

**OTOMOTİV TEKNOLOJİSİ EĞİTİMİNDE KULLANILMAK ÜZERE
BUJİ İLE ATEŞLEMELİ BİR MOTOR İÇİN BİLGİSAYAR
KONTROLLÜ BİR YAKIT ENJEKSİYON SİSTEMİNİN
GELİŞTİRİLMESİ**

Fatih ŞAHİN

**DOKTORA TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

KASIM 2009

ANKARA

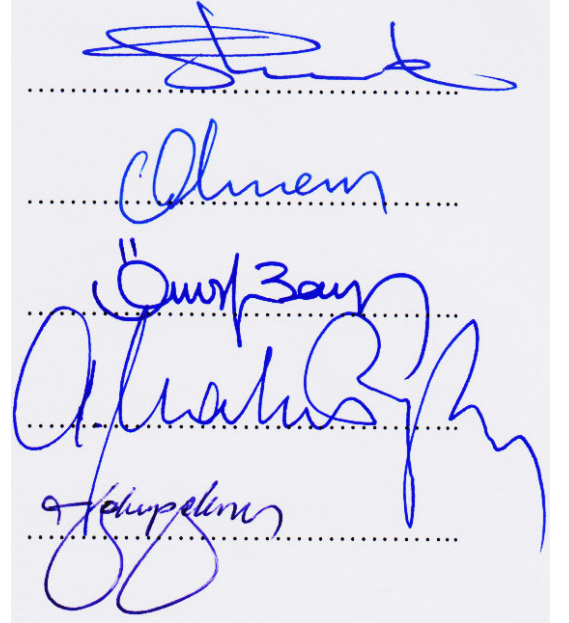
Fatih ŞAHİN tarafından hazırlanan OTOMOTİV TEKNOLOJİSİ EĞİTİMİNDE KULLANILMAK ÜZERE BUJİ İLE ATEŞLEMELİ BİR MOTOR İÇİN BİLGİSAYAR KONTROLLÜ BİR YAKIT ENJEKSİYON SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ adlı bu tezin Doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. M. Sahir SALMAN
Tez Danışmanı, Makine Eğitimi



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

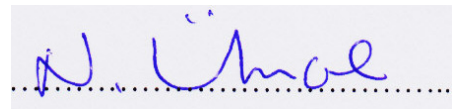
Prof. Dr. Selim ÇETİNKAYA
Makine Eğitimi, Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. M. Sahir SALMAN
Makine Eğitimi, Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Ömer Faruk BAY
Elektronik Bilgisayar Eğitimi, Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Ahmet MAHİROĞLU
Eğitim Bilimleri, Gazi Üniversitesi
Doç. Dr. Yakup SEKMEN
Makine Mühendisliği, Karabük Üniversitesi



Tarih: 11/11/2009

Bu tez ile Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nail ÜNSAL
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



TEZ BİLDİRİMİ

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

Fatih ŞAHİN



**OTOMOTİV TEKNOLOJİSİ EĞİTİMİNDE KULLANILMAK ÜZERE BUJİ
İLE ATEŞLEMELİ BİR MOTOR İÇİN BİLGİSAYAR KONTROLLÜ BİR
YAKIT ENJEKSİYON SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ
(Doktora Tezi)**

Fatih ŞAHİN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Kasım 2009**

ÖZET

Bu çalışmada otomotiv teknolojisi eğitiminde kullanılmak üzere tek silindirli buji ile ateşlemeli bir motor için bilgisayar kontrollü bir yakıt enjeksiyon sistemi geliştirilmiştir. Bu amaçla, bir yakıt enjeksiyon sistemi için gerekli sensör ve aktüatörler kullanılarak karbüratörlü bir motorun yakıt sistemi değiştirilmiştir. Yakıt enjeksiyon sistemi tarafından ihtiyaç duyulan bilgiler sensörler yardımıyla motordan alınarak veri toplama kartıyla bilgisayara aktarılmıştır. Kontrol yazılımı Microsoft Visual C#'ta geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem, yakıt enjeksiyonu, ateşleme avansı ve rölanti düzenleyicinin kontrolünü gerçekleştirmektedir. Yakıt enjeksiyon süresi, ateşleme avansı ve rölanti düzenleyici konumu bilgileri kontrol yazılımı tarafından hesaplanmış ve bu çalışma için geliştirilen mikrodenetleyicili bir sürücü devre ile motora uygulanmıştır. Deney motorunda karbüratörlü yakıt sistemi ve geliştirilen yakıt enjeksiyon sistemi kullanılarak performans ve emisyon testleri gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen yakıt enjeksiyon sistemiyle HYO'nun istenilen değerde hassas bir şekilde tutulabilmesi sağlanmıştır. Deneysel sonuçlara göre motorun emisyon ve özgül yakıt tüketimi karbüratörlü sisteme göre güçte azalma olmaksızın iyileştirilmiştir. Ayrıca, geliştirilen sistemin öğretimde kullanılması halinde öğrenci başarısı ve öğrenilenlerin kalıcılığına etkisi incelenmiştir. Çalışma 20 öğrenciden oluşan bir deney grubu ve 25 öğrenciden

