük ölçüm değeri tablosu.....	83
9.14 2000 rpm %50 yük ölçüm değeri tablosu.....	84
9.15 1800 rpm %100 yük ölçüm değeri tablosu.....	85

TABLOLAR DİZİNİ(devam)

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
9.16 1800 rpm %50 yük ölçüm değerleri tablosu.....	86
9.17 1600 rpm %100 yük ölçüm değerleri tablosu.....	87
9.18 1600 rpm %50 yük ölçüm değerleri tablosu.....	88
9.19 1450 rpm %100 yük ölçüm değerleri tablosu.....	89
9.20 1450 rpm %50 yük ölçüm değerleri tablosu.....	90
9.21 1300 rpm %100 yük ölçüm değerleri tablosu.....	91
9.22 1300 rpm %50 yük ölçüm değerleri tablosu.....	92
9.23 Örnek motor için değişik devir ve yüke göre ideal çalışma parametreler.....	93
9.24 2400 rpm denklem girdilerinin çözünürlüğe etkisi.....	94
9.25 2200 rpm denklem girdilerinin çözünürlüğe etkisi.....	95
9.26 2000 rpm denklem girdilerinin çözünürlüğe etkisi.....	96
9.27 1800 rpm denklem girdilerinin çözünürlüğe etkisi.....	97
9.28 1600 rpm denklem girdilerinin çözünürlüğe etkisi.....	97
9.29 1450 rpm denklem girdilerinin çözünürlüğe etkisi.....	98
9.30 1300 rpm denklem girdilerinin çözünürlüğe etkisi.....	99

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Acıklama</u>
b_i	Özgül Yakıt Sarfıyatı(g/kWh)
$c_{p,Eg}$	Egzoz Gazlarının Özgül Isısı
$c_{p,S}$	Soğutucu Akışkanın Özgül Isısı
H_e	Birim Zamanda Atılan Egzoz Entalpisi
$E_{E,K}$	Birim Zamanda Egzoz Gazlarının Taşıdığı Kinetik Enerji
$H_{E,EY}$	Birim Zamanda Eksik Yanma İle Kimyasal Enerji Kaybı
$H_{E,H}$	Birim Zamanda Egzoz Gazları İle Atılan Hissedilebilir Entalpi
H_G	Birim Zamanda Yakıt İle Giren Toplam Enerji(entalpi)
H_o	Silindirde Birim Zamanda Oluşan Enerji
H_u	Yakıtın Isıl Değeri(kJ/kg)
i	Çevrim/Devir
k	Adyabatik Üst Katsayısı
m_{Eg}	Egzoz Gazlarının Debisi
m_S	Soğutucu Akışkan Debisi
m_{top}	Birim Zamanda Giren Toplam Kütle
m_y	Birim Zamandaki Yakıt Miktarı(kg/sn)
n	Devir/Saniye
$n_ç$	Motor Devir Sayısı(rpm)
P	Basınç
P_e	Efektif Güç
P_f	Toplam Sürtünme Gücü
P_{fp}	Piston Sürtünme Gücü
P_i	İndike Güç
P_i	İndike Güç(kW)
P_{me}	Ortalama Efektif Basınç(Pa)
P_{mi}	Ortalama İndike Basınç(Pa)
p_o	Referans Basıncı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ(devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Acıklama</u>
$Q_{E,R}$	Egzoz Sistemi İle Birim Zamanda Radyasyonla Kaybedilen Enerji
Q_s	Birim Zamanda Soğutucu Akışkana Giden Enerji
$Q_{s,e}$	Egzoz Portlarında Birim Zamanda Soğutucu Akışkana Geçen Enerji
Q_w	Silindir Cidarından Olan Birim Zamandaki Isı Kaybı.
q_{giren}	Giren Birim Isı
$q_{çıkan}$	Çıkan Birim Isı
Q_D	Birim Zamanda Toplam Enerjiden Arta Kalan Diğer Isı Miktarı
Q_m	Birim Zamanda Mekanik Kayıplarla Isıya Dönüşerek Kaybolan Enerji
Q_{min}	Stokiyometrik Yanma Olması Durumundaki Katsayıdır
Q_s	Birim Zamanda Soğutucu Akışkana Sevkedilen Enerji
Q_{Si}	Birim Zamanda İndike Olaylarda Soğutucu Akışkana Sevkedilen Enerji
r_v	Hacim Artış Oranı
s	Entropi
T	Sıcaklık
T_{Eg}	Egzoz Gazlarının Sıcaklığı
$T_{s,ç}$	Soğutucu Akışkanın Çıkış Sıcaklığı
$T_{s,G}$	Soğutucu Akışkanın Giriş Sıcaklığı
v	Özgül Hacim
V_H	Motorun Toplam Strok Hacmi(cm^3)
V_H	Toplam Strok Hacmi(m^3)
W	H_2O Bileşiğinin Katsayısı
W_{net}	Net İş
x_r	Havanın Nem Oranı
z	Silindir Sayısı
η_t	Verim Oranı
η_i	İndike Verim(%)
η_m	Teorik Adyabatik Verim

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ(devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Acıklama</u>
η_i	İndike Verim
η_M	Mekanik Verim
η_o	Organik Verim(İyilik Derecesi)
η_e	Efektif Verim
ρ_y	Yakıtın Özgöl ağırlığı(kg/cm ³)
λ_y	Yanma Verimi
Δt	Zaman(sn)
ΔV_y	Birim Zamandaki Yakıt Hacmi(cm ³ /sn)

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Dünyada ve ülkemizde otomotiv sektörü özellikle son 20 yılda önemli bir gelişme göstermiştir. Bilgisayar teknolojisinin gelişmesi ile birlikte otomotiv sektörü de bu gelişmeyle birlikte değişim sürecine girmiştir. Dizel motorlarda yaklaşık 20. yy. başından beri temel olarak değişmeyen mekanik tasarım ve klasik kontrol yöntemleri de bu değişimden etkilenmiştir. Klasik kontrolün yerine elektronik kontrol olarak dizel motorlar “ Elektronik Dizel Motorlar” olarak adlandırılmaya başlanmıştır.

Günümüz tüketicisinin ilk sıradaki isteğinin iyi motor performansının yanında düşük yakıt tüketimi olduğu görülmektedir. Dizel motorların ilk gelişiminden günümüze dizel motor teknolojisi incelendiğinde gelişim sürecinin temelinde motor performansını artırırken yakıt tüketimini minimize etmeye yönelik çalışmaların olduğu görülmektedir. Örnek olarak günümüz motorlarında turbo kompresörün yaygın olarak kullanılması ve bu teknolojinin gelişmesi, motorlarda elektronik kontrole geçilmesi verilebilir.

Günümüz motorlarında gerek performans kontrolünü sağlamak, gerek yakıt tüketim optimizasyonunu sağlamak, gerekse de egzoz salınım normları gibi çeşitli yasal normlar sebebiyle mekanik dizel motorlar elektroniklerle birleştirilerek “ Elektronik Kontrollü Dizel Motorlar” yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada Elektronik Kontrol Ünitesi vasıtasıyla dizel motorların nasıl kontrol edildiğini ve motor karakteristiğinin bundan nasıl etkilendiği açıklanacaktır. Örnek bir dizel motorun öncelikle mevcut çalışma durumunu ve motor karakteristiğini belirleyen temel parametrelerin mevcut halleri incelenecektir. Daha sonra yapılacak olan deney tasarımı ile temel motor karakteristiğine etki eden bu parametreler değiştirilerek motorun yakıt tüketiminde ve birim yakıt tüketimiyle ürettiği tork değerindeki değişim gözlemlenecektir. İnceleme sonrasında örnek motorun minimum yakıt tüketimi ile optimum koşullarda çalışabilmesi için incelenen parametrelerde matematiksel eşitlik yazılacaktır.

2. İÇTEN YANMALI MOTORLAR

2.1. İçten Yanmalı Motorların Tarihçesi

İçten yanmalı motorların tarihçesi kronolojik olarak aşağıdaki gibi verilebilir:

- **Fransız Lenoir** ilk çalışan içten yanmalı motoru 1860 yılında icat etti. Kömür gazıyla çalışan bu motorun verimliliği sadece %3 olarak bilinmektedir.
- **Nicolaus August Otto** ve **Eugen Langen** 1867 yılında verimliliği %9 olan bir içten yanmalı motoru Paris Dünya Sergi'sinde sergilediler.
- **Nicolaus August Otto** 1878 yılında ilk 4 zamanlı motoru icat etti. Motorun verimliliği % 15 olarak bilinmektedir.
- **Gottlieb Daimler** ve **Wilhelm Maybach** 1883 yılında ilk sıcak tüp ateşlemeli yüksek devirli 4 zamanlı benzin motoru geliştirdiler.
- **Robert Bosch** 1887 yılında motorlar için elektrikli ateşlemeyi geliştirdi.
- **Wilhelm Maybach** 1893 yılında karbüratörü icat etti. Bu benzinli araçlar için bir dönüm noktası oldu.
- **Rudolf Diesel** 1897 yılında kendi adıyla anılacak olan yüksek basınçla sıkıştırılmış havanın içerisine yine basınçlı hava yardımıyla gazyağı püskürterek çalıştıran bir motor üretti. Üretilen ilk dizel motorun verimi %26 idi. Bu tarihten itibaren özellikle Avrupa pazarında büyük hareketlenmeler oldu.
- Ford Firması ilk motorunu 1898 yılı içerisinde üretti. Bu içten yanmalı motorlarda seri üretime geçilmesi için önemli bir adım oldu.

Bu tarihten itibaren içten yanmalı motorlarda gelişme kaçınılmaz oldu. Bundan sonraki amaç yakıt tüketimini azaltmak, yanma verimliliğini arttırmak ve egzoz salınımlarını düzenlemek yönünde olacaktı. (FordOtosan Eğitim Yayınları, 2003)

İçten yanmalı motorlar incelenen kriterlere göre değişik şekillerde sınıflandırılabilirler.

2.2. İçten Yanmalı Motorların Sınıflandırılması

2.2.1 Silindir düzenlemesine göre

Temel olarak 6 çeşit motor bulunmaktadır.

- Sıralı motor
- V motor
- Yatık motor
- Radyal motor
- U motor
- Karşıt pistonlu motor

2.2.2 Çalışma zamanlarına göre

- 4 zamanlı motor
- Zamanlı motor

2.2.3 Ateşleme türüne göre

- Kıvılcım ateşlemeli benzinli motor
- Sıkıştırma ile tutuşmalı dizel motor

2.2.4 Karışımın oluşumuna göre

- Karbüratörlü motor
- Yakıt püskürtmeli motor

2.2.5 Soğutma yöntemine göre

- Su soğutmalı
- Hava soğutmalı

2.2.6 Temel hareketin elde ediliş şekline göre

- Strok pistonlu motorlar
- Döner pistonlu motorlar
- Türbinli motor
- Jet motoru

2.2.7 Supap düzenine göre

- Üstten supaplı motorlar
- Yandan supaplı motorlar

2.2.8 Havanın silindirlere doldurulma şekline göre

- Doğal emişli motorlar
- Turbo şarjlı motorlar

2.2.9 Yakıt türüne göre

- Benzinli motorlar
- Dizel motorlar
- Doğalgazlı motorlar
- Çok yakıtlı motorlar

2.3. Temel Çevrimlerin İncelenmesi

İçten yanmalı motorlarda temel olarak iki tip çevrim mevcuttur.

2.3.1 Otto çevrim

Yakıt olarak benzin kullanılır. Silindir içine alınan havanın kontrolü gaz kelebeği ile sağlanır. Benzin karbüratörle emme manifoldunda hava ile karıştırılır veya direkt olarak yanma odasına püskürtülür. Karışımın ateşlenmesi için buji kullanılır. Gaz kelebeği kapalı iken silindire giren hava miktarı azalacağı için silindir içi basınç düşer. Silindir içi basıncı kontrol ederek performansı kontrol etmek amacıyla gaz kelebeği kullanılır.

2.3.2 Dizel çevrim

Yakıt olarak genellikle mazot kullanılır. Giriş havasını kontrol eden bir kelebek bulunmaz ve güç silindire gönderilen yakıt miktarı ile kontrol edilir. Yakıt hava karışımını tutuşturmak için mazotun tutuşma sıcaklığının daha yüksek olması sebebiyle daha yüksek sıcaklıklara çıkmak gerekir.

Sıkıştırma oranı benzinli motorlarda 6–12 arasında iken dizel motorlarda 12–26 arasındadır.

4 Zamanlı motor çevrimine göre karşılaştırmalı olarak aşağıdaki gibi verilebilir.

Çizelge 2.1 Otto ve Dizel Çevrim 4 Motor Zamanı İçin Karşılaştırılması

OTTO ÇEVİRİMİ	DİZEL ÇEVİRİMİ
Emme Zamanı	
Piston ÜÖN' dan AÖN' ya doğru hareket ederken yakıt-hava karışımı gaz kelebeği ve açık olan emme supabından geçerek silindire dolar.	Piston ÜÖN' dan AÖN' ya doğru hareket ederken hava açık olan emme supabından geçerek silindire dolar.
Sıkıştırma Zamanı	
Piston AÖN' dan ÜÖN' ya hareket ederken emme ve egzoz supapları da kapalı olduğundan karışımın sıcaklık ve basıncı artar. Sıkıştırma stroğunun sonuna doğru karışım buji ile ateşlenir.	Piston AÖN' dan ÜÖN' ya hareket ederken emme ve egzoz supapları da kapalı olduğundan havanın sıcaklık ve basıncı artar. Sıkıştırma stroğunun sonuna doğru dizel yakıt silindir içerisine püskürtülür.
Genişleme(Güç) Zamanı	
Yanmaya başlayan sıcaklığı ve basıncı artan hava-yakıt karışımının tamamen yanmasıyla yanma odasının basıncı artar. Yüksek basıncın etkisiyle piston yüzeyinde itme kuvveti meydana gelerek piston ÜÖN' dan AÖN' ya hareket eder.	Sıkıştırma stroğunda püskürtülen dizel yakıt buharlaşarak ve hava ile karışarak kendi kendine tutuşur. Yanma sonucu ortaya çıkan yüksek basıncın etkisiyle piston yüzeyinde itme kuvveti meydana gelerek piston ÜÖN' dan AÖN' ya hareket eder.
Egzoz Zamanı	
Pistonun AÖN' ya vardığında egzoz supabı açılır. Piston AÖN' dan ÜÖN' ya hareket ederken açık olan egzoz supabından egzoz gazları dışarıya püskürtülür.	Pistonun AÖN' ya vardığında egzoz supabı açılır. Piston AÖN' dan ÜÖN' ya hareket ederken açık olan egzoz supabından egzoz gazları dışarıya püskürtülür.

Bunların haricinde bir de Karma Çevrim (Seiliger) çevrimi mevcuttur. Bu çevrimde ısı kısmen sabit hacimde, kısmen sabit basınçta verilir. Genel olarak bakıldığında ısı girişi süreci(yanma) hariç dizel çevrime benzer.

3. MOTOR KARAKTERİSTİĞİ

3.1 Motor Karakteristiğini Belirten Temel Kavramlar

Motorun çalışma durumunu, verimini ve diğer özelliklerini tanımlamak için genel geçerliliği olan kavramları aşağıdaki gibi verebiliriz.

3.1.1 İndike güç(İç güç)

Motorda yanma enerjisinin (kimyasal enerjinin) mekanik enerjiye dönüşmesi silindirin içerisinde olduğundan silindirlerin içerisinde pistonun üzerinden alınan güce İndike Güç denir. Motorun P-V diyagramına İndikatör Diyagramı denir.

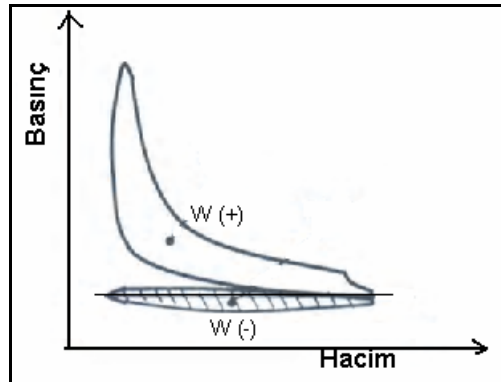
Pozitif iş(W+)

Sıkıştırma ve genleşme stroklarında yapılan pozitif iştir(Nm).

Negatif iş(W-)

Emme ve egzoz zamanlarında yapılan iş, diğer bir deyişle harcanan enerjidir.(Nm) Motorun indike gücü aşağıdaki şekilde gösterilebilir.

$$P_i = z \times n_c \times W_i \quad (22)$$



Şekil 3.1 Örnek bir indike güç diyagramı (Sürmen, A., Karamangil, M. ve Arslan R., 2005)

3.1.2 Özgül yakıt sarfiyatı

Birim motor gücü için harcanan kütleli yakıt miktarıdır.

Aşağıdaki şekilde gösterilebilir:

$$b_i = \frac{(3600 \times m_y)}{P_i} = \frac{(3600 \times \Delta V_y \times \rho_y)}{P_i \times \Delta t} \quad (23)$$

3.1.3 Ortalama indike basınç

Motorda indike gücün elde edilmesi için gerekli olan pistonu etki eden basıncın sabit olduğu varsayılarak sabit kabul edildiği basınçtır.

Ortalama indike basınç aşağıdaki şekilde gösterilebilir.

$$P_{mi} = \frac{z \times W_i}{V_H} = \frac{z \times 1000 \times P_i}{z \times n_c \times V_H} = \frac{W_i}{V_h} = \frac{(1000 \times P_i)}{n_c \times V_H} \quad (24)$$

3.1.4 İndike verim

Net işin bir çevrimde motora verilen Q yakıt enerjisine oranının % biçiminde ifadesidir.

$$\eta_i = \frac{W_i}{Q_y} = \frac{P_i}{m_y \times H_u} = \frac{3600000}{b_i \times H_u} \quad (25)$$

3.1.5 Ortalama efektif basınç

Motorun gerçek çevrimdeki P_e değerini alması için bir strok boyunca piston üzerine etki etmesi gereken sabit basınçtır.

$$P_e = z \times W_e \times n = \frac{W_e}{V_h} \quad (26)$$

3.1.6 Mekanik verim

Silindirdeki sürtünme ve pompalama kayıplarının çıkarılmasıdır.

$$\eta_m = \frac{W_e}{W_i} = \frac{P_e}{P_i} = \frac{b_i}{b_e} = \frac{\eta_e}{\eta_i} \quad (27)$$

3.1.7 Efektif verim

Motor milinden alınan işin motora verilen toplam enerjiye oranıdır.

$$\eta_m = \frac{W_e}{Q_T} = \frac{P_e}{m_y \times H_u} \quad \text{ve} \quad m_y = \frac{b_e \times P_e}{3600}$$

$$H_e = \frac{3600}{b_e \times H_u} \quad m_y(\text{g/s}), b_e(\text{g/kWh}), H_u(\text{J/g}) \text{ dır.} \quad (28)$$

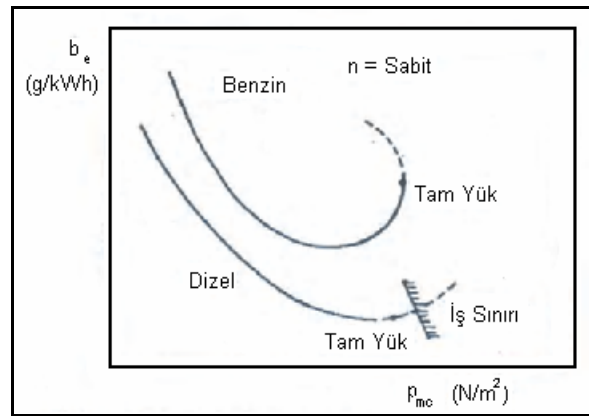
H_u yakıtın ısıl değeri olup kimyasal bir özelliktir. Bazı yakıt türleri için aşağıdaki gibidir.

Çizelge 3.1 Bazı yakıt türleri için ısıl değeri(Bosch Yayınları, 2001)

Yakıt	M_y (kg/kmol)	Kimyasal Formül	H_{min} (kg/kg)	H_u (kJ/kgY)
Benzin	98	$C_{6,942}H_{14,7}$	14,9	43900
Motorin	170	$C_{12,226}H_{23,290}$	14,5	43350
LPG	51	$C_{3,498}H_{9,027}$	15,5	45900

3.1.8 Motorun güç eğrilerinin incelenmesi

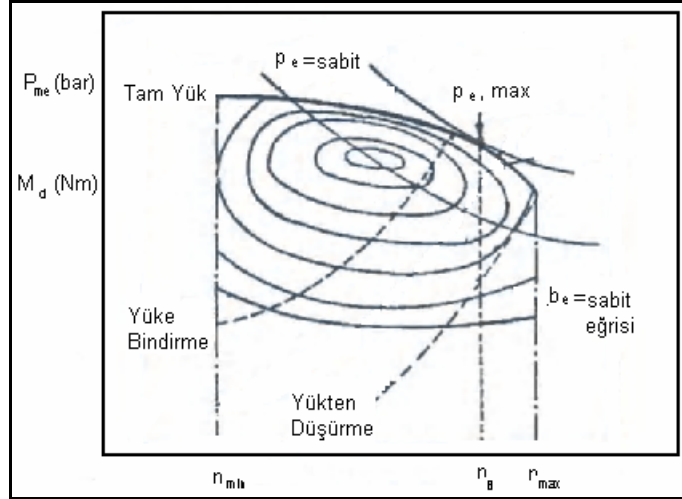
Şekilde örnek bir motor için kısmi yükler için $b_e - p_{me}$ eğrileri verilmiştir. Değişik devirler için kısmi yük eğrilerinden yararlanılarak minimum yakıt sarfiyatını sağlayacak b_e eğrileri elde edilebilir.



Şekil 3.2 Örnek $b_e - p_{me}$ eğrisi(Sürmen, A., Karamangil, M. ve Arslan R., 2005)

Motorun performans eğrisi olan tam yük eğrisi şekildeki tam tüm noktalarının birleştirilmesi ile oluşturulur.

Bir motor için değişik noktalardaki P_e , M_d , b_e kullanılarak şekildeki performans eğrileri hazırlanabilir.



Şekil 3.3 Örnek bir motor için performans eğrisi (Heywood, H., 1998)

Sabit güç eğrilerini çizmek için $P_{me} = P_e \times 1$ kullanılarak tam yük eğrisine teğet geçen maksimum güç eğrileri çizilebilir.

3.2 Motor yakıtının özellikleri

Motorda yakıt sıkıştırma stroğunun sonuna doğru püskürtüldüğü için yakıt yanma odasında yaklaşık 500 C – 600 C arası bir sıcaklıkla karşılaşır. Yakıt için en önemli özellik kendi kendine tutuşma özelliğidir. Kendi kendine tutuşma özelliği Setan sayısı ile ifade edilir. Dizel yakıt içerisinde HC bileşenleri, az miktarda S, N ve H₂O içerir. Kendi kendine tutuşma özelliğinin yakıtlar için düşük olması tercih edilir. Yakıtlarda istenen performans özellikleri aşağıdaki gibidir.

3.2.1 Vuruntu mukavemeti

Yanma odasına püskürtülen yakıtın tutuşma mukavemeti düşük olmaması durumunda yakıtın tutuşmasıyla darbe etkisi şiddetli olur. Setan Sayısının 70'den büyük olması durumunda ısıl değeri düşük olduğundan ideal olarak SS<70 standardını sağlayan yakıtlar tercih edilmelidir.