oluşan bir kontrol grubu üzerinde gerçekleştirilmiştir. Öğrenci başarıları ve kalıcılığı ölçmek için 40 sorudan oluşan çoktan seçmeli bir test kullanılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre grupların başarı puanları arasında anlamlı bir fark bulunmazken kalıcılık puanları arasında deneysel grup lehine anlamlı bir fark bulunmuştur. Sonuçlar geliştirilen sistemin yakıt enjeksiyon sistemlerinin öğretiminde kullanılmasının öğrenilenlerin kalıcılığını arttırmada daha etkili olduğunu göstermiştir.

Bilim Kodu : 708.3.026
Anahtar Kelimeler : Yakıt enjeksiyon sistemi, buji ile ateşlemeli motor, eğitim aracı
Sayfa Adedi : 161
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. M. Sahir SALMAN

**DEVELOPMENT OF A COMPUTER CONTROLLED FUEL INJECTION
SYSTEM FOR A SPARK IGNITION ENGINE FOR THE PURPOSE OF
USING IN AUTOMOTIVE TECHNOLOGY EDUCATION
(Ph.D. Thesis)**

Fatih ŞAHİN

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

ABSTRACT

In this study a computer controlled fuel injection system for a single cylinder spark ignition engine was developed to use in automotive technology education. For this purpose, fuel system of a carbureted engine was modified by using the sensors and actuators needed for a fuel injection system. Data needed by the fuel injection system were collected by sensors from the engine and transferred to a computer via a data acquisition card. A control software was developed in Microsoft Visual C#. The developed system performs fuel injection, ignition timing and idle speed control functions. The results of injection time, ignition timing and idle speed controller position were calculated by the control software and applied to the engine by a microcontroller driver card which was developed in this study. Performance and emission tests were carried out on the engine with the carburettor and the developed fuel injection system. Precise control of AFR was achieved by using the developed fuel injection system. According to the experimental results, emission and specific fuel consumption of the engine were improved compared to the carburetor type fuel system without decrease of engine performance. In addition, effects of the developed system to the students' achievement and retention of learning were investigated in case of use in the teaching of fuel injection systems. The study was performed on an experimental group consisting of 20 students and a control group consisting of 25 students. A

multiple choice test of 40 items was used to measure the students' achievement and retention of learning. According to the results of the study, there is a significant difference between retention points in favour of experimental group while there is no significant difference between achievement points of groups. The results show that using of the developed system in the teaching of fuel injection systems is more effective in increasing the retention of learning.

Science Code	: 708.3.026
Key Words	: Fuel injection system, spark ignition engine, educational tool
Page Number	: 161
Adviser	: Prof. Dr. M. Sahir SALMAN

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca katkı ve yardımlarıyla beni yönlendiren kıymetli hocam Prof. Dr. M. Sahir SALMAN'a, çalışmalarımı başından beri takip eden ve yönlendiren Prof. Dr. Selim ÇETİNKAYA ve Prof. Dr. Ömer Faruk BAY'a, 07/2005–12 numaralı bilimsel araştırma projesi ile destek veren Gazi Üniversitesi Rektörlüğüne ve Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi çalışanlarına, yürütücülüğünü yapmakta olduğu TÜBİTAK projesiyle çalışmamızda kullandığımız laminar elemanlı akış ölçüm sistemini bölümümüze kazandıran Prof. Dr. H. Serdar YÜCESU'ya, eğitimle ilgili çalışmalarda yönlendirmelerinden dolayı Prof. Dr. Ahmet MAHİROĞLU'na, eğitim çalışmalarında katkı sağlayan ve bu çalışmaları dersinde uygulama imkanı sunan Prof. Dr. Atilla KOCA'ya, eğitim çalışmalarında ve deneysel çalışmalarda katkı sağlayan Yrd. Doç. Dr. Tolga TOPGÜL'e, imalat konusunda ve deneysel çalışmalarda katkı sağlayan Yrd. Doç. Dr. Melih OKUR'a, deneysel çalışmalarda katkı sağlayan Arş. Gör. Özer CAN ve Lokman ŞENEL'e ve çalışmalarına katkı sağlayan herkese teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmalarım boyunca desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiv
RESİMLERİN LİSTESİ	xix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xxi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	5
2.1. Buji ile Ateşlemeli Motorlarda HYO ve HFK.....	5
2.2. HFK'nın Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi	5
2.3. HFK'nın Katalitik Dönüştürücü Verimine Etkisi	7
2.4. Ateşleme Avansının Motor Performansı ve Emisyonlarına Etkisi	9
2.5. Buji ile Ateşlemeli Motorlarda Yakıt Sistemleri	11
2.6. Yakıt Enjeksiyon Sistemlerinde Enjeksiyon Süresinin Belirlenmesi	14
2.7. Tek Silindirli Buji ile Ateşlemeli Motorlarda Yakıt Enjeksiyon Sistemleri...	17
2.8. Literatür Özeti	17
3. MATERYAL VE METOT	43
3.1. Materyal	43
3.1.1. Deney motoru	43

Sayfa

3.1.2. Dinamometre	45
3.1.3. Ölçüm cihazları	45
3.2. Metot	50
3.2.1. Motor momenti	50
3.2.2. Efektif güç	51
3.2.3. Fren ortalama efektif basınç (FOEB)	51
3.2.4. Fren özgül yakıt tüketimi (FÖYT)	52
3.2.5. Hava tüketimi ve hacimsel verim	52
3.2.6. Yapay sinir ağları	53
4. TASARLANAN YAKIT ENJEKSİYON SİSTEMİ	59
4.1. Emme Manifoldu	59
4.2. Sensörler ve Aktüatörler	60
4.2.1. Gaz keleşğı konum sensörü.....	61
4.2.2. Motor sıcaklığı ve giriş havası sıcaklığı sensörleri	62
4.2.3. Manifold mutlak basınç sensörü.....	64
4.2.4. Lamda sensörü.....	67
4.2.5. Üniversal lamda sensörü.....	68
4.2.6. Motor hız sensörü	71
4.2.7. Yakıt sistemi parçaları	73
4.3. Veri toplama kartı	76
4.4. Sürücü devre	77
4.4.1. Besleme katı	78
4.4.2. Mikrodenetleyici katı.....	78

Sayfa

4.4.3. Rölanti düzenleyici sürücü devresi.....	79
4.4.4. RS–232 arabirim devresi	80
4.4.5. Enjektör sürücü devresi	82
4.5. Elektromanyetik Karışımdan Kaynaklanan Problemler	83
4.6. Mikrodenetleyicili Sürücü Devrenin Çalışması.....	85
4.7. Ateşleme Devresi	88
4.8. Hava Tüketimi ve Ateşleme Avans Haritalarının Elde Edilmesi	89
4.9. Motorun Hava Tüketiminin YSA ile Modellenmesi	91
4.10. Yakıt Enjeksiyon Süresinin Hesaplanması	94
4.11. HYO’nun Belirlenmesi	96
4.12. Rölanti Düzenleyici Konumunun Belirlenmesi	97
4.13. Bilgisayar Yazılımı	98
4.14. Geliştirilen Yakıt Enjeksiyon Sistemiyle Yapılan Deneysel Çalışmalar	103
4.14.1. Tam yük deneyleri.....	103
4.14.2. Kısmi yük deneyleri	105
4.14.3. Avans ayar karakteristikleri	112
5. GELİŞTİRİLEN SİSTEMİN EĞİTİM AMAÇLI KULLANILMASI	114
5.1. Simülasyonlar	114
5.1.1. Simülasyonun tanımı	114
5.1.2. Simülasyon türleri	115
5.1.3. Simülasyonların avantajları	117
5.1.4. Simülasyonlarla ilgili çalışmalar	117
5.2. Problem Cümlesi.....	121