3.2.2 Uçuculuk

Düşük sıcaklıkta buharlaşabilen yakıtların kullanılması durumunda özellikle ilk çalıştırmada ve düşük ortam sıcaklıklarında avantaj sağlar. Ancak uçuculuk özelliğinin artması kendi kendine tutuşma özelliğini kötüleştirir. Bu sebeple çalışma koşullarına göre yakıtın içerisine katık katılarak bu iki özelliğin optimizasyonu sağlanır.

3.2.3 Viskozite

Viskozitenin çok düşük olması durumunda yakıt pompasının pompalaması açısından, çok yüksek olması durumundan depodan yakıt çekilmesi ve enjektörden püskürtme viskozite açısından problem çıkarır. Yakıtın taneciklerinin tam olarak yanması için viskozitenin belirli aralıklarda olması gereklidir. Özellikle soğuk havalarda ilk çalıştırma esnasından araç motorundan beyaz duman atması viskozitenin düşmesinin sonucudur.

3.2.4 Yakıt ve yanma ürünlerinin korozitif özelliği

Dizel motorlarda yakıttaki kükürt oranı hem emisyon hem de korozyon açısından istenmeyen bir özelliktir. Yakıtın içerisinde normalin üzerinde Na bulunması ve yakıtın içerisindeki suyun tuzlu su olması durumunda korozyon meydana gelebilir.

3.2.5 Tortu miktarı

Yakıtın yanma sonucunda aşırı miktarda tortu bırakması yani kurum oluşturması istenmeyen bir özelliktir. Oluşan kurumlar silindir iç kısmında, piston-segman bölgelerinde ve supap yuvalarına yakın kısımlarda birikerek motor performansını olumsuz yönde etkiler. Yakıtın içerisindeki C oranının yüksek olması bu oluşumu arttırmaktadır.

3.2.6 Çinkoya karşı aktivitesi

Yakıt depolarının iç kaplamalarında Zn (Çinko) içermesi durumunda Zn elementi yakıt ile reaksiyona girerek korozitif özelliği arttırabilir. Bu sebeple Zn elementine karşı ilgisi yüksek olmamalıdır.

3.2.7 Akma noktası - Donma noktası

Akma noktasının düşük olması durumunda özellikle soğuk havalarda filtre şişmesi tabir edilen tıkanmalara yol açabilmekle birlikte normal koşullarda da yakıtın süzülmesine engel oluşturmaktadır. Yakıtın bu özelliğinin düşük olması durumunda yakıt bulanıklaşarak kristal yapı oluşturmaya başlar.

3.2.8 Alevlenme noktası

Yakıtın kendi kendisine alevlenerek düşük sıcaklıklarda parlaması tehlike oluşturmaktadır. Bunun için yakıtın alevlenme noktasının çok düşük olması istenmez.

3.2.9 Yakıtın özgül ağırlığı

Yakıtın bu özelliği direk kimyasal bir özellik olduğu için yakıtın saf olması ile bağlantılıdır. Yakıtın saf olduğunun teyidi açısından yakıtın özgül ağırlığı standartlar içerisinde olmalıdır.

3.3 Yanmanın Kimyasal Olarak İncelenmesi

Yanmanın başlayabilmesi için yakıtın belirli bir sıcaklığa erişmesi gerekir. Isının oluşması için temel olarak hava sıkıştırılır. Ancak bunun yeterli olmadığı durumlarda kızdırma bujisi gibi sistemlerle gerekli ısı oluşumu sağlanır. Yanma olayında içeri alınan havada bulunan O_2 yakıtla reaksiyona girerek yanmayı oluşturur. Alınan havada bulunan N ise yüksek sıcaklarda NO_x oluşturur. Oluşan bu NO_x 'in emisyon sebebiyle belirli değerlerde tutulması gereklidir.

Yanma iki tür olarak meydana gelir.

3.3.1 Yanmanın Temel Olarak İncelenmesi

Tam yanma

Yanma sonucunda yakıtın tamamı yanar ve çıkan ürünler CO_2 , H_2O , SO_2 , O_2 ve N_2 dir.

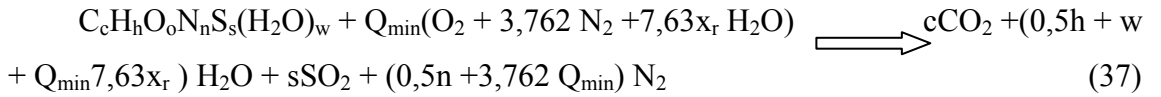
Eksik yanma

Yukarıdaki tam yanma ürünlerinin yanı sıra C, CO, OH, HC ve NO_x gibi eksik yanma ürünleri ortaya çıkar.

Hava fazlalık katsayısı(λ) <1 veya > 1 için eksik yanma söz konusudur.

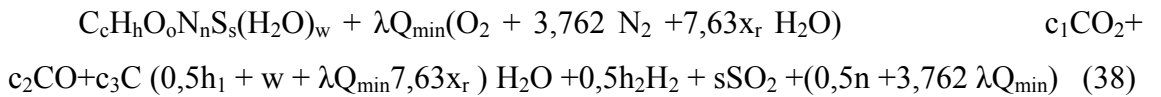
Tam yanma

Havanın içerisinde bulunan nem oranını x_r olarak alırsak yanma denklemini aşağıdaki gibi gösterebiliriz.(Sonntag, W., Borgnakke., S. and Van Wylen, 1998)

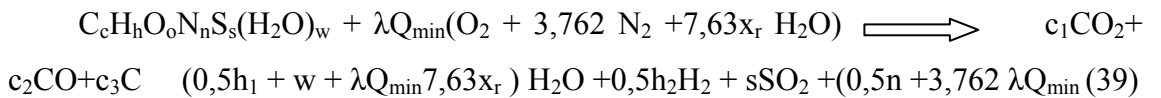


Eksik yanma

Eksik yanma reaksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilebilir. İlk olarak $\lambda \geq 1$ için aşağıdaki denklem verilebilir.(Sonntag, W., Borgnakke., S. and Van Wylen, 1998)



Eksik yanma $\lambda < 1$ için yanma ürünü olarak O_2 açığa çıkmaz.



4. GENEL YAKIT PÜSKÜRTME YÖNTEMLERİ

4.1 Yakıt Sistemleri

Son yıllarda piyasa koşulları nedeniyle sürücünün temel olarak 3 isteği bulunmaktadır:

- Az yakıt tüketimi,
- Yüksek çekiş,
- Çabuk ivmelenme.

Bu üç isteğin yanında egzoz salınımları nedeniyle aracın saldığı NO_x miktarının kontrolünün sağlanması ve normların uygun olması elektronik motor kontrolünü zorunlu kılmaktadır.

Günümüzdeki yakıt püskürtme sistemlerinin temel olarak 2 ana hedefi vardır.

4.1.1 Yakıtın yüksek basınçta püskürtülmesi

Yüksek basınç altında yakıt daha küçük taneciklere ayrılarak oksijenle daha iyi karışabilecek hale gelir. Böylece optimum yanma sağlanabilir.

4.1.2 Püskürtülen yakıt miktarının tam olarak ölçülebilmesi

Gereğinden fazla yakıt püskürtülmesi önlenmiş olur.

Bunları yaparken de yakıt vuruntusu ve motorun emisyon değerlerine dikkat edilmelidir.

Yakıt vuruntusu ön püskürtme ve ana püskürtme olarak da yapılarak yanma odasının esas püskürtme öncesinde belirli bir sıcaklığa ulaşması sağlanarak önlenabilir. Emülsiyon değerleri ise EGR (Egzoz Gazları Geri Çevrimi) soğutucusu kullanılarak veya motor haricinde üre tankı kullanılarak sağlanabilir.

Yakıt sisteminde kullanılan pompalarda ikiye ayrılmaktadırlar.

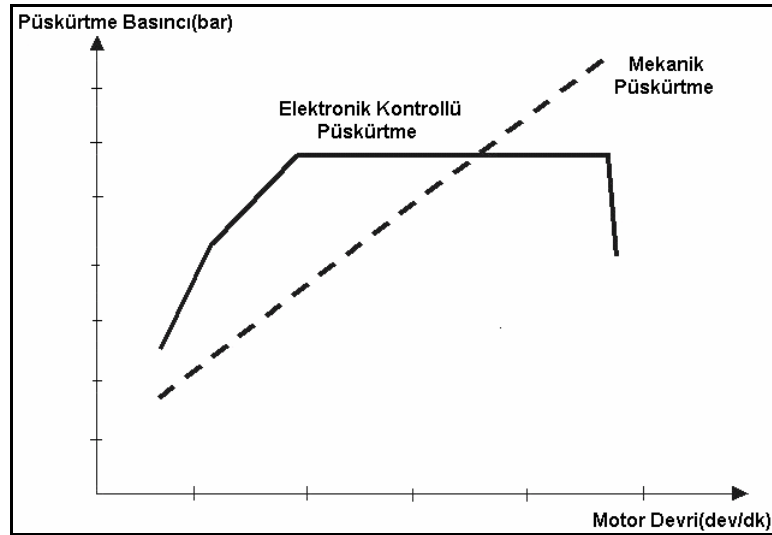
Mekanik pompalar

Motor çevrim sisteminden tahrik alırlar, motor devri ile birlikte püskürtme basıncı artar.

Ortak yakıt yollu elektronik pompalar

Püskürtme yöntemi yakıt pompası ile yakıt basıncının artırılması, elektronik kontrollü yakıt yolu ve püskürtücüler vasıtasıyla püskürtülecek yakıt basıncının ayarlanmasıdır.

Motor devri- yakıt basıncı ilişkisi örnek bir motor için karşılaştırmalı olarak aşağıdaki gibi verilebilir.



Şekil 4.1 Örnek bir motor için her iki yöntemin karşılaştırılması (Bosch,1996)

4.2 Yakıt Sistemine Yardımcı Diğer Sistemler

Motorda ideal bir yanmanın gerçekleşebilmesi için gerekli olan temel bileşenleri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz ve bunların bir kısmını direk kontrol edebiliriz.

$$y = x_1, x_2, x_3 \dots$$

İdeal yanma = Yakıt miktarı, yakıt basıncı, giren hava miktarı, giren hava basıncı (boost basıncı), yakıt sıcaklığı, soğutma suyu sıcaklığı, yakıt niteliği

Bu bileşenlerden boost basıncı harici diğer bileşenler direk olarak kontrol edilebilir. Bu bileşenlerin yer aldığı yakıt sistemi ayrıntılı olarak incelenecektir. Ancak yakıt sistemine yardımcı olan hava emiş sistemi ve soğutma sistemi öncelikle incelenmelidir.

4.2.1 Hava emiş sistemi

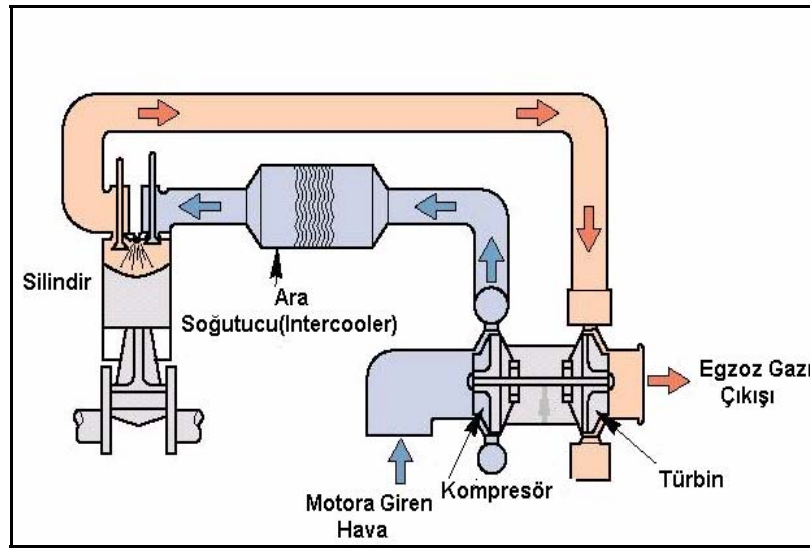
Hava emiş sistemi ile motora giren hava basıncı ve hava miktarı ölçülebilir. Ayrıca elektronik kontrol ünitesi vasıtasıyla da hava miktarı ve boost basıncına göre yakıt sistemi de kontrol edilerek silindire gönderilen yakıt miktarı ayarlanabilir. Böylece zengin karışım oluşması önlenerek yakıt ekonomisi sağlanabilir.

Günümüz motorlarında motor performansını arttırmak açısından doğal hava emiş sistemine ek olarak turbo şarj ünitesi bulunmaktadır. Turbo şarj ünitesinin temel amacı motora giren hava miktarını optimum şekilde ayarlayabilmektedir.

İdeal olarak motorun belirli bir motor devrinde ve belirli bir yükte çalıştığı her koşulda aynı torku vermesi istenir. Ancak özellikle havanın seyredildiği yüksek rakımlı yerlerde deniz seviyesindeki bir bölgeyle kıyaslandığında doğal hava emiş sistemine sahip bir motorun verdiği torkun daha düşük olduğu görülür. Bunun sebebi ise giren hava basıncının atmosfer basıncının düşük olması sebebiyle daha düşük olmasıdır. Ayrıca motora aynı debide hava alınmasına rağmen havanın yoğunluğunun daha düşük olması sebebiyle daha düşük miktarda hava alınmasıdır.

Motora giren boost basıncı atmosfer basıncı değiştirilemeyeceği için arttırmak pek mümkün ve pratik olmadığından hava miktarının arttırılması hedeflenmiştir. Turbo şarj sistemleri bu etapta kullanılarak motorların her ortam koşullarında aynı performansı vermesi sağlanır.

Turbo şarj sistemi basitçe şematik olarak aşağıdaki gibi gösterilebilir.



Şekil 4.2 Turbo şarj sistemi (FordOtosan Eğitim Yayınları, 2003)

Egzoz gazı olarak motordan atılan yanma ürünü hava bir türbini çevirerek sistemden dışarı atılır. Bu türbinin bağlı olduğu milin diğer ucu ise bir kompresöre bağlıdır. Bu şekilde atılan egzoz gazı kullanılarak doğal hava emiş sistemine ilave olarak motora hava emişi sağlanır. Hava miktarının seyrek olduğu bölgelerde deniz seviyesine nazaran türbine daha yüksek devirlerde çalıştırarak silindire verilen hava miktarı arttırılabilir. Böylece motorun her ortam koşulunda aynı performansı vermesi sağlanabilir.

Günümüz motorlarında kullanılan turbo şarj sistemlerinde kompresörün kanatçık aıların kontrol edilebildiği sistemlerde mevcuttur. Bu sistemlerin kullanılması durumunda motora alınan hava miktarı türbine devrinin yanı sıra türbine kanatçıkları ile de miktar olarak kontrol edilebilir. Bu sistemin kullanılması durumunda motorun ani

yüklenmelerle oluşacak hava ihtiyacı daha iyi bir şekilde karşılanabilir. Ancak maliyetleri klasik türbinlere göre oldukça yüksektir.

4.2.2 Soğutma sistemi

Soğutma sistemi hava emiş sistemine göre daha dolaylı bir etkiye sahiptir. Soğutma sistemi ile temel olarak silindirde ideal yanmanın olabilmesi için yakıtın ısı veriminin en iyi şekilde değerlendirilmesi ve silindirin mekanik olarak zarar görmemesi gerekir. Bunun içinde optimum soğutmanın sağlanması gerekir. Silindirin fazla soğutularak yanma sonucu oluşan ısının kaybedilmemesi aynı zamanda da silindirin termal yüklere maruz kalmaması gereklidir. Elektronik kontrollü motorlarda motor soğutma suyu sıcaklığı ve yakıt sıcaklığı sürekli olarak ölçülerek elektronik kontrol ünitesindeki haritalara aktarılır.

Bu veriler silindirin içerisine verilen yakıt miktarının hesaplanmasında kullanılır. Soğuk ortamlarda çalışan motorlarda özellikle motorun ilk çalışması sırasında fazla yakıt püskürtmesi önlenerek motoru hem mekanik olarak korunur hem de yakıt ekonomisi sağlanmış olur. Ayrıca egzoz emisyon değerlerinin sağlanmasına da olumlu etki eder.

Buna ilave olarak motorda soğukta çalışma yardımcıları olarak tanımlanan kızdırma bujisi gibi sistemler çalıştırılarak motora alınan soğuk hava ön ısıtmaya tabi tutulur. Böylece silindire soğuk hava alınarak silindirde oluşan ısının bir kısmının soğuk havayı ısıtmak için kullanılması önlenmiş olur.

5. DİZEL MOTORLARDA ELEKTRONİK KONTROL

5.1 Motorlarda Elektronik Kontrol

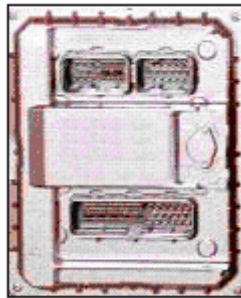
Motorlardaki klasik sistemlerin ve mekanizmaların sık sık arıza yapmaları ve bakım masrafları otomotiv endüstrisini başka yollara itmiştir. Gelişen bilgisayar teknolojisinin kullanılması otomotiv sektöründe kaçınılmaz olmuştur. Elektronik sistemlerin otomotiv sektöründe kullanılması ilk bakışta yatırım maliyetinin fazla olmasına rağmen uzun vadede bakım, yedek parça, yakıt ekonomisi ve dolayısıyla müşteri memnuniyetini sağlamasıyla sektörde giderek yaygınlaşmıştır.

Günümüz otomotiv sektöründe motor ve araç aksamlarında elektronik kontrol yaygın olarak kullanılmaktadır.

5.1.1 Mikro işlemcili kontrol sistemi

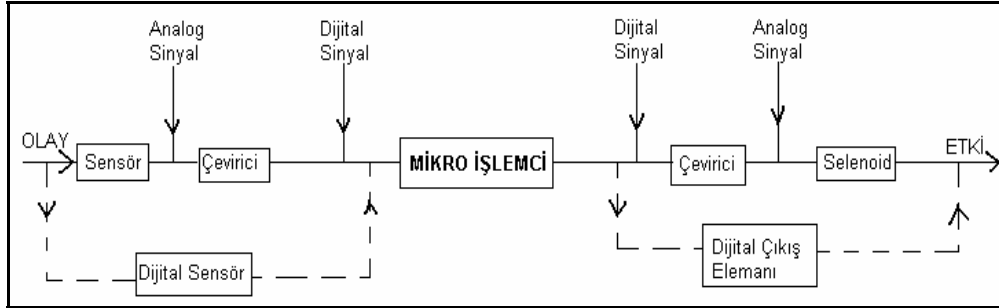
Mikro işlemcili kontrol sistemi birden fazla mikro işlemciden oluşan sistemlerdir ve kontrol ve karar işlemlerinin kararlı hale getirirler. Bu işlem olay- sebep-sonuç ilişkisine benzer olarak çalışır.

Sistemler analog ve dijital şekilde olabilir yada sadece dijital olabilir. Sistem basit olarak giriş ünitesinden alınan girdinin mikro işlemcideki program vasıtasıyla işleyerek çıkış ünitesine gönderilmesidir. Mikro işlemcide ayrıca bilgi hafıza ünitesinde de saklanabilir.



Şekil 5.1 Örnek mikro işlemci genel görünümü

Mikro işlemci sisteminin içyapısı ayrıntılı olarak aşağıdaki gibi gösterilebilir.



Şekil 5.2 Örnek mikro işlemci içyapısı (Sürmen, A. ve Aslan, R., 2004)

Şekilde bileşenler aşağıdaki gibi incelenebilir.

5.1.2 Giriş elemanı

Giriş elemanı sensördür. Sensörler ölçülebilen hız, sıcaklık, basınç, seviye gibi fiziksel büyüklükleri elektriksel sinyallere çeviren sistem elemanlarıdır. Sensörlerin iki tip çıktıları olabilir.

Analog sinyal

Elektriksel sinyal olarak çıkar. Analog/dijital çevrimci vasıtasıyla dijital sinyale çevrilerek mikro işlemciye gönderilir.

Dijital sinyal

Sensör tarafında analog sinyale çevrilerek mikro işlemciye gönderilir.

5.1.3 Mikro işlemci

İçerisindeki program vasıtasıyla kendisine iletilen sinyali inceleyerek dijital sinyali anlamlı bütün haline getirir. Çıkış elemanına sinyali iletir.

Mikro işlemci kontrol sistemleri açık ve kapalı devre olmak üzere iki tiptir.

Açık devre kontrol sistemleri

Sistem giriş sinyalini işleme koyar ve çıkışa iletir. Ancak işlemin ne oranda gerçekleştiği veya gerçek değere uygunluğunu kontrol etme şansı olmaz.

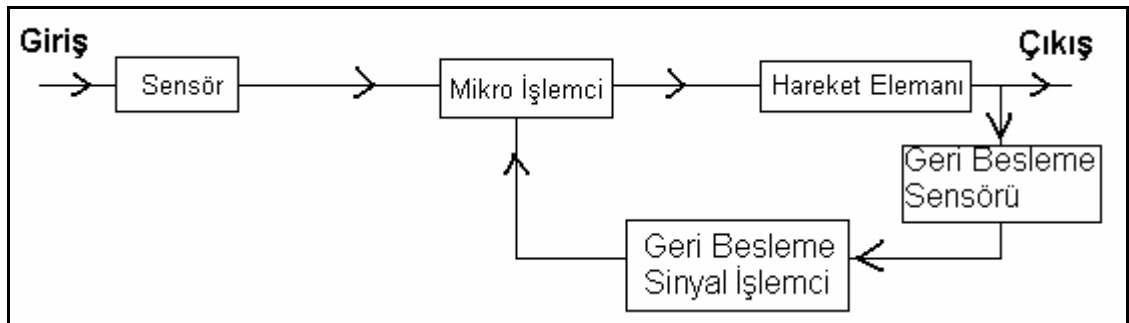


Şekil 5.3 Açık devre kontrol sistemi genel gösterim(Sürmen, A. ve Aslan, R., 2004)

Kapalı devre kontrol sistemleri

Açık devre sisteme ek olarak bulunan geri besleme sensörü ile çıkış değeri izlenerek sistemin çıkış değeri kontrol altında tutulur.

Çıkış değerinin istenilenin altında veya üzerinde olması durumunda mikrobilgisayar çıkışı istenilen seviyeye çeker. Maliyetleri ilave sensör sebebiyle açık devre kontrol sistemlerinden fazladır.



Şekil 5.4 Kapalı devre kontrol sistemi genel gösterim(Sürmen, A. ve Aslan, R., 2004)

5.1.4 Mikrobilgisayarlar

Mikrobilgisayarlar içlerinde bulunan programlar vasıtasıyla bilgileri programlanan işlemlerden geçirerek son fonksiyona çevirirler.

Sistemin beyni merkezi işlem ünitesidir. Burada programda yazılan komut kodları yerine getirilir. Giriş ve çıkış kapıları ise işlenecek ve işlenmiş olan bilgilerin

mikrobilgisayarla eş zamanlı alımı ve iletimi için kullanılan arabirimdir. Hafızada ise işlenmiş komutlar ve bilgiler tutulur.

Sistemdeki giriş kapıları sensörden bilgi girişlerini sağlar. Mikro işlemci bu bilgileri çıkış kontrol kararlarına çevirir. Çıkış kapıları mikro işlemciye kontrol sinyallerini harekete çevirecek olan devrelere aktarır.