Sayfa

5.3. Çalışmanın Amacı.....	121
5.4. Çalışmanın Önemi	122
5.5. Varsayımlar.....	122
5.6. Sınırlılıklar	122
5.7. Yöntem.....	123
5.7.1. Araştırmanın modeli.....	123
5.7.2. Çalışmanın evren ve örneklemi	124
5.7.3. Değişkenler.....	124
5.7.4. Veri toplama araçları	124
5.7.5. Uygulama aşamaları	128
5.8. Eğitim Çalışmasının Sonuçları	129
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	132
KAYNAKLAR	138
EKLER.....	146
EK-1 Başarı ve kalıcılık testi soruları	147
ÖZGEÇMİŞ	158

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Deney motorunun teknik özellikleri	44
Çizelge 3.2. Egzoz emisyon cihazının teknik özellikleri	49
Çizelge 3.3. Ölçüm doğrulukları ve hesaplanan belirsizlikler	50
Çizelge 3.4. Biyolojik sinir sistemi ile YSA'nın karşılaştırılması	55
Çizelge 4.1. Enkoderin teknik özellikleri.....	72
Çizelge 4.2. Çalışmada kullanılan veri toplama kartının teknik özellikleri.....	77
Çizelge 4.3. Kısmi yük çalışmalarında enjeksiyon sisteminin karbüratörlü sisteme göre sağladığı değişimler	106
Çizelge 5.1 Bilişsel alan amaçları ve amaçlara karşılık gelen sorular	125
Çizelge 5.2. Başarı testi sonuçları grup istatistikleri.....	129
Çizelge 5.3. Başarı testi için t-testi sonuçları.....	130
Çizelge 5.4. Kalıcılık testi sonuçları grup istatistikleri	130
Çizelge 5.5. Kalıcılık testi için t-testi sonuçları	131

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Motor gücü (P) ve ÖYT'nin HFK'ya göre değişimi	6
Şekil 2.2. Emisyonların HFK'ya göre değişimi	6
Şekil 2.3. Üç yollu katalitik dönüştürücülerde verimin HFK'ya göre değişimi	7
Şekil 2.4. Üç yollu katalitik dönüştürücü öncesi ve sonrasında HC, CO ve NO _x emisyonlarının değişimi	8
Şekil 2.5. Ateşleme avansının motor momentine etkisi	9
Şekil 2.6. Ateşleme avansının yanma odası basıncına etkisi	10
Şekil 2.7. Ateşleme avansının özgül yakıt tüketimi ve emisyonlara etkisi	11
Şekil 2.8. Karbüratörlü yakıt sisteminin temel elemanları	12
Şekil 2.9. Bir ventürde akış hızına bağlı basınç değişimleri	12
Şekil 2.10. Tek nokta, çok nokta ve doğrudan yakıt enjeksiyon sistemleri	13
Şekil 2.11. Bosch Motronic M5 yakıt enjeksiyon sistemi	14
Şekil 2.12. Buji ile ateşlemeli bir motorda HYO kontrol sisteminin blok diyagramı	15
Şekil 2.13. Küçük hacimli motorlarda yakıt enjeksiyon sistemlerinin yaygınlaşması	17
Şekil 2.14. Karbüratörlü ve enjeksiyonlu sistemde motor hızına bağlı olarak hacimsel verimin değişimi	19
Şekil 2.15. Karbüratörlü ve enjeksiyonlu sistemde hıza bağlı olarak motor gücünün değişimi	20
Şekil 2.16. Karbüratörlü ve enjeksiyonlu sistemde motor hızına bağlı olarak ÖYT'nin değişimi	20
Şekil 2.17. Karbüratörlü ve enjeksiyonlu sistemde motor hızına bağlı olarak HC emisyonunun değişimi	20
Şekil 2.18. Karbüratörlü ve enjeksiyonlu sistemde motor hızına bağlı olarak CO emisyonunun değişimi	21

Şekil	Sayfa
Şekil 2.19. Karbüratörlü ve enjeksiyonlu sistemde motor hızına bağlı olarak HYO'nun değişimi.....	21
Şekil 2.20. Her bir silindir için kontrol sistemi.....	23
Şekil 2.21. Tseng'in çalışmasında geliştirdiği uyarlamalı denetleyici.....	24
Şekil 2.22. Shah'ın çalışmasında önerdiği kontrol sisteminin blok diyagramı.....	25
Şekil 2.23. Shah'ın çalışmasında önerdiği hava ve yakıt yolu modelleri	26
Şekil 2.24. Wang ve arkadaşlarının simülasyonda kullandıkları motor modeli	26
Şekil 2.25. Wang ve arkadaşlarının önerdikleri kontrol sisteminin blok diyagramı..	27
Şekil 2.26. Bulanık model tabanlı HYO kontrol sistemi	28
Şekil 2.27. Tablo tabanlı HYO kontrol sistemi.....	28
Şekil 2.28. PID HYO kontrol sistemi.....	29
Şekil 2.29. Cercós ve Casin'in çalışmasında kullandıkları motor modeli	29
Şekil 2.30. İleri beslemeli ve PID geri beslemeli HYO kontrol sitemi.....	30
Şekil 2.31. Sinir ağı tabanlı gözetleyici	30
Şekil 2.32. Yoon ve Sunwoo'nun önerdikleri denetleyicinin blok diyagramı.....	31
Şekil 2.33. Geliştirilen motosiklet motoru yakıt sisteminin CO emisyonları	33
Şekil 2.34. Geliştirilen motosiklet motoru yakıt sisteminin sağladığı yakıt ekonomisi	33
Şekil 2.35. Kawasaki ZX-6R motosiklet motorunun karbüratörlü ve enjeksiyonlu yakıt sistemleriyle performans grafikleri	37
Şekil 2.36. Deneyde kullanılan motosiklet motoru için oluşturulan temel HYO haritası	38
Şekil 2.37. Deneyde kullanılan motosiklet motoru için oluşturulan hacimsel verim haritası.....	38
Şekil 2.38. Motronic MSE 2.0 yakıt enjeksiyon sisteminin giriş/çıkış ve fonksiyonları	39

Şekil	Sayfa
Şekil 2.39. Motronic MSE 2.0 sistemli motosiklet motorunun performans ve ÖYT grafikleri.....	39
Şekil 2.40. Al-Olimat ve arkadaşlarının çalışmalarında önerdikleri kontrol yöntemi	40
Şekil 2.41. Tek silindirli bir motor için geliştirilen ateşleme avans kontrol sisteminin blok diyagramı	41
Şekil 3.1. Deney düzeneği.....	43
Şekil 3.2. Laminer elemanlı akış metrenin prensip şeması	46
Şekil 3.3. Z50MC2-4F laminer akış elemanının karakteristiği.....	46
Şekil 3.4. Biyolojik sinir hücresi.....	54
Şekil 3.5. Yapay sinir hücresi (işlemci eleman).....	54
Şekil 3.6. Aktivasyon fonksiyonları (sigmoid, tanjant hiperbolik, doğrusal)	56
Şekil 3.7. İleri beslemeli bir yapay sinir ağının yapısı.....	57
Şekil 4.1. Geliştirilen yakıt enjeksiyon sisteminin genel blok diyagramı.....	59
Şekil 4.2. Deney motoru için yapılan manifold ve bağlantıları	60
Şekil 4.3. Gaz kelebeği konum sensörünün karakteristiği	62
Şekil 4.4. NTC'deki direnç değişimini gerilime dönüştürmek için kullanılan devre	62
Şekil 4.5. Kullanılan NTC sensörünün karakteristiği	63
Şekil 4.6. Şekil 4.4'deki devrenin çıkış karakteristiği	63
Şekil 4.7. MAP sensörünün karakteristiği	65
Şekil 4.8. Lamda sensörünün karakteristiği	68
Şekil 4.9. UEGO sensörün iç yapısı.....	69
Şekil 4.10. UEGO sensör pompalama akımının HFK'ya göre değişimi	70
Şekil 4.11. AEM 30–4100 UEGO denetleyicisinin bağlantı şeması	71
Şekil 4.12. AEM 30–4100 gösterge tipi UEGO denetleyicinin analog çıkışı.....	71