Mikro işlemcinin sistemin diğer elemanları olan hafıza, giriş kapısı ve çıkış kapıları ile iletişimi üç hat ile gerçekleşir:

- Adresleme hattı
- Bilgi hattı
- Kontrol hattı

Adresleme hattı

Mikro işlemci bu hat vasıtasıyla çalışacağı birimin adres kodunu sisteme tanıtır. Adres hattına çıkarılan kod adres kod adres çözücüler tarafından çözümlenerek mikro işlemcinin hangi birimle çalışmak istediği ortaya çıkarılır.

Bilgi hattı

Mikro işlemcinin çalışmak istediği birim aktif hale gelince bilgi hattına çıkarılarak ilgili birime gönderilmek istenen bilginin taşındığı hattır.

Kontrol hattı

Mikro işlemcinin ilgilendiği birim adres hattı ile ilgilendiği bilgi hattına belirlenince mikro işlemcinin bu bilgiyi yazma veya okuma işlemine uğratacağına kontrol sinyalleri ile karar verilir. Kontrol hattı bu sinyallerin taşındığı hattır.

Mikroişlemciden komut kodları hafızadan alınarak işlenir. Komut kodlarının bulunduğu hafıza adresi program sayacı yazmaçlar tarafından tutulur. Buradaki adrese gidilerek komut kodu alınması ile program sayacı kendini 1 artırır. Böylece bir sonra gidilecek olan hafıza adresinin değerini taşımaya başlar. Mikro işlemcide komut

kodunun çözümlenerek işlemin yerine getirilmesi ile yeni komut için program sayacına bakılır.

Hafızada okunan komut kodu komut kodu yazmacına gelerek komut kodu çözücüsünde çözülür. Hafıza bölümünde kendine özgü kurallarla çalışan bölüme yığın ismi verilir. Yığının boş alanını ise yığın göstergesi gösterir. Mikro işlemci çalıştırdığı programdan başka bir programa geçmesi gerektiğinde programın komutları ile ilgili yardımcı bilgileri yazmaç içeriklerinde saklar. İşlem 2. programa geçer. 2. programda tamamlandığında yığında 1. programla ilgili bilgiler alınır.

Bir programda pek çok alt program bulunur. Her alt program değişik bir amaca yöneliktir. Ana programda alt programlar çalışacağında mikro işlemciye alt programın başlangıç adresi verilir, ana programın o anki bilgileri yığında saklanarak alt programa yönelir. Her alt program sonlandığında ana program yığındaki bilgileri alarak kaldığı yerden devam eder.

5.1.5 Hafıza haritaları

Bilgisayarlı kontrol sistemlerinin mekanik kontrolü sağlamak için referans 3-D haritalar veya 2-D diyagramlar hafıza tablolarında saklanırlar. Haritalarda 2 adet girdi ile istenilen özelliğin değeri kaydedilir. Örnek olarak motorun çalışma sistemi ile ilgili olarak gaz pedalı pozisyonu ve motor devri girilerek o şartlar altındaki yakıt miktarı ayarlanabilir. Bizim de esas inceleyeceğimiz kısım bu kısımdır. 3-D haritalar veya 2-D diyagramlara müdahale edilerek motor çalışması değiştirilebilir, performansı arttırılabilir.

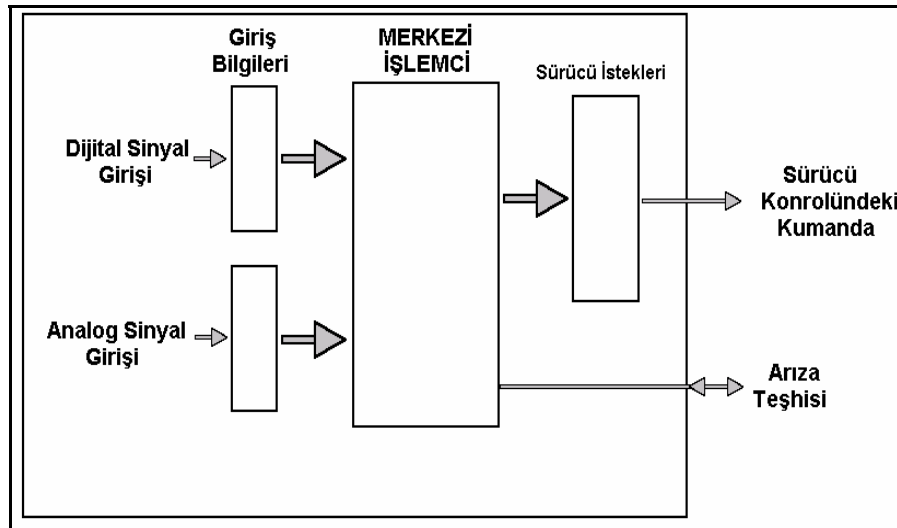
5.2 Günümüz Motorlarında Elektronik Kontrol Ve Yakıt Sistemi İlişkisi

Günümüz elektronik kontrollü motorlarda merkezi işlemci temel olarak aşağıdaki fonksiyonları yerine getirmektedir.

- Sürücü isteğine uygun şekilde araç hızının ve dolayısıyla motor devrinin kontrolü,

- Motor devrinin sağlanması için yakıt sistemi ile yakıt püskürtme değişkenlerinin kontrolü,
- Motorun aracın hasara karşı korunumu,
- Diğer araç üzerinde bulunan modüllerle iletişim(ABS, ASR),
- Motor arızalarının kaydedilmesi....

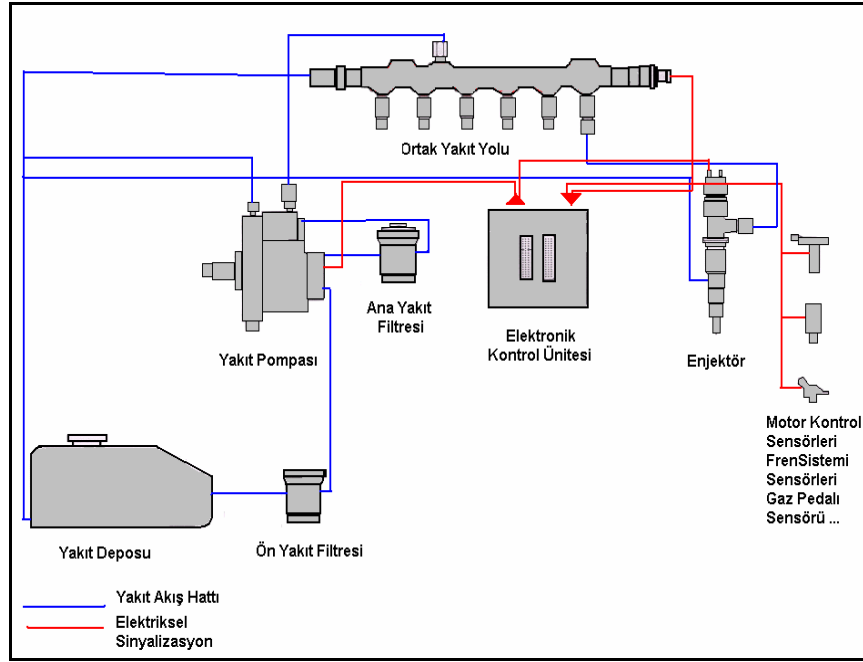
Araç motorları üzerinde yaygın olarak bulunan merkezi işlemci ve şeması aşağıdaki gibi gösterilebilir.



Şekil 5.5 Merkezi kumanda birimi girdi ve çıktıları genel gösterimi (Sürmen, A. Aslan, R., 2004)

Sinyal girişleri şekilde gösterildiği gibi dijital ve analog olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Bunun sebebi örneğin ABS/ASR modülü gibi dijital sinyal gönderen modüllerle haberleşirken motorun aynı zamanda motor devrini algılamayı sağlayan krank sensöründen gelen sinyali algılayarak içerisinde bulunan A/D çevirici ile dijital sinyale çevirerek işlem yapabilmesini sağlamaktır.

Elektronik kontrol ünitesinin haberleştiği genel motor ve araç bileşenleri temel olarak yakıt sistemi ile ilişkilendirilerek aşağıdaki gibi gösterilebilir.



Şekil 5.6 Örnek bir motorun elektronik kontrolünün genel gösterimi (Bosch Yayınları, 2001)

Yukarıda verilen şema genel gösterim içindir. Şekilde gösterilen sistemde yakıt filtre sayısı teke düşebilir. Yani ön yakıt filtresi motorun kullanıldığı iklim koşulları ve yakıt kalitesine göre sisteme dahil edilmeyebilir.

Yakıt Basınç hattına bakıldığında yakıtın 2 farklı basınçta yol aldığı görülmektedir:

5.2.1 Alçak basınç hattı

Yakıtın aktığı yakıt deposu- ön yakıt filtresi- yakıt pompası arasındaki hatta verilen isimdir. Bu hatta yakıtın basıncı düşüktür.(Maksimum 10 bar)(Bosch Yayınları, 2001)

5.2.2 Yüksek basınç hattı

Yakıt pompasından sonraki kısımdır. Burada yakıt pompası vasıtasıyla yakıt basıncı artırılır. Çıkan yakıt basıncı genel olarak 1400-1800 bar arasında seyretmektedir.(Bosch Yayınları, 2001)

Yakıt sisteminde genel olarak depodan emilen yakıt ön yakıt filtresinde içerisindeki yabancı büyük partiküller ayrıldıktan sonra yakıt pompasına gelmektedir. Buradan ana yakıt filtresinde daha küçük yabancı partikülleri ayrılan yakıt ortak yakıt yoluna gelir. Yakıt buradan enjektörlere gelerek silindir içerisine püskürtülür. Enjektörlerden, ortak yakıt yolundan ve pompadan dönen fazla yakıt ise yakıt deposuna geri döner. Elektronik kontrol sistemi temel olarak enjektörlerin yakıt püskürtme sürelerini kontrol ederek silindire gönderilen yakıt miktarını ve zamanını ayarlar. Böylece yakıtın kontrolü sağlanmış olur. Bunun yanında şekilde de görülen pompa, ortak ray ve araç, motor üzerinden gelen sensörler vasıtasıyla motorun su sıcaklığı, yağ sıcaklığı, yağ basıncı, yakıt sıcaklığı gibi parametreler kontrol edilir. Bu parametrelerden bir kısmı yakıt püskürtme süresinin ve zamanın ayarlanmasında kullanılır. Böylece motor değişik ortam sıcaklıkları ve ortam basıncı gibi dış faktörlerin yanı sıra sürücünün pedal pozisyonu gibi talepleri de birleştirilerek optimum yakıt tüketimini sağlar. Bununla beraber herhangi bir olumsuz durumda örneğin yakıt basıncının aşırı düşmesi gibi motoru korumaya alarak olası motor arızalarının da önlenmesini sağlar.

6 .DENEYSEL ÇALIŞMADA KULLANILAN MOTOR

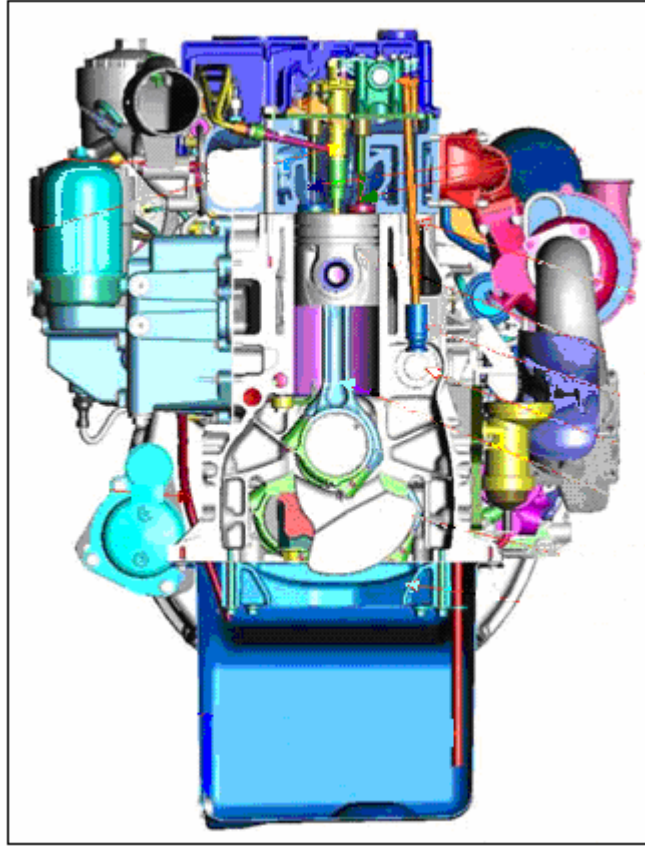
6.1. Motora Ait Genel Bilgiler

İncelememizde kullanacağımız motorun genel teknik özellikleri aşağıdaki gibidir.

Çizelge 6.1 Örnek motorun teknik özellikleri

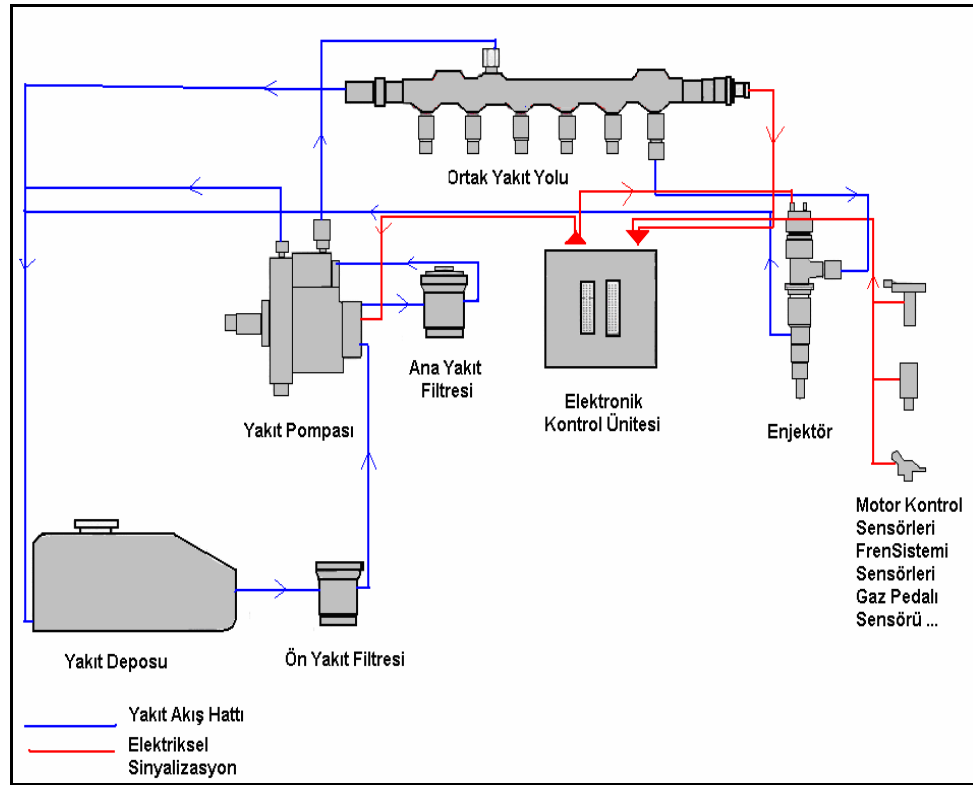
Motor Teknik Özellikleri	
Genel	
Çalışma prensibi	4 Zamanlı
Supap sayısı	24
Tipi	Sıralı Tip
Silindir sayısı	6
Silindir çapı mm	112
Piston kursu mm	124
Silindir hacmi cm³	7330
Sıkıştırma oranı	17,4:1
Ateşleme sırası	153624
1 nolu silindir	Motorun ön tarafındaki
Motor performansı	ISO 1585
PS	300
Kw	221
d/d	2400
Maksimum tork Nm	1100
d/d	1440-1800
Motor Teknik Özellikleri	
Fan tipi	Viskoz

Motor dönüş yönü	Motorun ön tarafından bakıldığında saatin dönüş yönünde
Rölanti devri d/d	700
Maksimum motor devri d/d	2400
Yanma prensibi	Direkt Püskürtme
Motor yağı	ACEA E3/E5 , API CH4
Yağ karteri kapasitesi lt	26
Yakıt sistemi	
Yakıt sistemi	Birinci Nesil Ortak Ray Tipli
Alt elemanlar	Yüksek Basınç Pompası, Ortak Ray, Enjektörler
Motor ebatları	
Boy x En x Yükseklik mm	1184 x 1055 x 831
Ağırlık kg	720
Motor yardımcı ekipmanları	
Maksimum su pompası debisi	350 lt/dak @ 2400 rpm
Maksimum yağ debisi	125 tl/dak @ 2400 rpm
Yakıt pompa debisi (düşük basınç)	280 lt/saat



Şekil 6.1 Motorun ön görünüş kesit resmi

İncelenecek motor EKÜ(Elektronik Kontrol Ünitesi) sahip olup motor yakıt sistemi ile birlikte motor, araç üzerindeki sensörler ve müşürlerinden gelen sinyalleri yorumlayarak motoru ve araç üzerin deki diğer sistemleri kontrol etmektedir. Motorun diğer sistemleri ile birlikte yakıt sistemi de Ekü'nün kontrolündedir. Yakıt deposundan gelen yakıt, yakıt filtresinden geçtikten sonra yakıt pompasına gelmektedir. Yakıt pompasında yakıtın basıncı artırılarak ortak yakıt rayına gönderilir ve buradan enjektörlere dağıtılır. EKÜ kontrolündeki enjektör ve ray da yakıt göndererek veya yakıt gönderimini keserek motorun performansını belirler. Yakıt sisteminin genel gösterimi aşağıdaki gibidir.



Şekil 6.2 Yakıt sistemi şematik gösterimi (FordOtosan Eğitim Yayınları, 2003)

6.2 Temel Kontrol Parametreleri ve Açıklaması

Motor karakteristiğinin belirlenmesinde ilk faktör motor tasarımıdır. Motorun kullanılacağı yere göre motorun tork - devir grafiği ilk olarak belirlenir. Belirlenirken de temel kriterler göz önünde bulundurulur. Örneğin motor hacmi büyüdükçe motorun çıkabileceği maksimum devir düşer, motor torku da piyasanın ihtiyacına göre belirlenir. Bu şekilde 2 eksenli devir(rpm) – tork(Nm) grafiği elde edilir. Bu verinin üzerinde baz motor tasarımı yapılır. Yani motorun verebileceği maksimum tork ve devir motor tasarımının ilk aşamasında belirlenmiştir. Motorun kontrol sistemi ile daha sonra bu sınırlar içerisinde motorun optimum kullanımı sağlanmaya çalışılır.

Burada temel faktör SFC dir. Tanım olarak bakıldığında SFC(Özgül Yakıt Tüketimi) motorun belirli devirde belirli bir torku verirken minimum yakıt tüketimini sağlamasıdır. Aşağıdaki şekilde gösterilebilir:

$$SFC = \frac{9550000 \times \text{yakıt miktarı(kg/s)}}{\text{tork(Nm)} \times \text{devir(rpm)}} \quad (44)$$

Denklemden de görülebileceği üzere ideal olarak SFC değerinin minimum olması istenir. Bu da ancak motorun ilk devir-tork eğrisine sağdık kalındığı varsayılırsa motorun belirli devirde belirli torku verecek şekilde çalışırken kullandığı yakıt miktarını azaltması ile mümkün olur.

EKÜ temel olarak aşağıdaki fonksiyonları sağlamaktadır :

- 1- Araç motorunun uygun yakıt ile çalışmasını sağlamak,
- 2- Yeterli miktar ve basınçtaki havayı motora almak,
- 3- Yakıtın uygun zamanda(avansta) püskürtülmesini sağlamak,
- 4- Yakıt püskürtme başlangıcını optimum silindir içi basınca göre ayarlamak,
- 5- Yakıt püskürtme süresinin optimum olmasını sağlamak.

Kısacası optimum yanmayı sağlamak ile mümkün olur.

Günümüzde motor kontrol yöntemleri bu sebeple mekanikten elektroniğe geçmiştir ve bu temel amaca uygun olarak optimum yanmayı sağlamak, bunu yaparken de baz motor mekaniğini kullanım ömrünü uzatmak üzerine kurulmuştur.

6.3 Yakıt Sisteminin Ayrıntılı Olarak İncelenmesi

Yakıt sisteminde püskürtülen yakıt miktarının hesaplanması için temel ilke olarak “belirli miktarda belirli basınçta yakıtın belirli bir zamanda belirli bir sürece püskürtülmesi” alınır. Bunun içinde geçerli olan temel haritalar aşağıdaki gibidir.

6.3.1 Püskürtme zaman haritaları

Temel olarak belirli bir motor devri için belirli miktar yakıtın püskürtülmesi için gerekli olan krank mili açısını verir. Motorda vuruntuyu engellemek ve yanma verimi açısından silindir içi ön ısıtmayı sağladıktan sonra esas yanmayı sağlamak için ana püskürtme ve ön püskürtme olarak ikiye ayrılır:

1-Ön püskürtme haritası

Genel kullanım olarak ön püskürtme haritası 1 ve ön püskürtme haritası 2 olarak 2 tip mevcuttur. Böylece ana püskürtme öncesi iki püskürtme yapılması sağlanmış olur.

2-Ana püskürtme haritası

Genel kullanım olarak tek ana püskürtme mümkünken 2 ana püskürtmeyi birbiri ardına uygulayan motor tipleri de mevcuttur.

6.3.2 Püskürtme süre haritaları

Bu haritadan belirli bir motor devri için belirli yakıt miktarını püskürtme için gerekli olan süre tanımlanmıştır. Ön ve ana püskürtmeler için iki ayrı tip olarak kullanılması yaygındır.

6.3.3 Püskürtme basınç haritaları

Belirli motor devri için belirli yakıt miktarının püskürtülmesi sırasında oluşturulması gereken yakıt basıncının hesaplandığı haritalardır.

6.3.4 Püskürtme sürdürülebilirlik haritaları

Belirli motor devrinde belirli gaz pedalı pozisyonunda püskürtülebilecek yakıt miktarını verir.

6.3.5 Sınırlama parametreleri

Dış ortam koşullarına göre sınırlama gruplarının yanında herhangi bir arıza durumuna göre motoru korumaya almak amacıyla motora giden yakıt miktarını sınırlayan haritalar bu kısımda bulunmaktadır. Belli başlı alt grupları aşağıdaki gibidir.

1- Dişli gruplarına göre sınırlama haritaları

Motorda kullanılan viteslere göre motor devrini ayarlamak için kullanılır. Böylece örneğin yüksek motor devirlerinde düşük viteste gidilmesi durumunda vites kutusu dişlilerinin zarar görmesi önlenmiş olur.

2- Arıza durumuna göre motor koruma haritaları

Motorda oluşabilecek bir arıza durumunda motoru korumaya alarak yakıt miktarını sınırlayan haritalardır.

3- Duman değerini sınırlama haritaları

Temel olarak motorun egzoz salınımını kontrol ederek motorun her durumda egzoz emisyon değerlerini sağlamasını sağlar.

4- Soğuk çalışma durumunda yakıt sınırlama haritaları

Motorun soğuk çalışması durumunda motor suyu sıcaklık değeri, yakıt sıcaklığı ve en önemlisi yağ sıcaklığı düşük olacağı için motorun püskürtebileceği yakıt miktarını sınırlayan haritalardır.