Şekil	Sayfa
Şekil 4.13. Enjektör test düzeneği.....	74
Şekil 4.14. Batarya gerilimine göre enjektör gecikme süreleri.....	76
Şekil 4.15. Besleme katı.....	78
Şekil 4.16. Mikrodenetleyici katı.....	79
Şekil 4.17. Rölanti düzenleme motoru sürücü devresi.....	80
Şekil 4.18. RS-232 bağlantı arabirim devresi.....	80
Şekil 4.19. ASCII “A” karakterinin TTL/CMOS ve RS-232 dalga şekilleri	81
Şekil 4.20. Bilgisayardan sürücü devreye gönderilen 3 baytlık bilginin formatı.....	82
Şekil 4.21. Enjektör sürücü devresi.....	83
Şekil 4.22. LM1949 enjektör sürücü devresinin sinyalleri	83
Şekil 4.23. Endüktif tip buji kablosu.....	84
Şekil 4.24. PIC18F452 mikrodenetleyicisi ana programının akış şeması.....	86
Şekil 4.25. PIC18F452 mikrodenetleyicisi kesme programları akış şemaları	87
Şekil 4.26. L497B’li elektronik ateşleme devresi	88
Şekil 4.27. Deney motorunun hava tüketimi haritası.....	90
Şekil 4.28. Deney motorunun ateşleme avans haritası.....	91
Şekil 4.29. Hava tüketimi haritası için oluşturulan YSA	92
Şekil 4.30. YSA ile elde edilen hava tüketimi haritası	94
Şekil 4.31. Karbüratörlü bir motorun ihtiyaç duyduğu karışım oranları.....	96
Şekil 4.32. Geliştirilen yakıt enjeksiyon sisteminin fonksiyonel blok diyagramı.....	99
Şekil 4.33. Bilgisayar yazılımının akış şeması	102
Şekil 4.34. Tam yük performans ve emisyon grafikleri.....	104
Şekil 4.35. 2000 min ⁻¹ sabit hızda yüke bağlı emisyon ve FÖYT grafikleri	107

Şekil	Sayfa
Şekil 4.36. 2400 min ⁻¹ sabit hızda yüke bağlı emisyon ve FÖYT grafikleri	108
Şekil 4.37. 2800 min ⁻¹ sabit hızda yüke bağlı emisyon ve FÖYT grafikleri	109
Şekil 4.38. 3200 min ⁻¹ sabit hızda yüke bağlı emisyon ve FÖYT grafikleri	110
Şekil 4.39. 3500 min ⁻¹ sabit hızda yüke bağlı emisyon ve FÖYT grafikleri	111
Şekil 4.40. 2400 min ⁻¹ , 2800 min ⁻¹ , 3200 min ⁻¹ sabit hızlarda ateşleme avansının performans, emisyonlar ve FÖYT üzerine etkileri	112
Şekil 5.1. Alessi ve Trollip'e göre simülasyon türleri	115
Şekil 5.2. Gredler'e göre simülasyon türleri	117
Şekil 5.3. Çalışmada kullanılan araştırma deseninin simgesel görünümü	123

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Deney motoru	44
Resim 3.2. Dinamometre (Cussons P8160)	45
Resim 3.3. Laminer elemanlı akış metre sistemi	47
Resim 3.4. Egzoz emisyon cihazı	48
Resim 3.5. SUN MGA 1500 emisyon cihazı için geliştirilen bilgisayar yazılımının ekran görüntüsü	48
Resim 3.6. Hassas terazi ve kronometre	49
Resim 4.1. Deney motoru için yapılan emme manifoldunun motora bağlantısı.....	60
Resim 4.2. Gaz kelebeği modülü	61
Resim 4.3. Motor sıcaklık sensörü.....	64
Resim 4.4. MAP sensörü.....	65
Resim 4.5. Rölanti çalışması sırasında elde edilen MAP sensörü çıkışı.....	66
Resim 4.6. Kısmi yük çalışması sırasında elde edilen MAP sensörü çıkışı.....	67
Resim 4.7. 4 Silindirli bir motordan elde edilen MAP sensörü çıkış sinyali.....	67
Resim 4.8. Lamda sensörü	68
Resim 4.9. AEM 30–4100 gösterge tipi UEGO denetleyicisi	71
Resim 4.10. Enkoderin motor üzerindeki bağlantısı	72
Resim 4.11. Yakıt sistemi parçaları	73
Resim 4.12. Enjektör.....	74
Resim 4.13. NI USB–6259 veri toplama kartı	77
Resim 4.14. Yapılan sürücü devrenin tamamlanmış hali.....	87
Resim 4.15. Bilgisayar yazılımı kontrol ekranı	100

Resim	Sayfa
Resim 4.16. Bilgisayar yazılımı avans haritası ekranı	100
Resim 4.17. Kısmi yük çalışması sırasında lamda sensör çıkışı	105

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simge	Açıklama
α	Gaz keleşi konumu (%)
n	Motor hızı (min^{-1})
t_{ib}	İleri besleme yakıt enjeksiyon süresi (ms)
t_{gb}	Geri besleme yakıt enjeksiyon süresi (ms)
t_t	Toplam yakıt enjeksiyon süresi (ms)
$\dot{m}_h$	Hava debisi (g/h)
$\dot{m}_y$	Yakıt debisi (g/h)
η	Verim
p_a	Atmosfer basıncı (kPa)
p_m	Manifold basıncı (kPa)
V_s	Silindir hacmi (m^3)
R	İdeal gaz sabiti
T_g	Giriş hava sıcaklığı (K)
M	Moment (Nm)
ℓ	Kuvvet kolu (m)
F	Kuvvet (N)
K_a	Moment düzeltme katsayısı
M_d	Düzeltilmiş moment (Nm)
P_e	Efektif güç (kW)
n_R	Her bir iş zamanı için krank mili tur sayısı
Q_d	Düzeltilmiş hava debisi (L/min)
$Q_{\ddot{o}}$	Ölçülen hava debisi (L/min)
p_{ref}	Referans basınç (kPa)

Simge**Açıklama**

p_0	Ölçülen basınç (kPa)
T_0	Ölçülen sıcaklık (K)
T_{ref}	Referans sıcaklık (K)
η_h	Hacimsel verim
$V_{\dot{c}}$	Çıkış gerilimi (V)
t_g	Gecikme süresi (ms)
V_b	Batarya gerilimi (V)
Q_h	Hava debisi (L/m)
Δp	Basınç farkı (inç H ₂ O)
t_e	Toplam enjeksiyon süresi (ms)
t_y	Temel enjeksiyon süresi (ms)
t_d	Düzeltilme süresi (ms)
ρ	Yoğunluk (kg/m ³)
θ	Ateşleme avansı (°)

Kısaltma**Açıklama**

HYO	Hava/yakıt oranı
YSA	Yapay sinir ağı
HFK	Hava fazlalık katsayısı
GHYO	Gerçek hava/yakıt oranı
THYO	Teorik hava/yakıt oranı
ÖYT	Özgül yakıt tüketimi
MBT	En iyi moment için en küçük ateşleme avansı
AA	Ateşleme avansı
EGR	Egzoz gaz resirkülasyonu
MAP	Manifold mutlak basıncı
P	Oransal
PI	Oransal integral

Kısaltma**Açıklama****PID**

Oransal integral türev

UEGO

Üniversal egzoz gaz sensörü

AÖN

Alt ölü nokta

ÜÖN

Üst ölü nokta

FOEB

Fren ortalama efektif basıncı

FÖYT

Fren özgül yakıt tüketimi

GKK

Gaz kelebeği konumu

NTC

Sıcaklıkla direnci azalan termistör

EMI

Elektromanyetik karışım

RD

Rölanti düzenleyici konumu

1. GİRİŞ

Günlük hayatın vazgeçilmez bir unsuru haline gelen taşıtlar sahip oldukları teknoloji bakımından oldukça ileri noktadadır. Özellikle elektronik teknolojisindeki gelişmeler, birçok alanda önceleri yapılması çok zor olan hatta mümkün olmayan kontrollerin yapılabilmesini mümkün hale getirmiştir. Gelişen teknolojinin hayatı kolaylaştırmasının yanında çevreye olumsuz etkileri de ihmal edilemez boyutlara ulaşmıştır. Bir sistemin geliştirilmesinde, sistemin en yüksek verimle çalıştırılabilmesi ve aynı zamanda çevreye herhangi bir olumsuz tesirinin olmaması hedeflenmektedir. Bu hedefe ancak sistem kontrollerinin çok hassas bir biçimde yapılmasıyla yaklaşılabilir.