5-Yüksek sıcaklık haritaları

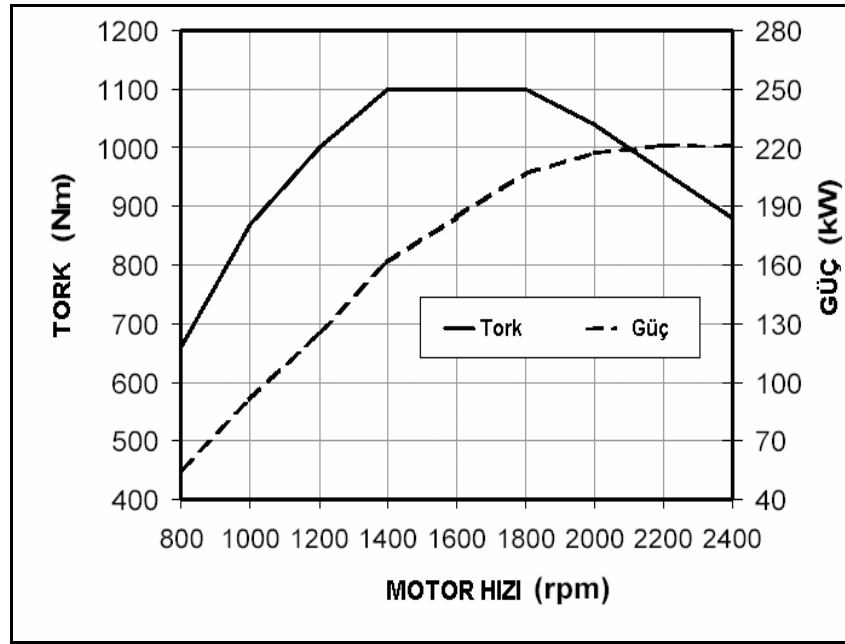
Yüksek sıcaklık değerlerinde motorun zarar görmesini önlemek amacıyla geçici olarak püskürtülebilen yakıt miktarını sınırlayan haritalardır.

İster elektronik kontrollü olsun ister mekanik kontrollü temel motor dizaynının başlangıcında aşağıdaki stepler incelenir. Bu stepler tamamlandıktan sonra İlk önce tasarımı yapılacak olan motorun temel güç ve tork eğrisi çıkarılır.

6.4 Motor Kalibrasyon Adımları

6.4.1 Motorun temel karakteristiğinin belirlenmesi

Örnek olarak inceleyeceğimiz motorun tork ve güç eğrisi aşağıdaki gibidir.



Şekil 6.3 İncelenecek olan motorun temel tork ve güç eğrisi

Yukarıda bahsedilen sistemler ayrıntılı olarak incelenerek optimum yanmayı sağlayarak motor performansını arttırmak amacıyla optimum yanma hesaplaması yapılacaktır.

Motorun ilk kalibrasyonunun yapılması öncesinde belirlenen tork ve güç eğrisinden sonra motorun çalışma aralığı belirlenir. Örnek olarak yukarıda verilen çalışma eğrisinde motorun ideal kullanım aralığı olarak yani maksimum tork ve gücü beraber verdiği devir olarak 1400-1800 rpm arası görünüyor. Yapılacak olan baz kalibrasyonda öncelikle 1400 rpm ve 1800 rpm noktalarında motorun istenilen torku veya gücü vermesi sağlanmaya çalışılacaktır. Daha sonra ise tork ve güç eğrisinin kesişim noktası olan 2100 rpm de istenilen değer sağlanmaya çalışılacaktır.

6.4.2 Belirlenen noktalarda istenilen torkun veya gücün sağlanması

Krank açısının(avansın) ayarlanması

İstenilen torkun veya gücün püskürtülmesi için gerekli olan temel kriterler aşağıdaki gibidir.

a-) Öncelikle püskürtmenin başlayacağı krank açısı belirlenmelidir. Bu şekilde silindirin içerisinde meydana gelecek olan yanmanın süresi belirlenmiş olur. Torkun sağlanmasında asıl belirleyen parametre budur. Fonksiyon olarak incelersek:

$$y(x) = x_1, x_2$$

Krank açısı ($^{\circ}$) = Yakıt miktarı (mg/str) , motor devri (rpm)

Bu noktada oluşturulabilecek maksimum silindir içi basınç belirlenmiş olur. Sonuç olarak bakıldığında silindirin içerisinde belirli bir sürede, belirli bir miktar yakıt püskürtülerek yanma meydana gelir. Öncelikle optimum yanmanın sağlanmasından ziyade istenilen tork değerinin elde edilmesi amaçlanır. Bu sırada motorda oluşan silindir içi basınçta kontrol edilmelidir. Silindir içi basınç motorun taşıyabileceği maksimum basınca göre ayarlanır.

Örnek olarak motor bloğunun, kafasının taşıyabileceği ve bunların arasında bulunan kafa contasının taşıyabileceği maksimum basınç vardır. Sonuç olarak motor kalibrasyonunda hedeflenen basıncın motorun taşıyabileceği maksimum basınçtan düşük olması gereklidir.(Victor Reinz, 2000) Hedeflenen bu basınç değerinden küçük değerleri elde etmemizi sağlayacak şekilde ve istenilen torku elde etmemizi sağlayacak şekilde krank açısı girilir.

Yapılan denemelerde belirli yakıt miktarı ve motor devrinde değişik krank açıları ile istenilen tork değeri elde edilebilir. Öncelikle hedeflenen motor devirleri olmak üzere tüm devirler için belirli yakıt miktarı ve motor devrindeki krank açıları belirlenmiş olur ve aşağıdaki gibi bir tablo elde edilir.

Çizelge 6.2 Örnek bir krank açısı tablosu

Motor Devri(rpm)	600	700	800	900	1000	1100	1200	.	.	.	2200	2300	2400
Yakıt Miktarı (mg/str)													
0													
10													
20													
30													
40													
.													
.													
.													
120													
130													
...													

Yukarıda elde edilen tablo baz bir tablodur. Yani girilen krank açısı ile sadece motorun tasarımının izin verdiği ölçülerde silindir içi basınçlar kullanılarak yakıt optimizasyonu sağlanmadan motorun tork ve güç eğrisi elde edilmiştir. Bu çalışma yapılırken yakıt basıncı belirli bir değerde kabul edilmiştir. Bundan sonraki adımda yakıt basınçları değiştirilerek motorun yakıt tüketimi azaltılmaya çalışılarak yakıt optimizasyonunun sağlanmasına çalışılacaktır.

Püskürtme süre haritası

Bu harita belirli motor devrinde(rpm) belirli miktar yakıtın(mg/str) püskürtülmesi için belirli süre(us) tanımlanır. Bu harita gerçekte ana püskürtme haritasına ve yakıt basınç haritasına yardımcı bir haritadır. Sonuç olarak belirli bir motor devrinde belirli bir krank açısında püskürtülmeye başlanan yakıtın belirli bir süre püskürtülerek püskürtülme işleminin tamamlanması gerekmektedir.

Çizelge 6.3 Örnek gaz pedalı kalibrasyon tablosu

Motor Devri(rpm)	600	700	800	900	1000	1100	1200	.	.	.	2200	2300	2400
Yakıt Miktarı (mg/str)													
0													
10													
20													
30													
40													
.													
.													
.													
120													
130													
...													

Motorun performansını belirleyen yukarıdaki haritalardır. Anlatıldığı gibi öncelikle püskürtme zamanı ve süresi belirlenerek istenilen tork elde edilir. Daha sonra yakıt basıncı kullanılarak yakıt miktarı optimize edilir. Bunlar yapılırken motor emisyon değerlerine de dikkat edilmelidir. Silindir içi basıncın ölçümünün yanında duman ölçümü de yapılarak motorun uygun emisyon değerlerini verecek şekilde kalibrasyonu yapılmalıdır.

Ağır ticari vasıtalar için geçerli olan egzoz salınım değerleri aşağıdaki gibidir.

Çizelge 6.4 Egzoz salınım değerleri tablosu(Bosch Yayınları, 1996)

Salım seviyesi		EURO I	EURO II	EURO III	EURO IV
Ölçülen	Birim	01.07.92	01.10.95	01.10.98	01.01.2005
CO	(g/kWs)	4.5	4.0	<4.0	<4.0
HC	(g/kWs)	1.1	1.1	<1.1	<0.55
NOx	(g/kWs)	8.0	7.0	5.4	3.5
Parçacık	(g/kWs)	0.36	0.15	<0.1	<0.03

Daha sonra ise gaz pedalı kalibrasyon haritası çıkarılarak motor vuruntusunu önlemek için ön püskürtme avansı ayarlanır. Tüm haritalar tamamlandıktan sonra motorun temel yakıt kalibrasyonu tamamlanmış olur. Artık kalibrasyonu tamamlanan motor belirli devirde belirli miktar yakıtı harcayarak belirli bir tork verir.

İdeal olan motorun SFC(Specific Fuel Consumption) değerlerinin minimum olmasıdır. SFC değeri aşağıdaki şekilde verilebilir.

$$\text{SFC (g/ Phs)} = \frac{9550000 \times \text{yakıt miktarı(kg/h)}}{\text{tork (Nm)} \times \text{motor devri(rpm)}} \quad (45)$$

Amaç SFC minimum tutarak yani tork – yakıt tüketimi ilişkisini optimize etmektir.

Yakıt basıncının ayarlanması

İstenilen devirde istenilen tork değerleri sağlandıktan sonra yakıt miktarının optimizasyonunun yapılması gerekir. Bunun içinde yakıt basınçları değiştirilmek suretiyle öncelikle tork eğrisinin kırılma noktalarından hareketle o devir için önceki eğride belirli yakıt miktarı ve krank açısıyla hedeflenen silindir içi basıncın sağlanmasına çalışılır. Yani hedeflenen silindir içi basınca ulaşılması için yakıt miktarının düşürülerek yakıt basıncı artırılarak aynı silindir içi basınca ulaşılmaya çalışılır. Yakıt basıncı artırılırken motordaki maksimum ray basıncı geçilmemelidir. Ayrıca yakıt pompası devride motor devriyle orantılı olduğu için düşük devirlerde yüksek yakıt basınçlarının verilmemesine dikkat edilmelidir. Ardışık devirlerdeki yakıt basınçlarının arasında fazla miktarda fark bulunması da yakıt sisteminde titreşim problemi yaratmakla kalmayıp pompanın yakıt akışını sağlamasını da güçleştirir. Belirli motor devri ve belirli yakıt miktarı için yakıt basınçlarının elde edildiği aşağıdaki gibi bir tablo oluşturulur.

Yukarıdaki temel üç harita tamamlandıktan sonra sıra motor vuruntusunun meydana gelmemesi için ön püskürtmenin sağlanmasına gelir.

Ön püskürtme haritaları

Ön püskürtme haritalarında amaç ana yanmadan önce ön yanma sağlayarak silindir içi sıcaklığı arttırmak ve tek püskürtmeyle oluşacak çok miktarda yakıtın bir anda alevlenmesiyle oluşacak motor vuruntusunun önüne geçmektir. Sonuç olarak ana avans açısının oluşturulmasında oluşan tablonun benzeri oluşturulur. Kalibrasyonlarda eğer tek bir ön püskürtme ile motor vuruntusunun önüne geçilemezse ard arda iki adet ön püskürtme yapılması da mümkündür. Ancak piyasada yaygın olarak kullanılan tek ön püskürtme ile motor vuruntusunu önlemektir. Ön püskürtme haritası tamamlandıktan sonra motor devirlerindeki silindir içi basınçlarda artış meydana gelir. Çünkü zaten ön püskürtmede bir miktar püskürtülerek yakılmaktadır. Bu sebeple ana püskürtme haritasına geri dönülerek krank açıları artırılmak suretiyle silindir içi basınç ilk hedeflenen sınırlara çekilir.

Bu haritada tamamlandıktan sonra püskürtme süre haritasına geçilebilir.

6.2.3 Sınırlama haritaları ile motorun herhangi arıza moduna karşı korunması

Sınırlama haritalarından ilk önce dişli koruma haritaları doldurulur. Yani vites seçimine göre motorun enjektörün püskürtebileceği yakıt motor devrine göre sınırlandırılmaktadır. Böylece belirli motor devrinde motorun püskürtebileceği yakıt yani vereceği tork ayarlanarak dişlilerin korunumu sağlanır. Örnek harita aşağıdaki gibidir.

Çizelge 6.7 Örnek dişli koruma haritası

Motor Devri(rpm)	700	800	.	.	.2200	2300	2400
Yakıt Miktarı(mg/str)							

Genel olarak düşük vitesler ve yüksek vitesler için geçerli olmak üzere iki ayrı dişli haritasının kullanımı yaygındır.

Daha sonra arıza durumuna göre motor korumaya alındığında alındığı koruma moduna göre verebileceği yakıt belirlenir. Burada amaç motorun herhangi bir hasar uğramadan ilgili servise gidebilmesi veya gerektiğinde bu şekilde çalışmasıdır. Örnek olarak yakıt pompası probunda meydana gelebilecek bir arızada veya yağ basıncının düşmesi durumunda motorun herhangi bir hasara uğramaması için durdurulması gereklidir. Ancak motorun soğutma suyu ikazı vermesi durumunda yani motor hararetinin yükselmesi durumunda kullanıcının motorunun durdurulması gerekmez. Motor servise kadar belirli bir devrin üzerine çıkmadan gidebileceği için ayrı yakıt miktarı belirlenir. Motor koruma modu haritaları o koruma moduna özgü olarak motorun zarar görmeden çalışabileceği maksimum yakıt miktarının verildiği haritalardır.

Haritaların temel çalışma prensibi herhangi sensörden algılanan hatanın süresi ve sensörün tipine göre yakıt sistemini uyararak EKÜ tarafından daha önceden belirlenen yakıt miktarını sağlaması için yakıt sistemini kontrol etmesi ile çalışır. Hatanın durumuna göre motor bu arıza modundan çıktığında örneğin kısa süreli bir arıza oluşmuşsa hatanın tekrar etmemesi veya belirli bir süre tekrar etmemesi ile ECU yakıt sistemine normal çalışması için sinyal gönderir.

Örnek olarak yakıt miktarının belirlendiği haritalar aşağıdaki gibi gösterilebilir:

Çizelge 6.8 Motor koruma modu haritaları

Koruma Modu 1	... mg/str
Koruma Modu 2	... mg/str
Koruma Modu mg/str

Duman değerini sınırlama haritaları temel olarak motor emisyon değerlerini sağlamak için ikincil bir kontrol noktası gibidir. Motor kalibrasyonunda motorun çalışacağı emisyon değerleri belirlenir ve baz motor kalibrasyonu tamamlandıktan sonra

motorun çalışacağı emisyon değerlerine göre Euro1, Euro3 ... egzoz gazlarının bu değerleri verecek şekilde püskürtülen yakıt miktarı sınırlanır. Bu haritada tanımlanan yakıt miktarı motorun performansını etkilemiyorsa yani baz yakıt sistemi haritaları ile çakışmıyorsa problem yoktur. Ancak herhangi bir çakışma varsa motorun tork ve güç eğrisi değişeceği için motorun baz kalibrasyonun da değişmeye gidilir. Örnek olarak yakıt miktarı ile bu değer sağlanamayacağı için yakıt basıncı artırılarak motorun ilk belirlenen tork ve güç eğrisini yakalaması sağlanabilir.

Örnek bir duman sınırlama haritası aşağıdaki gibi verilebilir.

Çizelge 6.9 Duman değerini sınırlama haritaları

Hava Miktarı(mg/str)	600	800	1000	...	2500	2700	...
Motor Devri(rpm)							
600							
800							
1000							
...							
2400							
2600							
...							

Püskürtülen Yakıt Miktarı(mg/str)

Eğer motorda hava miktarını ölçen bir sensör olmaması durumunda boost basınç sensörü de hava miktarı yerine boost basıncını ölçebilir.

Motoru soğuk veya aşırı yüksek sıcaklıklarda çalışması durumunda motorun zarar görmesini engellemek amacıyla yakıt sisteminin püskürttüğü yakıt miktarı sınırlanabilir. Örnek olarak su pompasında bulunan termostatın arızalanması durumunda termostat açılmayarak motorun aşırı ısınmasına neden olabilir. Motorun zarar görmesini engellemek amacıyla tanımlanacak belirli bir sıcaklık için yakıt miktarı sınırlanabilir ancak bu arıza modundan farklıdır. Eğer su sıcaklık sensörünün limitler içerisindeki değeri okuması durumunda yakıt sistemi derhal sınırlamadan çıkar. Motorun ilk çalışması sırasında özellikle soğuk havalarda yağ film kalınlığının yeterince oluşmaması sebebiyle motorun zarar görmesini önlemek amacıyla yakıt miktarı sınırlanabilir.

Motor belirli bir sıcaklığa ulaştığında ise bu sınırlamadan çıkarak normal tork ve gücünü verebilir. Sınırlama olarak direk yakıt miktarı verilebileceği gibi motor suyu sıcaklığının yakıt sisteminde kullanıldığı algoritmalarındaki çarpım katsayısı da değiştirilerek bu fonksiyon gerçekleştirilebilir.

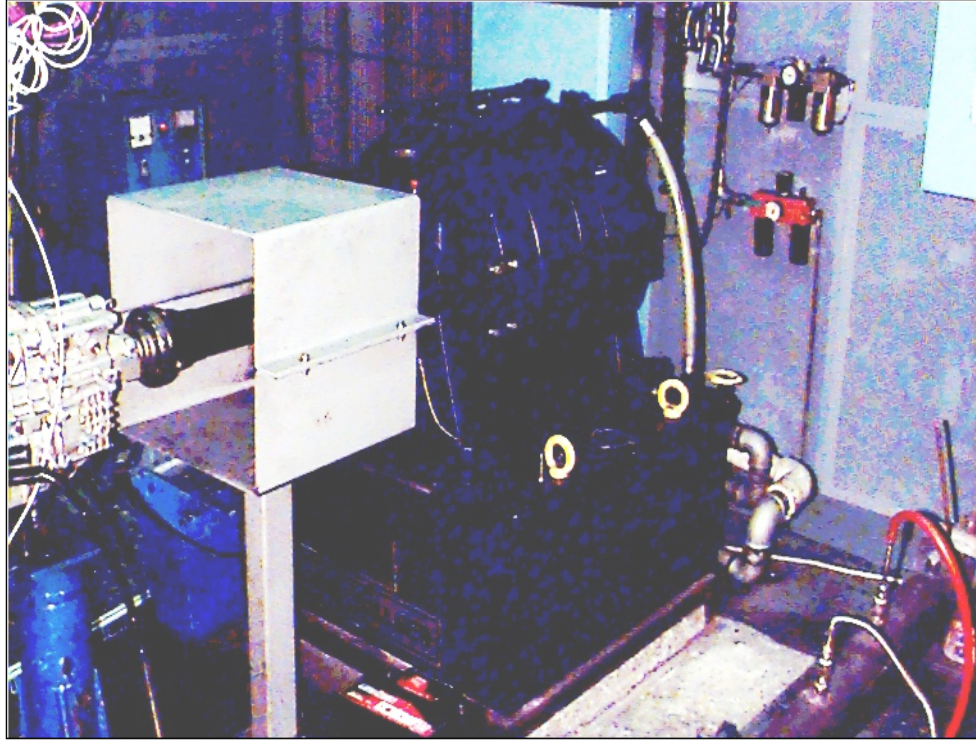
7. DENEYSEL ÇALIŞMALARDA KULLANILACAK EKİPMANLAR

7.1. Testin Yapılacağı Dinamometreye Ait Bilgiler

Motorun test edileceği dinamometre Zöllner Tipi dinamometre olup dayanım bilgileri aşağıdaki gibidir.

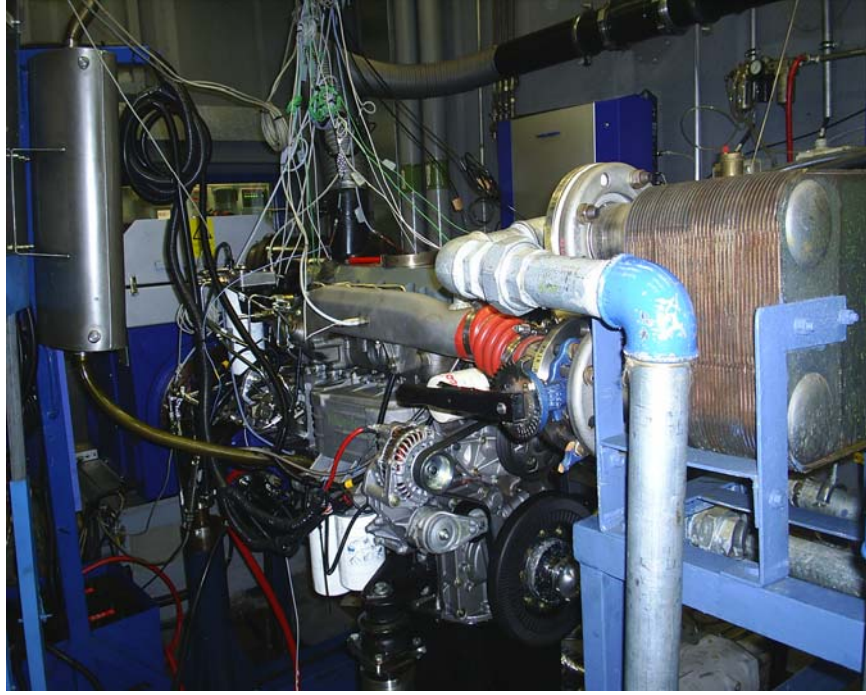
Çizelge 7.1 Dinamometre genel özellikleri (AVL Editions, 1995)

Özellik	Açıklama
Tork Kapasitesi (Nm)	4000 rpmde 1867 Nm
Güç Kapasitesi(KW)	440 KW 4000 rpm – 8000 rpm arası
Operasyon Tipi	Aktif ve Pasif Mod (Çevrim ve Frenleme)
Dönüş Yönü	Saat Yönü & Saat Yönü Ters
Hassasiyet	0,3 % Tork +/- 1 Nm
Kontrol Hassasiyeti	0,5% Tork +/- 5 rpm
Tork Değişkenliği	10 – 20 ms 0 maksimum tork için
Hız Değişkenliği	Nominal tork için 5000 rpm/sn



Şekil 7.1 Zöllner tipi dinamometre genel görünüm

Dinamometre testinde temel olarak motorun araç üzerindeki çalışması simüle edilmeye çalışılarak motorun çalışması için gerekli olan soğutma, hava emiş ve egzoz sistemleri kurularak motorun çalışması esnasında verdiği tork ölçülmektedir. Motor araç üzerindeki gibi aküden akım çekerek marş motoru ile çalışmaktadır. Gaz pedalı kontrolü ile motorun yüke bindirilmesi ise dinamometre kontrol panelinden sağlanmaktadır. Motor soğutma suyu aynen araç üzerinde bulunan radyatör ve fan ile bunu simüle eden eşanjör vasıtasıyla sağlanmaktadır. Motorun yakıt tüketimi, egzoz emisyon değerleri, verdiği tork değeri ve blow by gibi çalışma parametrelerinin ölçülmesi amacıyla cihazlar bulunmaktadır. Dinamometrede bağlı olan motorun ve odanın genel görünüşleri çeşitli açılardan aşağıdaki gibidir.



Şekil 7.2 Dinamometre bağı motor ve odanın genel görünümüleri

Dinamometrede yakıt ölçüm cihazı kullanılmaktadır. Yakıt ölçüm cihazı temel olarak içerisinde yakıt haznesi bulunan cihaza belirli miktar yakıtın alınarak bu yakıtın belirli zamanda motor gönderilmesiyle hesaplanmaktadır. Yakıt ölçüm cihazı dış görünümü aşağıdaki gibidir:



Şekil 7.3 Dinamometre yakıt ölçüm cihazı genel görünüm

Egzoz gazlarının emisyon değerlerini kontrol etmek ve özellikle de istenilen emisyon değerlerini sağlamak üzere motorun ilk kalibrasyonunun yapılması sırasında kullanılmaktadır. Temel çalışma prensibi egzoz ölçüm cihazında bulunan kalibrasyon gazlarının kullanılarak ölçüm cihazının sıfırlanması ve daha sonra motorun egzoz gazları ile kıyaslama yapılarak referans gazlara göre çıkan gaz miktarının ölçülmesidir. Egzoz ölçüm cihazı görünüm olarak aşağıdaki gibidir:



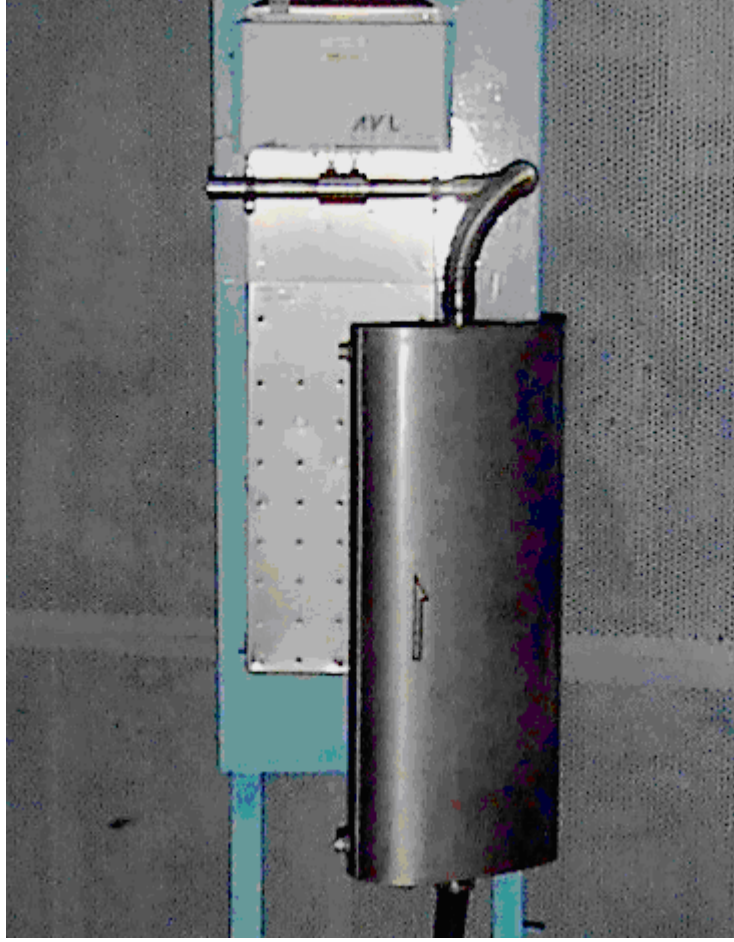
Şekil 7.4 Egzoz gazları ölçüm cihazı

Motorun çalışması sırasında duman değerini ölçmek amacıyla duman cihazı da bulunmaktadır. Duman cihazı içerisinde bulunan filtre kağıdı üzerinden egzoz gazını geçirerek burada bıraktığı izlere göre duman değerini hesaplamaktadır. Duman cihazı genel görünümü aşağıdaki gibidir:



Şekil 7.5 Duman cihazı genel görünüm

Motorun çalışması sırasında en önemli parametrelerden biri olarak yağ basıncına bakılmakta ve blow by değeri yani karterin içerisinde bulunan havanın yağ doymuşluğu ölçülmektedir. Blow by ölçüm cihazı karterin içerisinde bulunan havayı ölçmektedir. Bu değer belirlenen limitlerden fazla olması durumunda motorun yatak sarmasına neden olacağından dikkat edilmelidir. Blow by ölçüm cihazı genel görünüm olarak aşağıdaki gibidir.



Şekil 7.6 Blow by ölçüm cihazı genel görünüm

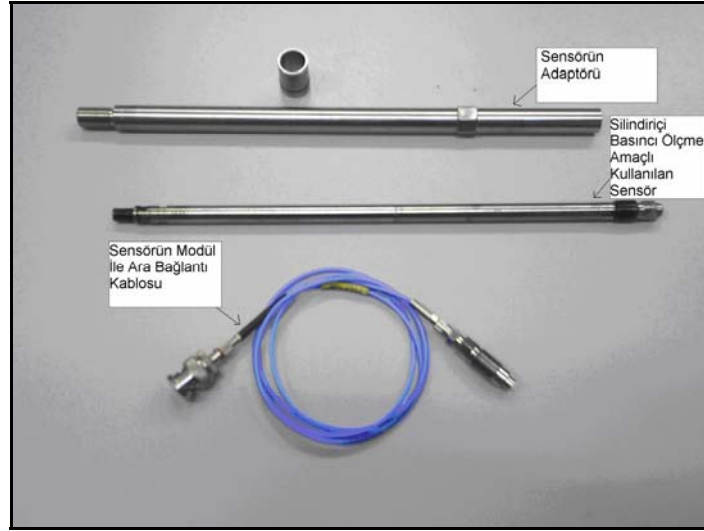
7.2. Silindir İçi Basınç Ölçümü İçin Sensör Ve Ara Yüzün Temel Çalışma Prensibi

İncelenecek sistemde ilk önce belirli sistem karakteristiğinde etkili olan belirli devirler belirlenerek bu devirlerdeki silindir içi basınçlar ölçülerek silindir içi basınçların değiştirilmesinin motorun yakıt tüketimi ve tork değerine etkisi ölçülerek SFC değerleri hesaplanacaktır.

7.2.1 Silindir içi basıncın ölçülmesi öncesi hazırlıklar

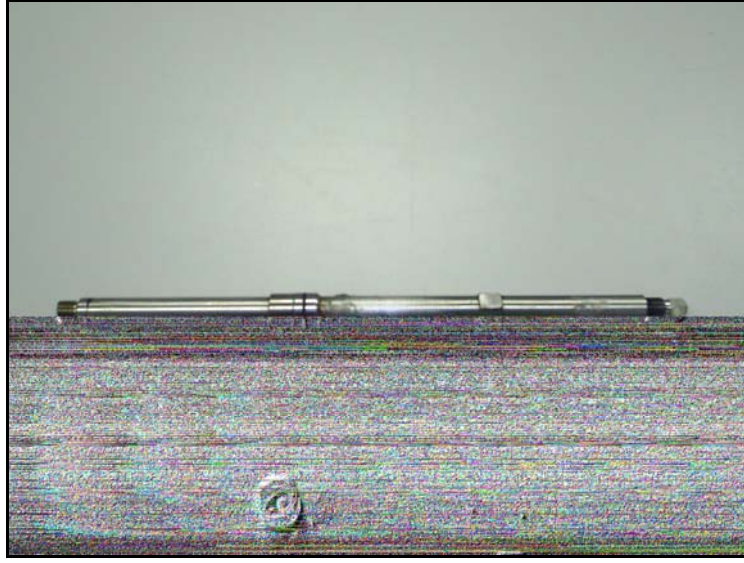
Silindir içi basıncın ölçülebilmesi amacıyla silindirin içerisinde yanma olduğunda oluşan basıncı algılayabilecek ancak silindirin içerisinde piston hareket ettiğinde

pistonun vurmayacağı pozisyonda sensörün yerleştirilmesi gerekmektedir. Basınç ölçümü için kullanılacak olan sensör ve adaptörünün resimleri aşağıdaki gibidir.



Şekil 7.7 Silindir içi basınç ölçüm için kullanılan sensör ve adaptörünün görüntüleri

Basıncı ölçülmek istenen silindir üzerinde bulunan kafanın iç kısmına silindire açılacak şekilde bir delik delinerek sensörün adaptörü bu deliğe yerleştirilir. Daha sonra basınç ölçüm sensörü bu adaptöre yerleştirilerek herhangi bir kaçağı önlemek amacıyla sızdırmazlığı sağlayacak olan sıvı conta ile doldurulur. Mavi kablo ile gösterilen bağlantı kablosu sensörün ara yüz ile olan bağlantısını sağlamak için kullanılmaktadır. Sensörün adaptör parçasının içerisindeki iken görünümü aşağıdaki gibidir.



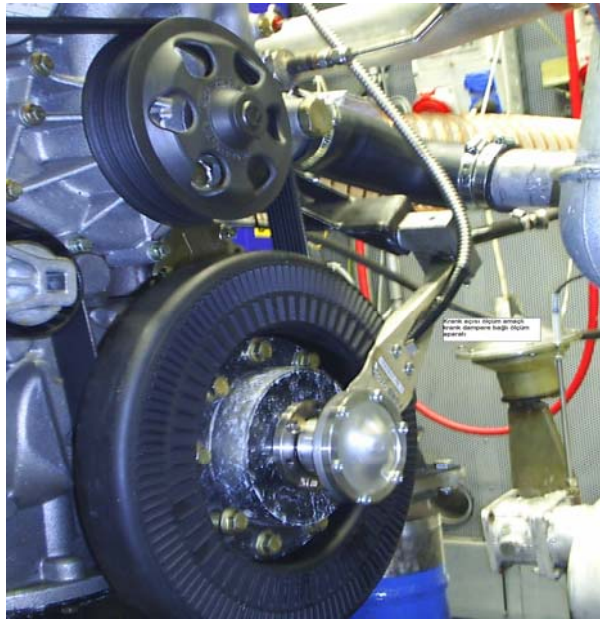
Şekil 7.8 Basınç ölçüm sensörünün adaptör içerisindeki görünümü

Silindir içi basınç (PFP) sensörü yukarıda gösterildiği gibi silindirini içerisine delinerek yerleştirilmiştir. Belirtilen sensör krank açısına bağlı olarak silindir içi basıncı eğri olarak görüntülemek amacıyla kullanılmaktadır. Sonuç olarak 720 derecelik krank açısı için bir silindir içi basınç dağılım eğrisi elde edilmektedir. Kullanılan AVL sensör aynı firmadan temin edilen seyyar ölçüm cihazı ve sensör ara yüzü ile birlikte kullanılmaktadır.



Şekil 7.9 Seyyar ölçüm cihazı ve monitörü genel görünüm

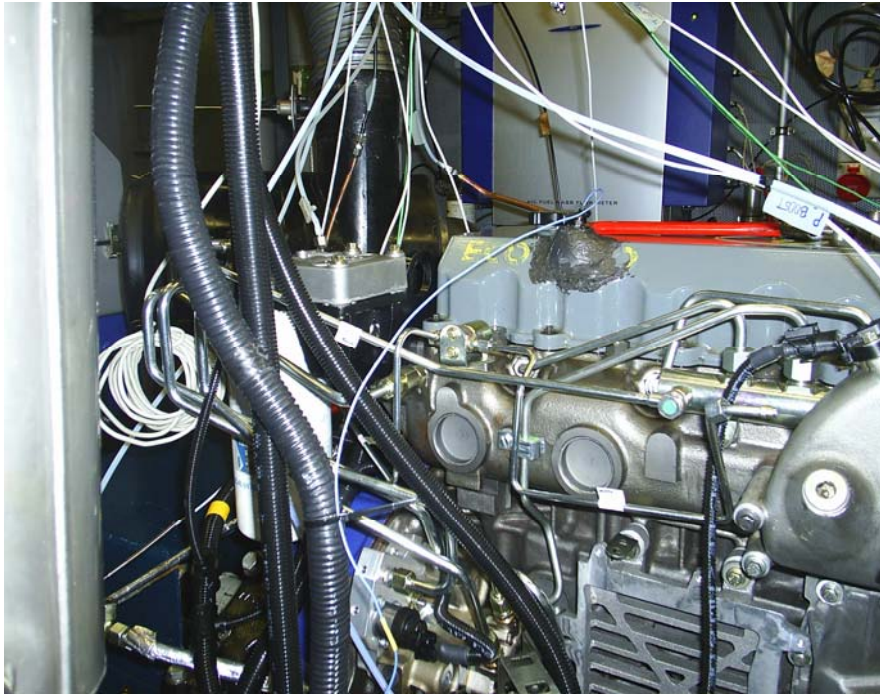
Sistemde ilk önce ölçüm yapılmak istenen silindirin üst ölü noktasının tepe yüksekliğine mesafesi programa giriliyor. Daha sonra manyetik alan prensibi ile çalışan krank milinin önündeki aparata takılı olan cihaz ölçüm yapılan silindirin zamanlamasını ayarlıyor. Böylece silindir basıncın hangi krank açısında hangi değerde ne kadar olduğu ölçülebiliyor. Silindir içi basıncın ölçülmesi amacıyla motorun üzerine bağlı düzenek aşağıdaki gibidir.



Şekil 7.10 Krank mili açısı ölçme amaçlı aparat genel görünüm



Şekil 7.11 Ölçüm amaçlı sensör bilgisayar bağlantı ara yüz genel görünüm



Şekil 7.12 Pfp sensör motor üzerinde genel görünüm

8. DENEYSEL ÇALIŞMA

8.1. İzlenecek Yöntem

Testi yapılacak olan motorun mevcut tork ve güç değerlerini sağlayan temel bir kalibrasyondan yola çıkılarak aşağıda verilen kriterlere göre yanmayı etkileyen parametrelerle oynanarak silindir içi basınç değişimini yanma performansına etkisi incelendi.

- 1) Motorun tork veya güç eğrisindeki kırılma noktaları belirlenerek,
- 2) Bu noktaları sağlayabilecek temel kalibrasyon çıkartılarak motor tork, yakıt tüketim ve SFC değerleri ölçülerek,
- 3) Ölçülmüş olan SFC değerinin düşürülmesi için motorun o devirlerdeki avansı, yakıt basıncı ve yakıt miktarı ile oynanarak yanma optimizasyonu sağlandı. Optimizasyon sırasında aşağıdaki kriterlere uyuldu:
 - a) Blok ve kafanın dayanım limitlerinin belirli bir oranda güvenlik faktörü bırakılarak maksimum yanma basıncı güvenlik limitinin altında bırakıldı,(Victor Reinz Company , 2000)
 - b) Motorda bulunan contaların sızdırmazlığı sağladığından emin olundu,
 - c) Motorun soğutma suyu sıcaklığı kontrol edilerek aşırı ısınmaya karşı korunması için limit değer girildi,(Direcions fort he Installation of Liquid-cooled diesel engines, 1993)
 - d) Yakıt pompasının ve ortak yayın sağlayabileceği maksimum yakıt basınçlarının güvenlik faktörü oranında altında kalınarak,
 - e) Düşük motor devirlerinde yüksek yakıt basıncı elde etmek amacıyla yakıt pompasının fazla zorlanmamasına dikkat edilerek,
 - f) Deney sonunda elde edilen noktalarda motor emisyon ve duman değerlerinin spek altında kalmasına dikkat edilerek,
 - g) Test esnasında özellik yağ basıncı ve blow by değerleri kontrol edilerek motorun zarar görmemesine dikkat edildi.

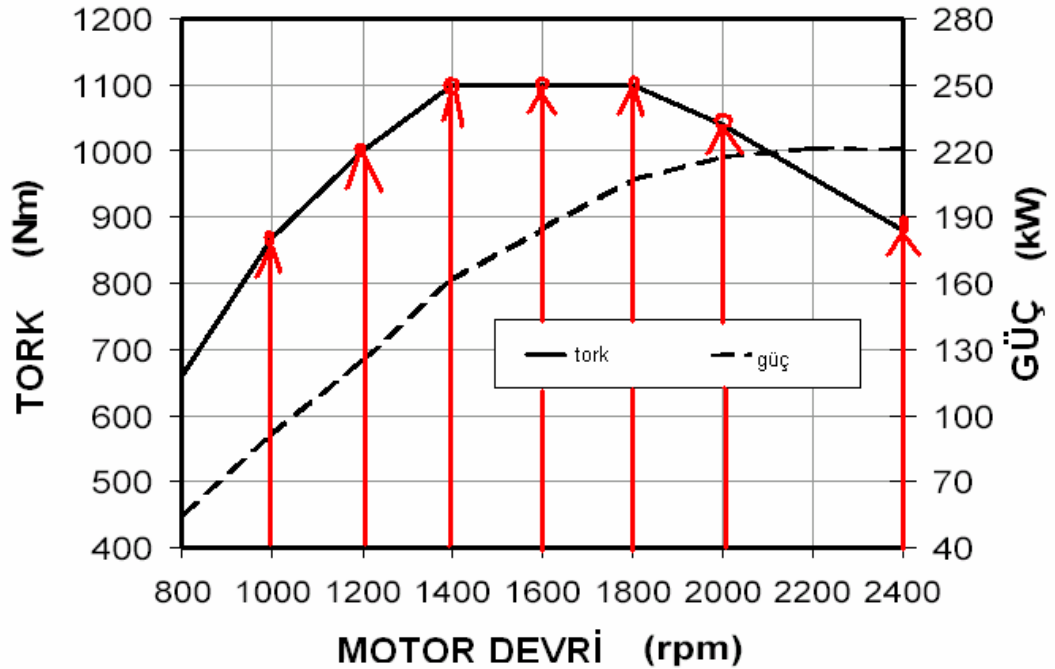
4) Deney sonucunda elde edilecek iyileşmenin matematiksel olarak formüle edilmesi sağlandı.

8.2. Motorun Mevcut Çalışma Koşullarının Belirlenmesi

Motorun tork veya güç eğrisine bakılarak çalışma yapılacak kritik noktalar seçilecektir. Seçim için aşağıdaki kriterler dikkate alındı:

- Kritik nokta olarak motorun tork eğrisinde maksimum torku verdiği devirler,
- Tork eğrisinde kırılmaların görüldüğü noktalar,
- Maksimum devir alındı.

İncelenecek olan motordaki kritik noktalar aşağıdaki gibi belirlendi.



Şekil 8.1 İncelenecek motordaki kritik noktaların belirlenmesi

Verilen grafikte görüldüğü üzere tork eğrisinin kırılma noktalarının 1000 rpm, 1300 rpm ,1450 rpm, 1600 rpm, 1800 rpm , 2000 rpm ve 2400 rpm olduğu görüldü. Ancak motorun normal şartlar altındaki kullanım devirler aralığının 1400 rpm üzeri olması sebebiyle 1000 rpm yerine 2200 rpm inceleme noktası olarak seçildi. İncelemeler %50 ve % 100 gaz pedalı pozisyonları için yapıldı.

- 1) Bu noktaları sağlayabilecek herhangi bir kalibrasyon oluşturularak dinamometre ölçümleri ile birlikte aşağıdaki tablo oluşturuldu:

Çizelge 8.1 Ölçülen Değerler

Motor Devri	Gaz Pedalı	Silindir içi Basınç	Ölçülen			Ölçülen Yakıt Miktarı	Silindiriçi Basınç PFP Max.	Krank Açısı SOL_E	Yakıt Basıncı Prail	Püskürtme Miktarı
			Tork	Güç	SFC					
rpm	%	bar	Nm	KW	g/KWh	kg/h	Bar	°CA	bar	mg/str
2400	100	165	866,6	217,8	226,8	49,40	143	-7,30	1340	114,3
2400	50	165	505,4	127,0	216,3	27,50	135	-14,40	1260	80,7
2200	100	180	927,8	213,7	203,8	43,60	180	-14,40	1340	110,0
2200	50	165	527,5	121,5	209,6	25,50	147	-17,00	1300	64,3
2000	100	180	1000,7	209,7	199,3	41,80	181	-13,10	1340	116,1
2000	50	165	536,2	112,3	205,9	23,10	146	-17,10	1300	64,2
1800	100	180	1085,2	204,7	196,5	40,20	181	-11,60	1340	124,1
1800	50	160	540,3	102,0	204,5	20,80	143	-17,10	1300	64,3
1600	100	170	1091,1	182,9	195,6	35,80	172	-9,80	1340	124,2
1600	50	165	538,0	90,1	205,6	18,53	139	-17,20	1300	64,3
1450	100	160	1089,7	164,2	203,8	33,50	131	-4,50	900	129,1
1450	50	165	514,8	77,6	203,7	15,80	115	-13,30	700	61,0
1300	100	170	1083,8	147,7	204,9	30,30	141	-4,50	1200	129,3
1300	50	165	506,1	68,9	206,7	14,20	122	-15,20	990	60,9

Tablo ölçülen silindir içi basınç değerleri maksimum olarak verildi.

- 2) Yapılacak test çalışmasında motorun optimum verimle çalışmasını sağlamak amacıyla motorun ölçülen SFC değerleri ve yakıt tüketim değerleri düşürülmeye çalışıldı. Deneysel olarak sırasıyla 150 bar, 155 bar, 160 bar, 165 bar, 170 bar, 175 bar ve 180 bar silindir içi basınç değerlerine ulaşılarak motorun yukarıda ölçülen değerleri ölçüldü. Silindir içi basıncın tutturulması amacıyla

- Öncelikle yakıt miktarları arttırılarak silindir içi basınç değerlerinin istenilen seviyeye ulaşması sağlanarak,
- Sonrasında ise yakıt basınçları arttırılarak yakıt miktarları düşürülmeye çalışarak aynı silindir içi basınç değerleri sağlanmaya çalışıldı.

Yukarıdaki tabloda verilen kalibrasyon değerleri üzerinden hareket edilerek hedeflenen silindir içi basınç değerlerine ulaşılmaya çalışıldı. Ancak yakıt miktarının aşırı artması durumunda baz kalibrasyon değerlerinden uzaklaşımayarak ulaşılabilen maksimum mantıksal silindir içi basınca ulaşılmaya çalışıldı.

9.DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

9.1. Ölçüm Sonuçları

Yukarıda belirlenen değişik silindir içi basınç değerleri için ölçülen değerler aşağıdaki gibi verilmiştir.

Çizelge9.1 145 bar pfp ile tüm ölçüm sonuçları

Motor Hızı	Gaz Pedalı Konumu	Ölçülen			Ölçülen Yakıt Miktarı	Silindiriçi Basınç	Krank Açısı	Yakıt Basıncı
		Tork	Güç	SFC		PFP Max.	SOI_E	Prail
rpm	%	Nm	kW	g/kWh	kg/h	Bar	°CA	bar
2400	100	863,9	217,0	228,0	49,46	145	-7,47	1340
2200	100	980,6	211,5	219,0	46,23	144	-6,46	1329
2000	100	1050,2	205,3	212,0	43,49	142	-5,12	1300
1800	100	1045,5	197,9	207,0	40,94	142	-4,04	1240
1600	100	1053,1	175,1	205,0	35,90	139	-3,82	1190
1450	100	1053,1	158,7	208,0	33,02	131	-3,85	1000
1300	100	1040,1	141,5	212,0	29,96	137	-4,00	1097
2400	50	456,4	114,7	243,0	27,86	107	-6,86	860
2200	50	486,3	112,0	227,0	25,40	101	-6,48	1000
2000	50	500,3	104,7	221,0	23,19	97	-5,49	960
1800	50	505,7	95,3	218,0	20,80	92	-4,17	904
1600	50	511,2	85,6	215,0	18,41	93	-4,04	866
1450	50	504,6	76,1	216,0	16,45	86	-4,04	650
1300	50	516,7	70,3	212,0	14,91	96	-4,04	800

Çizelge 9.2 150 bar pfp ile tüm ölçüm sonuçları

Motor Hızı	Gaz Pedalı Konumu	Ölçülen			Ölçülen Yakıt Miktarı	Silindiriçi PFP Max.	Krank Açısı SOI_E	Yakıt Basıncı Prail
		Tork	Güç	SFC				
rpm	%	Nm	kW	g/kWh	kg/h	Bar	°CA	bar
2400	100	862,9	216,8	229,0	49,60	144	-7,03	1340
2200	100	932,1	214,6	216,0	46,30	150	-7,32	1340
2000	100	997,9	208,9	208,0	43,40	150	-6,61	1340
1800	100	1082,1	203,9	204,0	41,60	150	-4,99	1340
1600	100	1080,3	180,9	202,0	36,60	148	-4,55	1340
1450	100	1075,2	162,1	208,0	33,70	134	-4,24	900
1300	100	1070,9	145,7	211,0	30,70	143	-4,20	1200
2400	50	503,7	126,5	218,0	27,60	138	-14,00	1260
2200	50	521,8	120,2	212,0	25,50	145	-16,00	1260
2000	50	531,2	111,2	208,0	23,10	147	-17,01	1260
1800	50	533,7	100,6	207,0	20,80	145	-17,01	1260
1600	50	533,9	89,4	206,0	18,50	136	-16,00	1260
1450	50	513,4	77,4	205,0	15,90	116	-13,01	699
1300	50	503,2	68,5	209,0	14,30	123	-15,01	1000

Çizelge 9.3 155 bar pfp ile tüm ölçüm sonuçları

Motor Hızı	Gaz Pedalı Konumu	Ölçülen			Ölçülen Yakıt Miktarı	Silindiriçi Basıncı PFP Max.	Krank Açısı SOI_E	Yakıt Basıncı Prail
		Tork	Güç	SFC				
rpm	%	Nm	kW	g/kWh	kg/h	Bar	°CA	bar
2400	100	863,7	217,0	229,0	49,60	145	-7,03	1340
2200	100	927,1	213,5	212,0	45,30	155	-8,55	1340
2000	100	993,4	207,9	206,0	42,80	155	-7,56	1340
1800	100	1080,5	203,6	202,0	41,10	155	-5,93	1340
1600	100	1084,3	181,6	200,0	36,40	155	-5,98	1340
1450	100	1073,7	161,8	208,0	33,60	133	-4,26	900
1300	100	1074,2	146,2	210,0	30,70	142	-4,17	1200
2400	50	502,2	126,2	219,0	27,60	135	-14,00	135
2200	50	526,4	121,1	211,0	25,60	150	-16,98	150
2000	50	534,9	112,0	208,0	23,20	148	-17,01	148
1800	50	540,9	101,9	205,0	20,90	146	-17,01	146
1600	50	534,9	89,6	207,0	18,60	141	-17,01	141
1450	50	512,0	77,2	206,0	15,90	116	-13,01	116
1300	50	503,7	68,5	209,0	14,30	124	-15,01	124

Çizelge 9.4 160 bar pfp ile tüm ölçüm sonuçları

Motor Hızı	Gaz Pedalı Konumu	Ölçülen			Ölçülen Yakıt Miktarı	Silindiriçi Basınç PFP Max.	Krank Açısı SOI_E	Yakıt Basıncı Prail
		Tork	Güç	SFC				
rpm	%	Nm	kW	g/kWh	kg/h	Bar	°CA	bar
2400	100	866,0	217,8	227,4	49,50	144	-7,30	1340
2200	100	943,2	217,4	207,7	45,10	161	-10,20	1340
2000	100	1004,6	210,7	202,0	42,60	161	-9,00	1340
1800	100	1091,5	206,1	198,0	40,80	160	-7,50	1340
1600	100	1089,7	182,8	196,9	36,00	160	-7,60	1340
1450	100	1089,7	164,2	203,8	33,50	131	-4,50	900
1300	100	1077,4	147,1	205,1	30,20	141	-4,50	1190
2400	50	504,0	126,7	216,7	27,50	137	-14,30	1260
2200	50	527,5	121,6	209,8	25,50	148	-17,00	1300
2000	50	535,5	112,3	206,1	23,10	147	-17,10	1300
1800	50	540,3	102,0	204,5	20,80	143	-17,10	1300
1600	50	537,3	90,1	205,4	18,50	138	-17,20	1300
1450	50	512,7	77,2	204,4	15,80	114	-13,30	700
1300	50	505,4	69,0	207,3	14,30	121	-15,20	990

Çizelge 9.5 165 bar pfp ile tüm ölçüm sonuçları

Motor Hızı	Gaz Pedalı Konumu	Ölçülen			Ölçülen Yakıt Miktarı	Silindiriçi Basınç PFP Max.	Krank Açısı SOI_E	Yakıt Basıncı Prail
		Tork	Güç	SFC				
rpm	%	Nm	kW	g/kWh	kg/h	Bar	°CA	bar
2400	100	866,6	217,8	226,8	49,40	143	-7,30	1340
2200	100	933,3	215,0	205,5	44,20	166	-11,40	1340
2000	100	999,7	209,6	200,0	41,90	165	-10,20	1340
1800	100	1085,7	204,8	196,6	40,30	165	-8,60	1340
1600	100	1085,3	182,0	196,2	35,70	165	-8,70	1340
1450	100	1088,1	164,2	204,3	33,50	132	-4,50	900
1300	100	1074,4	146,3	205,7	30,10	138	-4,50	1200
2400	50	505,4	127,0	216,3	27,50	135	-14,40	1260
2200	50	527,5	121,5	209,6	25,50	147	-17,00	1300
2000	50	536,2	112,3	205,9	23,10	146	-17,10	1300
1800	50	537,7	101,3	205,6	20,80	142	-17,10	1300
1600	50	538,0	90,1	205,6	18,50	139	-17,20	1300
1450	50	514,8	77,6	203,7	15,80	115	-13,30	700
1300	50	506,1	68,9	206,7	14,20	122	-15,20	990

Çizelge 9.6 170 bar pfp ile tüm ölçüm sonuçları

Motor Hızı	Gaz Pedalı Konumu	Ölçülen			Ölçülen Yakıt Miktarı	Silindiriçi Basınç PFP Max.	Krank Açısı SOI_E	Yakıt Basıncı Prail
		Tork	Güç	SFC				
rpm	%	Nm	kW	g/kWh	kg/h	Bar	°CA	bar
2400	100	862,4	216,5	227,7	49,30	141	-7,20	1340
2200	100	934,8	215,4	206,4	44,40	172	-12,40	1340
2000	100	1001,3	210,0	199,9	42,00	172	-11,30	1340
1800	100	1085,0	204,5	196,8	40,20	171	-9,60	1340
1600	100	1091,1	182,9	195,6	35,80	172	-9,80	1340
1450	100	1090,3	164,5	204,9	33,70	133	-4,40	900
1300	100	1083,8	147,7	204,9	30,30	141	-4,50	1200
2400	50	502,2	126,1	218,3	27,50	135	-14,30	1260
2200	50	528,0	121,6	210,9	25,70	149	-17,10	1300
2000	50	537,6	112,7	206,8	23,30	148	-17,00	1300
1800	50	541,3	102,1	205,6	21,00	144	-17,20	1300
1600	50	538,3	90,3	206,6	18,60	140	-17,20	1300
1450	50	515,7	77,8	204,7	15,90	117	-13,30	700
1300	50	507,2	69,1	207,9	14,40	122	-15,30	1000

Çizelge 9.7 175 bar pfp ile tüm ölçüm sonuçları

Motor Hızı	Gaz Pedalı Konumu	Ölçülen			Ölçülen Yakıt Miktarı	Silindiriçi Basınç PFP Max.	Krank Açısı SOI_E	Yakıt Basıncı Prail
		Tork	Güç	SFC				
rpm	%	Nm	kW	g/kWh	kg/h	Bar	°CA	bar
2400	100	861,8	216,6	228,4	49,50	143	-7,30	1340
2200	100	930,3	214,3	205,3	44,00	175	-13,30	1340
2000	100	994,1	206,9	202,0	41,80	176	-12,30	1340
1800	100	1080,6	203,8	197,4	40,20	176	-10,70	1340
1600	100	1077,0	180,5	197,5	35,60	176	-10,90	1340
1450	100	1081,5	163,3	205,5	33,60	131	-4,40	900
1300	100	1072,1	146,2	206,4	30,20	139	-4,50	1200
2400	50	498,9	125,4	219,7	27,50	134	-14,30	1260
2200	50	521,2	120,0	213,3	25,60	148	-17,10	1300
2000	50	530,3	111,0	209,3	23,20	147	-17,00	1300
1800	50	532,8	100,4	208,1	20,90	142	-17,20	1300
1600	50	530,0	88,9	208,8	18,50	137	-17,20	1300
1450	50	510,6	77,2	205,3	15,80	114	-13,30	700
1300	50	500,0	68,2	209,7	14,30	122	-15,20	1000

Çizelge 9.8 180 bar pfp ile tüm ölçüm sonuçları

Motor Hızı	Gaz Pedalı Konumu	Ölçülen			Ölçülen Yakıt Miktarı	Silindiriçi Basınç PFP Max.	Krank Açısı SOI E	Yakıt Basıncı Prail
		Tork	Güç	SFC				
rpm	%	Nm	kW	g/kWh	kg/h	Bar	°CA	bar
2400	100	863,9	217,1	228,0	49,50	142	-7,30	142
2200	100	927,8	213,7	203,8	43,60	180	-14,40	180
2000	100	1000,7	209,7	199,3	41,80	180	-13,10	181
1800	100	1085,2	204,7	196,5	40,20	181	-11,60	181
1600	100	1083,5	181,8	196,6	35,70	181	-11,80	181
1450	100	1086,6	163,9	204,8	33,60	132	-4,50	132
1300	100	1076,5	146,5	205,6	30,10	141	-4,50	141
2400	50	501,2	125,9	218,7	27,50	136	-14,40	1260
2200	50	522,6	120,4	212,4	25,60	149	-17,10	1300
2000	50	529,6	111,0	209,1	23,20	148	-17,10	1300
1800	50	535,0	100,9	207,1	20,90	143	-17,20	1300
1600	50	530,1	88,9	208,9	18,60	138	-17,20	1300
1450	50	513,1	77,3	204,9	15,80	115	-13,30	700
1300	50	501,9	68,4	208,8	14,30	124	-15,20	1000

9.2 Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması ve Denemelerdeki Temel Kriterler

9.2.1 2400 rpm motor devri %100 yük durumunda

Çalışma esnasında maksimum yakıt basıncının motor devri ile orantılı olarak çalışan yakıt pompası tarafından sağlanabildiği için bu parametrenin tüm denemelerde çalışılan devirde yakıt pompasının sağlayabileceği değer altında girilmesine karar verilmiştir. Ana haritadan hareket edilerek SFC değerini minimize edecek şekilde püskürtülen yakıt miktarı ve avans değeri ile oynanmıştır.

9.2.2 2400 rpm motor devri %50 yük durumunda

2400 rpm %100 için yapılan çalışmadan hareket edilerek silindir içi basıncın yukarıdaki çalışmada kullanılan silindir içi basınçtan düşük olması gerektiği bilinci ile

hareket edilerek bunun sağlanması amacıyla öncelikli olarak motorun devri ile orantılı olarak sağlanabilecek maksimum yakıt basıncının kullanılması sağlanmıştır.

9.2.3 2200 rpm motor devri %100 yük durumunda

Yakıt basıncı olarak maksimum yakıt basıncı seçilmiştir. Silindir içi basınç değerleri hedef tork değerinin yüksek olması sebebiyle 2400 rpm'e göre daha rahat müdahale edilebilmiştir. Avans açısının öne çekilerek püskürtülen yakıt miktarı azaltılmaya çalışılmıştır. Hedeflenen silindir içi basınç değerlerine 2400 rpm'e göre daha çok yaklaşmıştır.

9.2.4 2200 rpm motor devri %50 yük durumunda

Silindir içi basınç hedeflenen minimum deneme değerine yakın tutulmaya çalışılarak yakıt basıncı 2400 rpm %50'ye göre daha yüksek değerlerde seçilmeye çalışılmıştır.

9.2.5 2000 rpm motor devri %100 yük durumunda

Hedeflenen maksimum tork noktasına yaklaşılması sebebiyle yakıt basınç değerleri maksimum olarak seçilerek, hedeflenen maksimum silindir içi basınç değerlerine ulaşılmaya çalışılmıştır. Avans açıları öne çekilmeye çalışılarak bu hedefin tutturulmasına çalışılmıştır.

9.2.6 2000 rpm motor devri %50 yük durumunda

Silindir içi basınç değeri olarak minimuma yakın tutulmaya çalışılarak, yakıt basıncı minimum seçilerek denemeler yapılmıştır.

9.2.7 1800 rpm motor devri %100 yük durumunda

Hedeflenen tork eğrisinin maksimumunun sağlanmasıyla hedeflenen maksimum silindir içi basınç değerleri tam olarak tutturulabilmiştir. Avans açıları öne çekilerek yakıt miktarı düşürülmeye çalışılmıştır.

9.2.8 1800 rpm motor devri %50 yük durumunda

Sağlanabilen maksimum yakıt basıncı kullanılarak hedeflenen minimum SFC değeri sağlanacak şekilde püskürtülen yakıt miktarı ile oynanmıştır.

9.2.9 1600 rpm motor devri %100 yük durumunda

Yakıt basıncı maksimum tutularak avans açıları ile oynanmıştır. Ancak maksimum silindir içi basınca üst devirde ulaşıldığı için ve özellikle kafa contasının dayanım koşulları sebebiyle özellikle 175 bar pfp ve 180 bar pfp sağlanmasına çalışılmamıştır. Bundan sonraki denemelerde de mümkün olduğunca blok, kafa ve kafa contasının mukavemeti nedeniyle maksimum silindir içi basınca ulaşılmasına çalışılmayacaktır.

9.2.10 1600 rpm motor devri %50 yük durumunda

%100 gaz pozisyonundan hareketle silindir içi basınç minimum pfp değerine yakın olması sağlanacak şekilde denemeler yapılmıştır.

9.2.11 1450 rpm motor devri %100 yük durumunda

Tork eğrisinde kırılma noktası olması sebebiyle bu devirlerde geçişte motorun düzensiz olarak çalışmaması için silindir içi basınç değerleri sağlanabilenin altında tutulmuştur. Yakıt basınçlarına bakıldığında silindir içi basınç değerlerini düşürülerek deneme yapılmıştır.

9.2.12 1450 rpm motor devri %50 yük durumunda

%100 pozisyona göre yakıt miktarları biraz daha kısılarak SFC optimizasyonu sağlanmaya çalışılmıştır. Değerler bakıldığında silindir içi basınç değerlerinin önceki denemelere göre çok düşük olarak elde edilebildiği görülmektedir.

9.2.13 1300 rpm motor devri %100 yük durumunda

Tork eğrisinin bu devirde lineer olması sebebiyle silindir içi basınç değerleri bir miktar arttırılmasında sakınca görülmemiştir. Yakıt basıncı değerleri pompanın sağlayabileceği maksimum olarak seçilmiştir.

9.2.14 1300 rpm motor devri %50 yük durumunda

SFC optimizasyonun sağlanabilmesi için özellikler avans açıları öne çekilmiştir.

Denemelerde özet olarak aşağıdaki kriterlere dikkat edilmiştir.

- Minimum SFC değeri sağlanmaya çalışılacak,
- Min. SFC sağlanmaya çalışılırken motorun karakteristik tork değeri yakalanacak,
- Aşırı yakıt artışından uzak durulacak,
- Devirler arası geçişlerden avansta motor vuruntusu olmaması açısından krank açılarının yakın tutulmasına dikkat edilecek,
- Yakın SFC değerlerinde öncelikli olarak motorun istenen torca maksimum yakın olmasına dikkat edilecek, buna uygun olarak en küçük SFC değeri yerine yakın olan SFC değeri seçilecektir. Bunun için öncelikle tork kontrolü yapıldıktan sonra PFP değerlerine göre SFC ve yakıt tüketimi grafikleri çizilerek minimuma göre seçim yapılacaktır.
- Kafa contası, blok ve kafa mukavemeti nedeniyle maksimum pedal pozisyonunda motor devirlerine bağlı olarak maksimum silindir içi basınca tork eğrisine göre maksimum torkun elde edildiği maksimum devirde ulaşılmaya çalışılacaktır. Ani

olarak silindir içi basınç değişimlerinden uzak durulacaktır. Mukavemet sebebiyle aynı SFC değerlerini sağlayan düşük silindir içi basınç değerleri olması durumunda bu değerler tercih edilecektir.

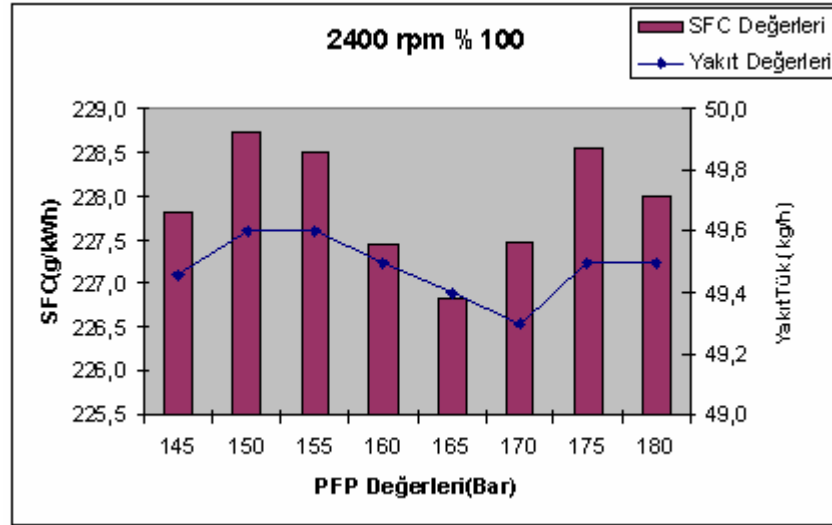
9.3 Ölçüm Sonuçlarına Göre Optimizasyon

9.3.1 2400 rpm motor devri %100 yük çalışma durumuna göre seçim

Değerlere baktığımızda 165 bar pfp değeri ile minimum SFC değeri, 170 bar pfp değeri ile minimum yakıt tüketimi sağlanmaktadır. Daha fazla tork elde edileceği için 165 bar pfp değeri veren haritaların seçilmesi uygundur.

Çizelge 9.9 2400 rpm %100 yük ölçüm değerleri tablosu

Silindir içi Basınç	Motor Hızı	Gaz Pedalı Konumu	Ölçülen			Ölçülen Yakıt Miktarı	Silindir içi	Krank	Yakıt	Püskürtme
			Tork	Güç	SFC		Basınç	Açısı	Basıncı	Miktarı
bar	rpm	%	Nm	kW	g/kWh	kg/h	Bar	°CA	bar	mg/str
145	2400	100	863,9	217,1	227,8	49,46	145	-7,47	1340	114,5
150			862,9	216,9	228,7	49,60	144	-7,03	1340	114,8
155			863,7	217,1	228,5	49,60	145	-7,03	1340	114,8
160			866,0	217,6	227,4	49,50	144	-7,30	1340	114,6
165			866,6	217,8	226,8	49,40	143	-7,30	1340	114,4
170			862,4	216,7	227,5	49,30	141	-7,20	1340	114,1
175			861,8	216,6	228,6	49,50	143	-7,30	1340	114,6
180			863,9	217,1	228,0	49,50	142	-7,30	1340	114,6



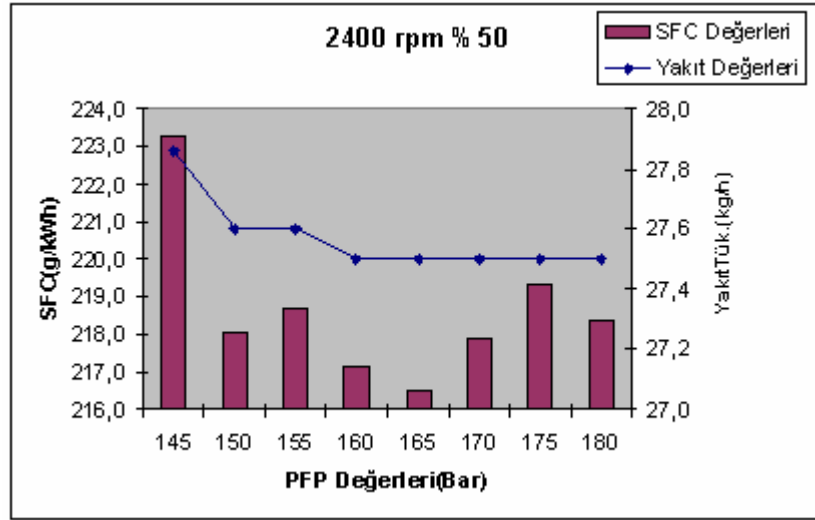
Şekil 9.1 2400 rpm %100 yük ölçüm değerleri SFC grafiği

9.3.2 2400 rpm motor devri %50 yük çalışma durumuna göre seçim

Değerlere bakıldığında yakıt tüketim değeri ve SFC değeri açısından 165 bar pfp değerinin uygun olduğu görülmektedir.

Çizelge 9.10 2400 rpm %50 yük ölçüm değerleri tablosu

Silindiriçi Basınç	Motor Hızı	Gaz Pedalı Konumu	Ölçülen			Ölçülen Yakıt Miktarı	Silindiriçi Basınç PFP Max.	Krank Açısı SOI_E	Yakıt Basıncı Prail	Püskürtme Miktarı
			Tork	Güç	SFC					
bar	rpm	%	Nm	kW	g/kWh	kg/h	Bar	°CA	bar	mg/str
145	2400	50	496,4	124,8	223,3	27,86	107	-6,86	860	64,5
150			503,7	126,6	218,0	27,60	138	-14,00	1260	63,9
155			502,2	126,2	218,7	27,60	135	-14,00	1260	63,9
160			504,0	126,7	217,1	27,50	137	-14,30	1260	63,7
165			505,4	127,0	216,5	27,50	135	-14,40	1260	63,7
170			502,2	126,2	217,9	27,50	135	-14,30	1260	63,7
175			498,9	125,4	219,3	27,50	134	-14,30	1260	63,7
180			501,2	126,0	218,3	27,50	136	-14,40	1260	63,7



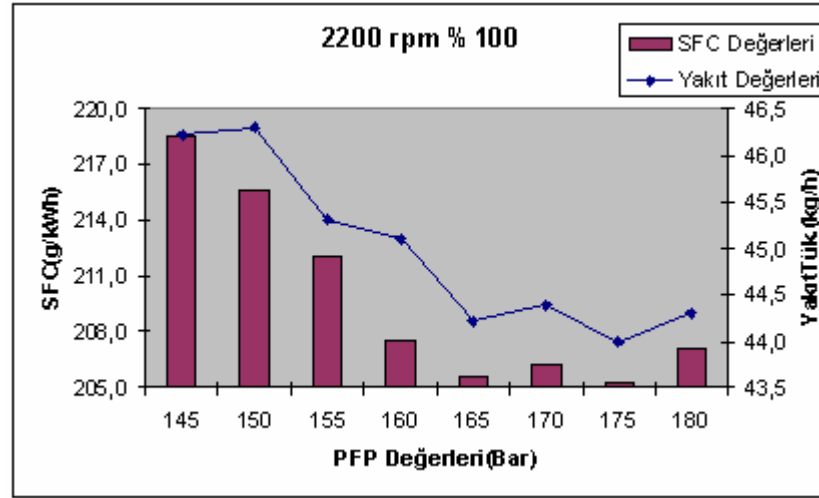
Şekil 9.2 2400 rpm %50 yük ölçüm değerleri SFC grafiği

9.3.3 2200 rpm motor devri %100 yük çalışma durumuna göre seçim

175 bar pfp değerinde minimum SFC ve yakıt tüketiminin sağlandığı görülmektedir.

Çizelge 9.11 2200 rpm %100 yük ölçüm değerleri tablosu

Silindiriçi Basınç bar	Motor Hızı rpm	Gaz Pedali Konumu %	Ölçülen			Ölçülen Yakıt Miktarı kg/h	Silindiriçi Basınç PFP Max. Bar	Krank Açısı SOI_E °CA	Yakıt Basıncı bar	Püskürtme Miktarı mg/str
			Tork Nm	Güç kW	SFC g/kWh					
145	2200	100	918,3	211,6	218,5	46,23	144	-6,46	1329	116,7
150			932,1	214,7	215,6	46,30	150	-7,32	1340	116,9
155			927,1	213,6	212,1	45,30	155	-8,55	1340	114,4
160			943,2	217,3	207,6	45,10	161	-10,20	1340	113,9
165			933,3	215,0	205,6	44,20	166	-11,40	1340	111,6
170			934,8	215,4	206,2	44,40	172	-12,40	1340	112,1
175			930,3	214,3	205,3	44,00	175	-13,30	1340	111,1
180			928,1	213,8	207,1	44,30	180	-13,40	1340	111,9



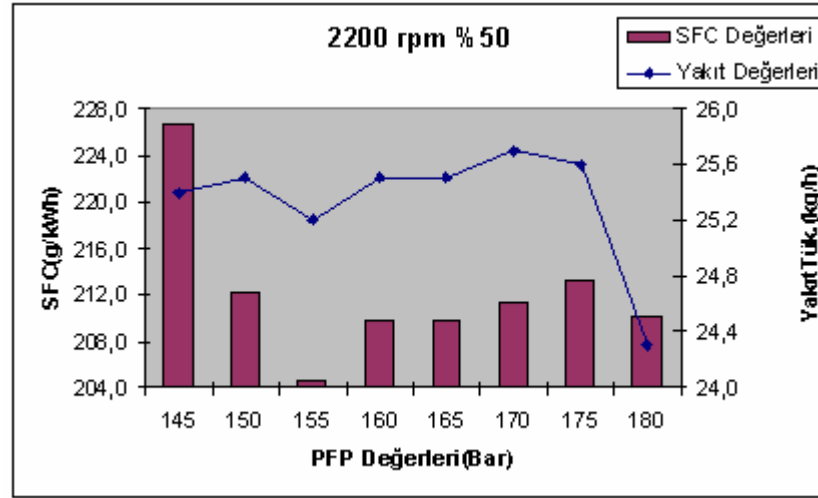
Şekil 9.3 2200 rpm %100 yük ölçüm değerleri SFC grafiği

9.3.4 2200 rpm motor devri %50 yük çalışma durumuna göre seçim

155 pfp değerlerinin de minimum SFC değerlerinin sağlandığı görülmektedir.

Çizelge 9.12 2200 rpm %50 yük ölçüm değerleri tablosu

Silindiriçi Basınç	Motor Hızı	Gaz Pedalı Konumu	Ölçülen			Ölçülen Yakıt Miktarı	Silindiriçi Basınç PFP Max.	Krank Açısı SOL_E	Yakıt Basıncı Prail	Püskürtme Miktarı
			Tork	Güç	SFC					
bar	rpm	%	Nm	kW	g/kWh	kg/h	Bar	°CA	bar	mg/str
145	2200	50	486,3	112,0	226,7	25,40	101	-6,48	1000	64,1
150			521,8	120,2	212,1	25,50	145	-16,00	1260	64,4
155			534,9	123,2	204,5	25,20	148	-17,01	1280	63,7
160			527,5	121,5	209,8	25,50	148	-17,00	1300	64,4
165			527,5	121,5	209,8	25,50	147	-17,00	1300	64,4
170			528,0	121,6	211,3	25,70	149	-17,10	1300	64,9
175			521,2	120,1	213,2	25,60	148	-17,10	1300	64,6
180			501,9	115,6	210,2	24,30	124	-15,20	1100	61,4



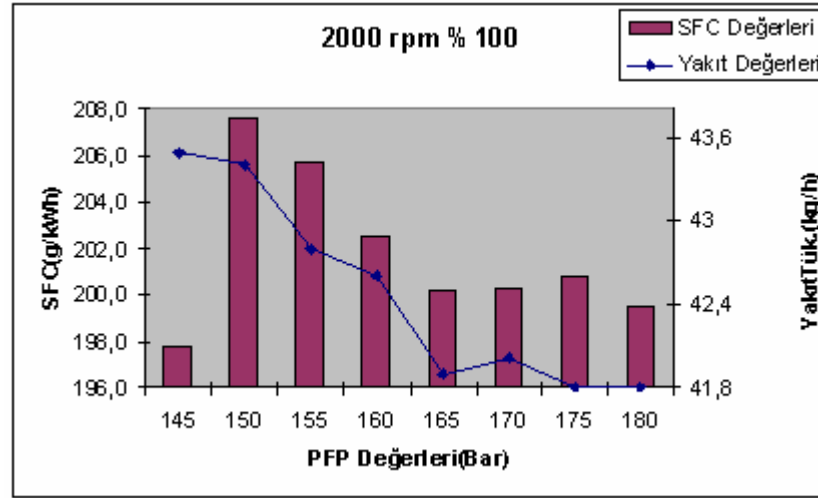
Şekil 9.4 2200 rpm %50 yük ölçüm değerleri SFC grafiği

9.3.5 2000 rpm motor devri %100 yük çalışma durumuna göre seçim

180 bar pfp değerinde minimum SFC ve yakıt tüketiminin sağlandığı görülmektedir.

Çizelge 9.13 2000 rpm %100 yük ölçüm değerleri tablosu

Silindiriçi Basınç	Motor Hızı rpm	Gaz Pedalı Konumu %	Ölçülen			Ölçülen Yakıt Miktarı kg/h	Silindiriçi Basınç PFP Max. Bar	Krank Açısı SOL_E °CA	Yakıt Basıncı Prail bar	Püskürtme Miktarı mg/str
			Tork Nm	Güç kW	SFC g/kWh					
145	2000	100	1050,2	220,0	197,7	43,49	142	-5,12	1300	120,8
150			997,9	209,0	207,7	43,40	150	-6,61	1340	120,6
155			993,4	208,1	205,7	42,80	155	-7,56	1340	118,9
160			1004,6	210,4	202,5	42,60	161	-9,00	1340	118,3
165			999,7	209,4	200,1	41,90	165	-10,20	1340	116,4
170			1001,3	209,7	200,3	42,00	172	-11,30	1340	116,7
175			994,1	208,2	200,8	41,80	176	-12,30	1340	116,1
180			1000,7	209,6	199,5	41,80	180	-13,10	1340	116,1



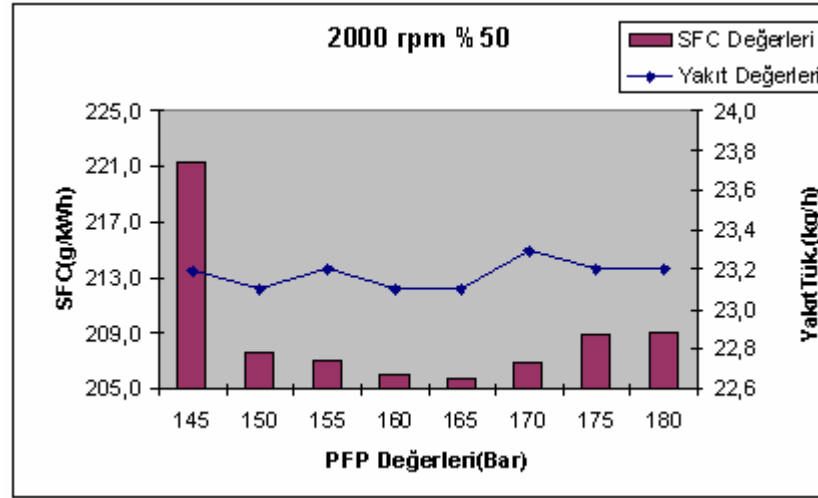
Şekil 9.5 2000 rpm %100 yük ölçüm değerleri SFC grafiği

9.3.6 2000 rpm motor devri %50 yük çalışma durumuna göre seçim

165 bar pfp değerinde minimum SFC ve yakıt tüketimi sağlanmaktadır.

Çizelge 9.14 2000 rpm %50 yük ölçüm değerleri tablosu

Silindiriçi Basınç	Motor Hızı	Gaz Pedalı Konumu	Ölçülen			Ölçülen Yakıt Miktarı	Silindiriçi Basınç PFP Max.	Krank Açısı SOI_E	Yakıt Basıncı Prail	Puskürtme Miktarı
			Tork	Güç	SFC					
bar	rpm	%	Nm	kW	g/kWh	kg/h	Bar	°CA	bar	mg/str
145	2000	50	500,3	104,8	221,3	23,19	97	-5,49	960	64,4
150			531,2	111,3	207,6	23,10	147	-17,01	1260	64,2
155			534,9	112,0	207,1	23,20	148	-17,01	1300	64,4
160			535,5	112,2	206,0	23,10	147	-17,10	1300	64,2
165			536,2	112,3	205,7	23,10	146	-17,10	1300	64,2
170			537,6	112,6	207,0	23,30	148	-17,00	1300	64,7
175			530,3	111,1	208,9	23,20	147	-17,00	1300	64,4
180			529,6	110,9	209,2	23,20	148	-17,10	1300	64,4



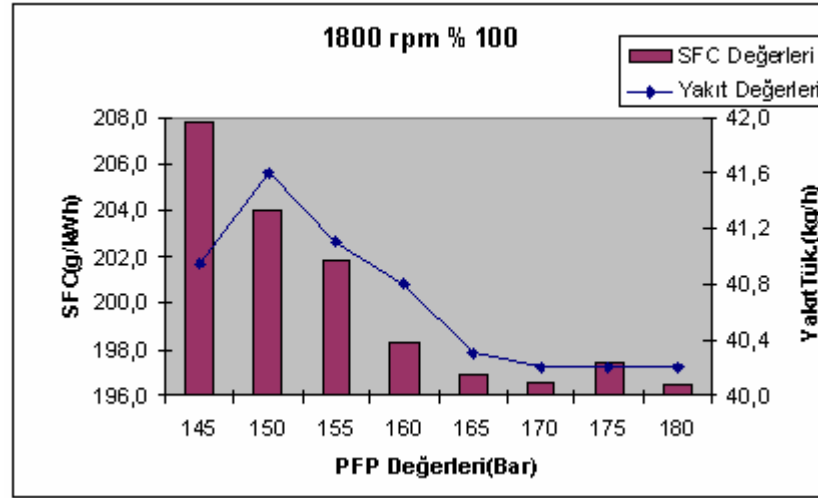
Şekil 9.6 2000 rpm %50 yük ölçüm değerleri SFC grafiği

9.3.7 1800 rpm motor devri %100 yük çalışma durumuna göre seçim

180 bar pfp değerinde minimum SFC değeri sağlanmaktadır.

Çizelge 9.15 1800 rpm %100 yük ölçüm değerleri tablosu

Silindiriçi Basınç	Motor Hızı	Gaz Pedali Konumu	Ölçülen			Ölçülen Yakıt Miktarı	Silindiriçi Basınç	Krank Açısı	Yakıt Basıncı	Püskürtme Miktarı
			Tork	Güç	SFC					
bar	rpm	%	Nm	kW	g/kWh	kg/h	Bar	°CA	bar	mg/str
145	1800	100	1045,5	197,1	207,8	40,94	142	-4,04	1240	126,4
150			1082,1	204,0	204,0	41,60	150	-4,99	1340	128,4
155			1080,5	203,7	201,8	41,10	155	-5,93	1340	126,9
160			1091,5	205,7	198,3	40,80	160	-7,50	1340	125,9
165			1085,7	204,6	196,9	40,30	165	-8,60	1340	124,4
170			1085,0	204,5	196,6	40,20	171	-9,60	1340	124,1
175			1080,6	203,7	197,4	40,20	176	-10,70	1340	124,1
180			1085,2	204,6	196,5	40,20	181	-11,60	1340	124,1



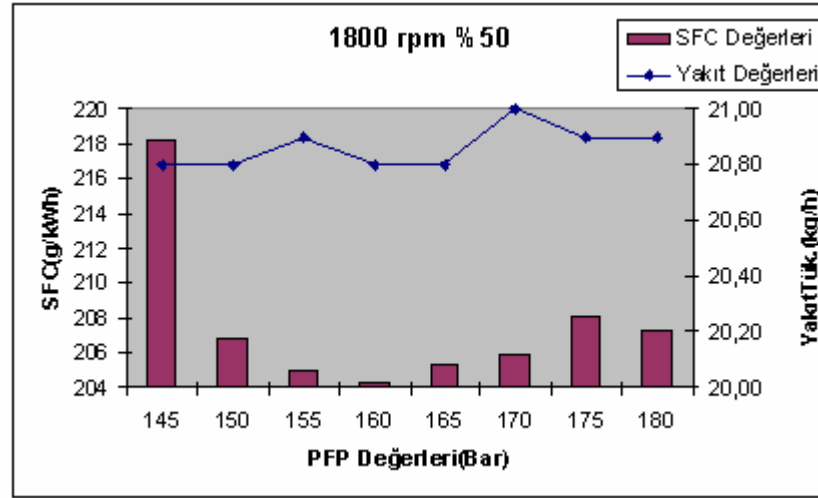
Şekil 9.7 1800 rpm %100 yük ölçüm değerleri SFC grafiği

9.3.8 1800 rpm motor devri %50 yük çalışma durumuna göre seçim

160 bar pfp değerinde minimum SFC değeri sağlanmaktadır.

Çizelge 9.16 1800 rpm %50 yük ölçüm değerleri tablosu

Silindiriçi Basınç	Motor Hızı	Gaz Pedali Konumu	Ölçülen			Ölçülen Yakıt Miktarı	Silindiriçi Basınç	Krank Açısı	Yakıt Basıncı	Püskürtme Miktarı
			Tork	Güç	SFC					
bar	rpm	%	Nm	kW	g/kWh	kg/h	Bar	°CA	Prail	mg/str
145	1800	50	505,7	95,3	218,2	20,80	92	-4,17	904	64,2
150			533,7	100,6	206,8	20,80	145	-17,01	1260	64,2
155			540,9	102,0	205,0	20,90	146	-17,01	1300	64,5
160			540,3	101,8	204,2	20,80	143	-17,10	1300	64,2
165			537,7	101,4	205,2	20,80	142	-17,10	1300	64,2
170			541,3	102,0	205,8	21,00	144	-17,20	1300	64,8
175			532,8	100,4	208,1	20,90	142	-17,20	1300	64,5
180			535,0	100,8	207,3	20,90	143	-17,20	1300	64,5



Şekil 9.8 1800 rpm %50 yük ölçüm değerleri SFC grafiği

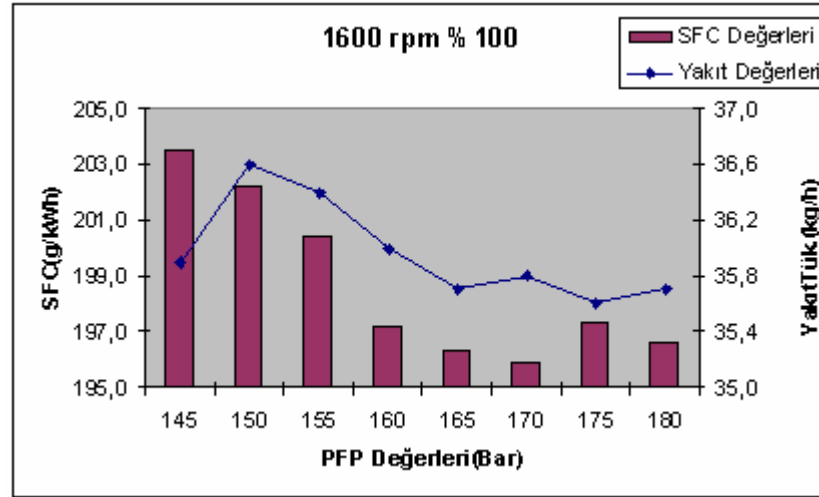
9.3.9 1600 rpm motor devri %100 yük çalışma durumuna göre seçim

170 bar pfp değeri seçildiğinde minimum SFC değeri sağlanmaktadır. Bakıldığında 180 bar pfp değerinde yakıt tüketimi daha düşüktür. Ancak tork miktarları karşılaştırıldığında 180 bar pfp değerine göre 170 bar pfp değerinin seçilmesi uygun olur.

Çizelge 9.17 1600 rpm %100 yük ölçüm değerleri tablosu

Silindiriçi Basınç	Motor Hızı	Gaz Pedalı Konumu	Ölçülen			Ölçülen Yakıt Miktarı	Silindiriçi Basınç PFP Max.	Krank Açısı SOL_E	Yakıt Basıncı Prail	Püskürtme Miktarı
			Tork	Güç	SFC					
bar	rpm	%	Nm	kW	g/kWh	kg/h	Bar	°CA	bar	mg/str
145	1600	100	1053,1	176,4	203,5	35,90	139	-3,82	1190	124,7
150			1080,3	181,0	202,2	36,60	148	-4,55	1340	127,1
155			1084,3	181,7	200,4	36,40	155	-5,98	1340	126,4
160			1089,7	182,6	197,2	36,00	160	-7,60	1340	125,0
165			1085,3	181,8	196,3	35,70	165	-8,70	1340	124,0
170			1091,1	182,8	195,8	35,80	172	-9,80	1340	124,3
175			1077,0	180,5	197,3	35,60	176	-10,90	1340	123,6
180			1083,5	181,5	196,7	35,70	181	-11,80	1340	124,0

Şekil 9.9 1600 rpm %100 yük ölçüm değerleri SFC grafiği

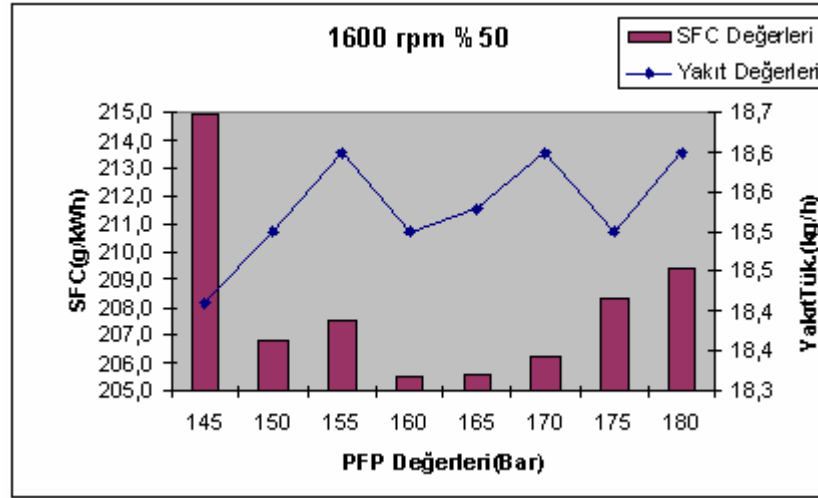


9.3.10 1600 rpm motor devri %50 yük çalışma durumuna göre seçim

160 bar ve 165 bar pfp değerlerinden biri seçilebilir. Bakıldığında ikisinin de aynı çalışma koşullarına sahip olduğu görülmektedir.

Çizelge 9.18 1600 rpm %50 yük ölçüm değerleri tablosu

Silindiriçi Basınç	Motor Hızı	Gaz Pedalı Konumu	Ölçülen			Ölçülen Yakıt Miktarı	Silindiriçi Basınç PFP Max.	Krank Açısı SOI_E	Yakıt Basıncı Prail	Püskürtme Miktarı
			Tork	Güç	SFC					
bar	rpm	%	Nm	kW	g/kWh	kg/h	Bar	°CA	bar	mg/str
145	1600	50	511,2	85,7	215,0	18,41	93	-14,04	1166	63,9
150			533,9	89,5	206,8	18,50	136	-16,00	1260	64,2
155			534,9	89,6	207,6	18,60	141	-17,01	1300	64,6
160			537,3	90,0	205,5	18,50	138	-17,20	1300	64,2
165			538,0	90,1	205,6	18,53	139	-17,20	1300	64,3
170			538,3	90,2	206,2	18,60	140	-17,20	1300	64,6
175			530,0	88,8	208,3	18,50	137	-17,20	1300	64,2
180			530,1	88,8	209,4	18,60	138	-17,20	1300	64,6



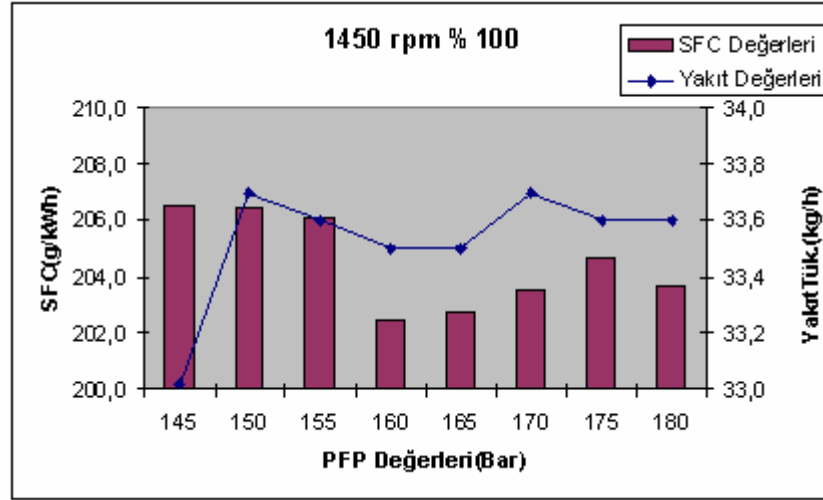
Şekil 9.10 1600 rpm %50 yük ölçüm değerleri SFC grafiği

9.3.11 1450 rpm motor devri %100 yük çalışma durumuna göre seçim

160 bar pfp çalışma koşullarını sağlayan değer seçilmelidir.

Çizelge 9.19 1450 rpm %100 yük ölçüm değerleri tablosu

Silindiriçi Basınç	Motor Hızı	Gaz Pedalı Konumu	Ölçülen			Ölçülen Yakıt Miktarı	Silindiriçi Basınç PFP Max.	Krank Açısı SOI_E	Yakıt Basıncı Prail	Püskürtme Miktarı
			Tork	Güç	SFC					
bar	rpm	%	Nm	kW	g/kWh	kg/h	Bar	°CA	bar	mg/str
145	1450	100	1053,1	159,9	206,5	33,02	131	-3,85	1000	126,5
150			1075,2	163,3	206,4	33,70	134	-4,24	900	129,1
155			1073,7	163,0	206,1	33,60	133	-4,26	900	128,7
160			1089,7	165,5	202,5	33,50	131	-4,50	900	128,4
165			1088,1	165,2	202,8	33,50	132	-4,50	900	128,4
170			1090,3	165,6	203,6	33,70	133	-4,40	900	129,1
175			1081,5	164,2	204,6	33,60	131	-4,40	900	128,7
180			1086,6	165,0	203,7	33,60	132	-4,50	900	128,7



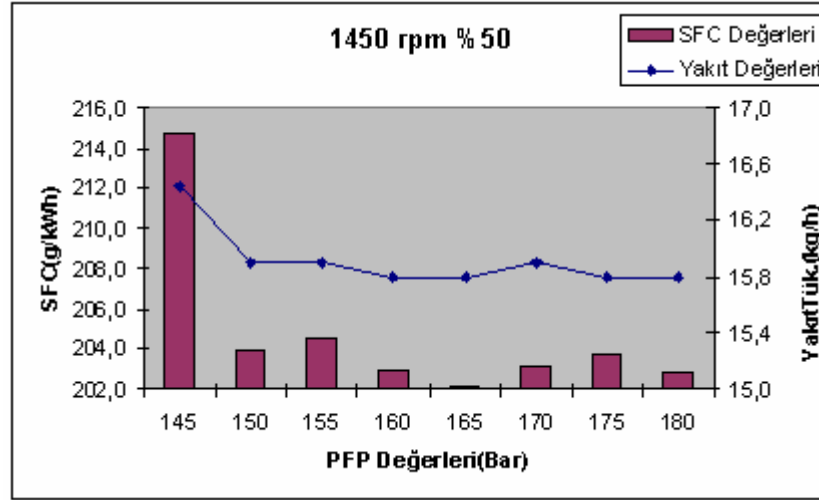
Şekil 9.11 1450 rpm %100 yük ölçüm değerleri SFC grafiği

9.3.12 1450 rpm motor devri %50 yük çalışma durumuna göre seçim

165 bar pfp çalışma koşullarını sağlayan değer seçilmelidir.

Çizelge 9.20 1450 rpm %50 yük ölçüm değerleri tablosu

Silindiriçi Basınç	Motor Hızı	Gaz Pedalı Konumu	Ölçülen			Ölçülen Yakıt Miktarı	Silindiriçi Basınç PFP Max.	Krank Açısı SOI_E	Yakıt Basıncı Prail	Püskürtme Miktarı
			Tork	Güç	SFC					
bar	rpm	%	Nm	kW	g/kWh	kg/h	Bar	°CA	bar	mg/str
145	1450	50	504,6	76,6	214,7	16,45	86	-11,04	650	63,0
150			513,4	78,0	204,0	15,90	116	-13,01	699	60,9
155			512,0	77,7	204,5	15,90	116	-13,01	690	60,9
160			512,7	77,9	203,0	15,80	114	-13,30	700	60,5
165			514,8	78,2	202,1	15,80	115	-13,30	700	60,5
170			515,7	78,3	203,1	15,90	117	-13,30	700	60,9
175			510,6	77,5	203,8	15,80	114	-13,30	700	60,5
180			513,1	77,9	202,8	15,80	115	-13,30	700	60,5



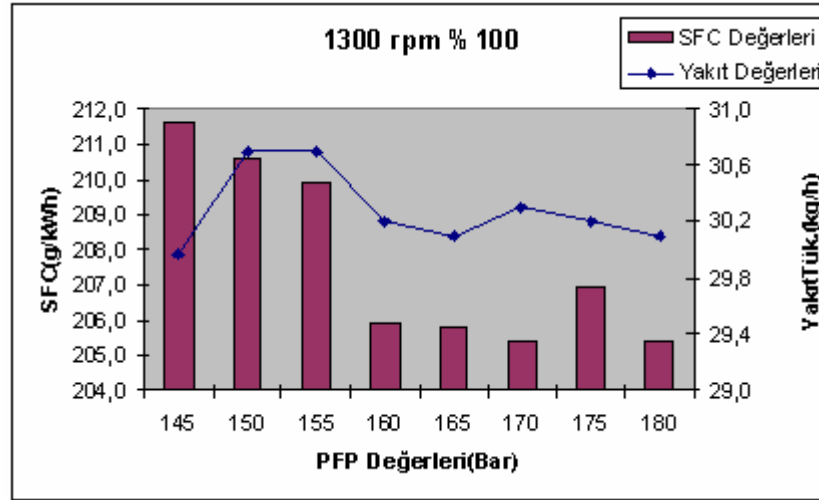
Şekil 9.12 1450 rpm %50 yük ölçüm değerleri SFC grafiği

9.3.13 1300 rpm motor devri %100 yük çalışma durumuna göre seçim

170 bar pfp çalışma koşullarını sağlayan değer minimum SFC değerini sağladığı için 165 bar pfp ve 180 bar pfp değerlerine göre tercih edilmelidir.

Çizelge 9.21 1300 rpm %100 yük ölçüm değerleri tablosu

Silindiriçi Basınç bar	Motor Hızı rpm	Gaz Pedalı Konumu %	Ölçülen			Ölçülen Yakıt Miktarı kg/h	Silindiriçi Basınç PFP Max. Bar	Krank Açısı SOI_E °CA	Yakıt Basıncı Prail bar	Püskürtme Miktarı mg/str
			Tork Nm	Güç kW	SFC g/kWh					
145	1300	100	1040,1	141,6	211,6	29,96	137	-4,00	1097	128,0
150			1070,9	145,8	210,6	30,70	143	-4,20	1200	131,2
155			1074,2	146,2	209,9	30,70	142	-4,17	1200	131,2
160			1077,4	146,7	205,9	30,20	141	-4,50	1190	129,1
165			1074,4	146,3	205,8	30,10	138	-4,50	1200	128,6
170			1083,8	147,5	205,4	30,30	141	-4,50	1200	129,5
175			1072,1	146,0	206,9	30,20	139	-4,50	1200	129,1
180			1076,5	146,6	205,4	30,10	141	-4,50	1200	128,6



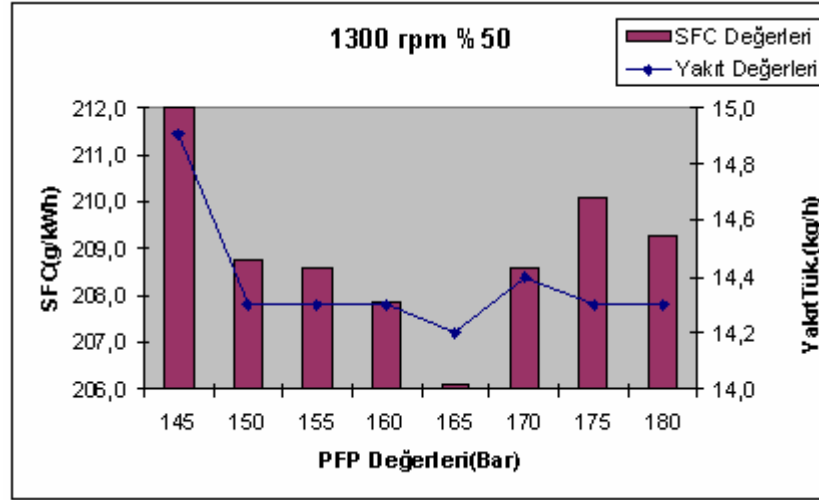
Şekil 9.13 1300 rpm %100 yük ölçüm değerleri SFC grafiği

9.3.14 1300 rpm motor devri %50 yük çalışma durumuna göre seçim

165 bar pfp çalışma koşullarını sağlayan değer seçilmelidir.

Çizelge 9.22 1300 rpm %50 yük ölçüm değerleri tablosu

Silindiriçi Basınç	Motor Hızı	Gaz Pedalı Konumu	Ölçülen			Ölçülen Yakıt Miktarı	Silindiriçi Basınç PFP Max.	Krank Açısı SOI_E	Yakıt Basıncı Prail	Püskürtme Miktarı
			Tork	Güç	SFC					
bar	rpm	%	Nm	kW	g/kWh	kg/h	Bar	°CA	bar	mg/str
145	1300	50	516,7	70,3	212,0	14,91	96	-4,04	800	63,7
150			503,2	68,5	208,8	14,30	123	-15,01	1000	61,1
155			503,7	68,6	208,6	14,30	124	-15,01	990	61,1
160			505,4	68,8	207,9	14,30	121	-15,20	990	61,1
165			506,1	68,9	206,1	14,20	122	-15,20	990	60,7
170			507,2	69,0	208,6	14,40	122	-15,30	1000	61,5
175			500,0	68,1	210,1	14,30	122	-15,20	1000	61,1
180			501,9	68,3	209,3	14,30	124	-15,20	1000	61,1



Şekil 9.14 1300 rpm %50 yük ölçüm değerleri SFC grafiği

Sonuçlara toplu olarak bakıldığında örnek motor için ideal çalışma parametreleri tablo olarak aşağıdaki gibi verilebilir.

Çizelge 9.23 Örnek motor için değişik devir ve yüke göre ideal çalışma parametreleri

Motor Hızı	Gaz Pedalı Pozisyonu	Ölçülen			Yakıt Miktarı	Silindiriçi Basınç	Avans Açısı	Yakıt Basıncı
		Tork	Güç	SFC		PFP Max.	SOI_E	
rpm	%	Nm	kW	g/kWh	kg/h	Bar	°CA	bar
2400	100	867	218	226,8	49,4	143	-7,3	1340
2400	50	505	127	216,5	27,5	135	-14,4	1260
2200	100	930	214	205,3	44,0	180	-13,3	1340
2200	50	535	123	204,5	25,2	148	-17,0	1280
2000	100	1001	210	199,5	41,8	180	-13,1	1340
2000	50	536	112	205,7	23,1	146	-17,1	1300
1800	100	1085	205	196,5	40,2	181	-11,6	1340
1800	50	540	102	204,2	20,8	143	-17,1	1300
1600	100	1091	183	195,8	35,8	172	-9,8	1340
1600	50	537	90	205,5	18,5	138	-17,2	1300
1450	100	1090	166	202,5	33,5	131	-4,5	900
1450	50	515	78	202,1	15,8	115	-13,3	700
1300	100	1084	148	205,4	30,3	141	-4,5	1200
1300	50	506	69	206,1	14,2	122	-15,2	990

9.4 Ölçüm Sonuçlarını Matematiksel ve İstatistiksel İncelenmesi

Elde etmiş olduğumuz sonuçlara baktığımızda inceleme yaptığımız devir ve gaz pedalı pozisyonu için SFC değerinin çıkarılması amacıyla Minitab yardımı ile analiz yapılacaktır. Hedef olarak avans açısı, yakıt miktarı ve yakıt basınçları kullanılarak SFC değerleri hesaplanmaya çalışılacaktır. Verilen 3 girdiye göre SFC değeri için eğri çizilerek bu eğriye en yakın polinom fonksiyon hesaplanmaya çalışılacaktır.

9.4.1 2400 rpm motor devri tüm pedal pozisyonları

2400 rpm için %100 ve %50 pedal pozisyonu değerleri kullanıldığında SFC için aşağıdaki denklem elde edilmektedir.

$$\text{SFC(g/kWh)} = 224 + 1,85 \times \text{Krank Açısı}(\text{°}) + 0,0206 \times \text{Ray Basıncı(Mpa)} - 0,092 \times \text{Püskürtme Miktarı(mg/str)} \quad (46)$$

Denklemin test değerlerini yansıtırma oranı %98,1 olarak hesaplanmıştır.

Denkleimde yer alan değişkenlerin SFC değerine etkisi 2400 rpm için aşağıdaki gibi verilmiştir.

Çizelge 9.24 2400 rpm denklem girdilerinin çözünürlüğe etkisi

Mevcut Çözünürlük (%)	Tahmini Çözünürlük (%)	Krank Açısı (°)	Yakıt Basıncı (MPa)	Yakıt Miktarı (mg/str)
91,9	91,3	X		
91,6	91,0		X	
93,1	92,9	X	X	
96,1	96,4	X		X
98,1	97,6	X	X	X

9.4.2 2200 rpm motor devri tüm pedal pozisyonları

2200 rpm için %100 ve %50 pedal pozisyonu değerleri kullanıldığında SFC için aşağıdaki denklem elde edilmektedir.

$$\text{SFC}(\text{g/kWh}) = 272 + 6,12 \times \text{Krank Açısı}(\text{°}) - 0,0097 \times \text{Ray Basıncı}(\text{Mpa}) - 0,082 \times \text{Püskürtme Miktarı}(\text{mg/str}) + 0,208 \times \text{Krank Açısı}^2(\text{°}) \quad (47)$$

Denklemin test değerlerini yansıtma oranı %87,8 olarak hesaplanmıştır.

Denkleimde yer alan değişkenlerin SFC değerine etkisi 2200 rpm için aşağıdaki gibi verilmiştir.

Çizelge 9.25 2200 rpm denklem girdilerinin çözünürlüğe etkisi

Mevcut Çözünürlük (%)	Tahmini Çözünürlük (%)	Krank Açısı (°)	Yakıt Basıncı (MPa)	Yakıt Miktarı (mg/str)	Krank Açısı ² (°)
29,9	26,9	X			
35,8	31,3		X		
71,8	70,2	X	X		
73,4	73,0	X	X		X
85,8	85,1	X	X	X	
87,8	86,3	X	X	X	X

9.4.3 2000 rpm motor devri tüm pedal pozisyonları

2000 rpm için %100 ve %50 pedal pozisyonu değerleri kullanıldığında SFC için aşağıdaki denklem elde edilmektedir.

$$\text{SFC}(\text{g/kWh}) = 291 + 9,23 \times \text{Krank Açısı}(\text{°}) - 0,102 \times \text{Ray Basıncı}(\text{Mpa}) + 0,789 \times \text{Püskürtme Miktarı}(\text{mg/str}) + 0,504 \times \text{Krank Açısı}^2(\text{°}) \quad (48)$$

Denklemin test değerlerini yansıtma oranı %92,5 olarak hesaplanmıştır.

Denkleimde yer alan değişkenlerin SFC değerine etkisi 2000 rpm için aşağıdaki gibi verilmiştir.

Çizelge 9.26 2000 rpm denklem girdilerinin çözünürlüğe etkisi

Mevcut Çözünürlük (%)	Tahmini Çözünürlük (%)	Krank Açısı (°)	Yakıt Basıncı (MPa)	Yakıt Miktarı (mg/str)	Krank Açısı ² (°)
66,6	64,2		X		
65,1	62,3	X			
70,8	66,3	X		X	
75,5	69,8	X	X	X	X
94,7	93,3	X		X	X
92,5	89,9	X	X	X	X

9.4.4 1800 rpm motor devri tüm pedal pozisyonları

1800 rpm için %100 ve %50 pedal pozisyonu değerleri kullanıldığında SFC için aşağıdaki denklem elde edilmektedir.

$$SFC(g/kWh) = 258 + 4,31 \times Krank\ Açısı(^{\circ}) - 0,0272 \times Ray\ Basıncı(Mpa) - 0,0125 \times Püskürtme\ Miktarı(mg/str) + 0,198 \times Krank\ Açısı^2(^{\circ}) \quad (49)$$

Denklemin test değerlerini yansıtma oranı %96,2 olarak hesaplanmıştır.

Denkleimde yer alan değişkenlerin SFC değerine etkisi 1800 rpm için aşağıdaki gibi verilmiştir.

Çizelge 9.27 1800 rpm denklem girdilerinin çözünürlüğe etkisi

Mevcut Çözünme (%)	Tahmini Çözünürlük (%)	Krank Açısı (°)	Yakıt Basıncı (MPa)	Yakıt Miktarı (mg/str)	Krank Açısı ² (°)
71,3	69,2	X			
76,1	77,2	X	X		
92,1	90,9	X	X		X
94,2	93,1	X		X	X
96,2	94,8	X	X	X	X

9.4.5 1600 rpm motor devri tüm pedal pozisyonları

1600 rpm için %100 ve %50 pedal pozisyonu değerleri kullanıldığında SFC için aşağıdaki denklem elde edilmektedir.

$$\text{SFC(g/kWh)} = 266 + 0,807 \times \text{Krank Açısı}(\text{°}) - 0,0223 \times \text{Ray Basıncı(Mpa)} - 0,25 \times \text{püskürtme Miktarı(mg/str)} \quad (50)$$

Denklemin test değerlerini yansıtma oranı %92,3 olarak hesaplanmıştır.

Denkleimde yer alan değişkenlerin SFC değerine etkisi 1800 rpm için aşağıdaki gibi verilmiştir.

Çizelge 9.28 1600 rpm denklem girdilerinin çözünürlüğe etkisi

Mevcut Çözünürlük (%)	Tahmini Çözünürlük (%)	Krank Açısı(°)	Yakıt Basıncı (MPa)	Yakıt Miktarı (mg/str)
68,8	66,1			X
55,2	53,1		X	
88,8	87,1	X		X
92,3	90,4	X	X	X

9.4.6 1450 rpm motor devri tüm pedal pozisyonları

1450 rpm için %100 ve %50 pedal pozisyonu değerleri kullanıldığında SFC için aşağıdaki denklem elde edilmektedir.

$$\text{SFC(g/kWh)} = 472 + 20,9 \times \text{Krank Açısı}^{\circ} - 0,0810 \times \text{Ray Basıncı(Mpa)} - 0,893 \times \text{püskürtme Miktarı(mg/str)} + 0,679 \times \text{Krank Açısı}^2(^{\circ}) \quad (51)$$

Denklemin test değerlerini yansıtırma oranı %97,6 olarak hesaplanmıştır.

Denkleimde yer alan değişkenlerin SFC değerine etkisi 1450 rpm için aşağıdaki gibi verilmiştir.

Çizelge 9.29 1450 rpm denklem girdilerinin çözünürlüğe etkisi

Mevcut Çözünürlük (%)	Tahmini Çözünürlük (%)	Krank Açısı(^o)	Yakıt Basıncı (MPa)	Yakıt Miktarı (mg/str)	Krank Açısı ² (^o)
68,1	64,5	X			
71,3	72,2	X	X		
87,6	86,1	X		X	X
90,6	88,8	X	X	X	
97,6	96,8	X	X	X	X

9.4.7 1300 rpm motor devri tüm pedal pozisyonları

1300 rpm için %100 ve %50 pedal pozisyonu değerleri kullanıldığında SFC için aşağıdaki denklem elde edilmektedir.

$$\text{SFC(g/kWh)} = 217 + 17,3 \times \text{Krank Açısı}^{\circ} + 1,37 \times \text{Ray Basıncı(Mpa)} - 4,75 \times \text{püskürtme Miktarı(mg/str)} + 0,578 \times \text{Krank Açısı}^2(^{\circ}) + 0,0108 \times \text{püskürtme Miktarı}^2(\text{mg/str}) + 0,000593 \times \text{Ray Basıncı}^2(\text{Mpa}) \quad (52)$$

Denklemin test değerlerini yansıtma oranı %85,7 olarak hesaplanmıştır.

Denkleimde yer alan değişkenlerin SFC değerine etkisi 1300 rpm için aşağıdaki gibi verilmiştir.

Çizelge 9.30 1300 rpm denklem girdilerinin çözünlüğe etkisi

Mevcut Çözünlülük (%)	Tahmini Çözünlülük (%)	Krank Açısı(°)	Yakıt Basıncı (MPa)	Yakıt Miktarı (mg/str)	Krank Açısı ² (°)	Yakıt Basıncı ² (MPa)	Yakıt Miktarı ² (mg/str)
46,5	33,2	X	X	X			
69,6	58,3	X	X	X	X		
74,3	61,2	X	X	X	X		X
85,7	76,2	X	X	X	X	X	X

10. SONUÇLARIN İNCELENMESİ

Öncelikli olarak test sonuçlarına bakıldığında minimum SFC değerinin sağlanmasının yani motordan minimum enerji tüketimi ile maksimum verim alınması için optimum yanmanın sağlanması gerektiği görülmüştür. Optimum yanmanın sağlanması içinde uygun avans açısı ve yakıt basıncının sağlanarak elde edilebilecek maksimum silindir içi basıncın değiştirilebileceği, bu şekilde motorun yakıt tüketiminde iyileşme sağlanabileceği görülmüştür.

Ancak motor karakteristiğinde incelenen noktaların tümüne bakıldığında maksimum silindir içi basıncın sağlanabileceği tam yükte minimum SFC değerinin tüm motor devirlerinde , maksimum silindir içi basınçla sağlanamadığı görülmüştür. Özellikle maksimum motor devrinde (2400 rpm) ideal SFC değerinin maksimum silindir içi basınçla değil aksine test edilen minimum silindir içi basınçla sağlandığı dikkat çekmektedir. Motorun maksimum torku verdiği 1600 rpm %100 yük çalışma koşullarında dahil maksimum silindir içi basınç minimum SFC değerini sağlayamamıştır.

Buradan hareketle motorun (özellikle tam yükte) her devirde, çalışabileceği maksimum silindir içi basınçla çalıştırılmasını sağlayabilecek bir kalibrasyonla minimum SFC'nin sağlanamayacağı söylenebilmektedir. Motorun minimum SFC değerinde çalışması için çalışma karakteristiğini temsil eden her nokta için uygun maksimum silindir içi basınç değerini sağlayacak kalibrasyon yapılmalıdır.

Motorun minimum SFC değerinde çalıştırılabilmesi için incelenen tüm motor devirlerinde çıkartılan SFC formülasyonlarına bakıldığında avans açısının en etkili parametre olduğu, özellikle uygun krank açısı(avans değeri) seçildiğinde SFC değerlerinde önemli düşüş sağlanabileceği yani motorun birim güç için harcadığı enerji miktarının düşürülebileceği görülmüştür.

11. KAYNAKLAR DİZİNİ

A. Grauenfels, 1995, Explanations of Test Cells , AVL Editions ,12 p

Bosch Automotive Handbook, 2001, Motor Yönetim Sistemleri, Bosch Editions, 34 s.

Bosch Automotive Handbook, 1996, Automotive Handbook, Bosch Editions, 346 s.

Deutz Motor Company, 1993, Directions for the Installation of Liquid-cooled diesel engines, Deutz Inc, 163p

FordOtosan Eğitim Yayınları, 2003, Temel Dizel Motorlar1, FordOtosan Basım, 5-7 s.

FordOtosan Eğitim Yayınları, 2003, Temel Dizel Motorlar2, FordOtosan Basım, 22 s.

Gamman, E., 1998, Engineering Thermodynamics, Van Wylen, 261s.

Heywood, H., 1998, Internal Combustion Engines, McGraw, 86 p.

International Standards, ISO 3046-4, Reciprocating Internal Combustion Engines, 144p

Merrion D., 1994, Diesel Engine Design for the 1990s, p

Newton, K., Steeds, W. and Garrett, W., 1997, The Motor Vehicle, Butter Owrlyh Heineman, 234 p.

Perkines Engine Company, 1991, Perkins Installation Manual, Perkins Inc., 13 p

Sonntag, W., Borgnakke., S. and Van Wylen, 1998, Fundemantals of Thermodynamics, John Wiley, 100, 230, 354 p.

Sürmen, A. ve Aslan, R., Otomotiv Elektroniği, 2004, Alfa Yayınları, 30-32 s, 178s.

Sürmen, A., Karamangil, M. ve Arslan R., 2005, Motor Termodinamiği, Aktüel Yayınları, 62, 111, 123, 115 s.

Victor Reinz Company , 2000, Automotive Sealing Systems, Victor Reinz Inc., 90 p.