Buji ile ateşlemeli motorlarda karışımın doğru oranda hazırlanması ve ateşlemenin doğru zamanda yapılması, kontrol edilmesi gereken en önemli parametrelerdir. Ateşleme avansının ayarlanmasında, yanma sonucunda oluşan yüksek basıncın en uygun krank açısında elde edilmesi amaçlanırken; karışımın hazırlanmasında, maksimum gücün elde edilmesi, yakıt ekonomisi ve emisyonların iyileştirilmesi esastır.

Buji ile ateşlemeli motorlarda yakıt enjeksiyon sistemleriyle ilgili çalışmalar 1898'lere kadar uzanmaktadır. Ancak o tarihlerde ventüri prensibine göre çalışan karbüratörlerin kullanılmaya başlanması, rekabet nedeniyle yakıt enjeksiyon sistemleriyle ilgili çalışmaların duraklamasına neden olmuştur. Bosch firmasının yakıt enjeksiyon sistemini kullanan ilk uçak motoru 1937'de seri üretime girmiştir. Özellikle havacılık alanında karbüratörlü yakıt sistemlerinde karşılaşılan buzlanma ve yangın riski, yakıt enjeksiyon sistemleri üzerine çalışmaların yoğunlaşmasına neden olmuştur. Taşıtlar için geliştirilen ilk elektronik yakıt enjeksiyon sistemi, D-Jetronic sistemidir. 1967 yılında Bosch firması tarafından geliştirilen D-Jetronic sisteminin geliştirilmesinden 1997'nin sonuna kadar 64 milyon taşıta Bosch firmasının motor yönetim sistemleri uygulanmıştır [1].

Yakıt enjeksiyon sistemlerinin karbüratörlü sistemlere göre üstünlükleri şu şekilde sıralanabilir [2].

- Ventüri bulunmadığından hacimsel verim daha yüksektir.
- Hacimsel verimin yüksek olmasından dolayı motorun performansı daha yüksektir.
- Yakıt miktarının daha hassas ayarlanabilmesi sayesinde yakıt tüketimi daha düşüktür.
- Yakıt basınçlı bir şekilde püskürtüldüğünden daha homojen bir karışım oluşturulur.
- Daha homojen bir karışım oluşturulabilmesi ve HYO'nun istenilen değere daha hassas ayarlanabilmesi sayesinde oluşan emisyonlar daha azdır.
- Motorun ilk hareketi, yakıtın iyi atomizasyonu sayesinde daha kolaydır.
- Motorun hızlanması daha kolaydır. Hızlanma sırasında çok zengin bir karışıma gerek yoktur.
- Her bir silindire giren karışım oranı aynıdır.

Çok nokta yakıt enjeksiyon sistemlerinin odak noktası CO, HC ve NO_x emisyonlarının azaltılmasıdır. Bu nedenle çok nokta yakıt enjeksiyon sisteminde üç yollu katalitik dönüştürücü çok büyük bir öneme sahiptir. Çünkü CO, HC ve NO_x emisyonlarının hepsinin aynı anda azaltılabilmesi ancak üç yollu katalitik dönüştürücülerin kullanılmasıyla mümkündür [3].

Bu tez çalışmasında tek silindirli buji ile ateşlemeli bir motor için eğitim amaçlı bilgisayar kontrollü, port tipi bir yakıt enjeksiyon sistemi geliştirilmiştir. Sistem, karbüratörlü yakıt sistemine sahip buji ile ateşlemeli bir motor üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deney motoruna yakıt enjeksiyon sistemi için gerekli sensör ve aktüatörler bağlanmış, sistemin kontrolü için gerekli sürücü devre tasarlanmıştır. Sistemin kontrolü Microsoft Visual C#'ta geliştirilen bir yazılımla gerçekleştirilmiştir. Deney motorunun hava tüketimi karakteristiğini belirlemek amacıyla deneysel çalışmalar yapılmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlarla YSA

kullanılarak bir model oluşturulmuştur. YSA çalışmaları Matlab paket programının YSA araç kutusu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan YSA modeli sistemin kontrolü için geliştirilen bilgisayar yazılımına eklenmiştir. Sistem yakıt enjeksiyonunun yanı sıra ateşleme avansı ve rölanti düzenleyicinin kontrolünü de gerçekleştirmektedir. Ateşleme avansının kontrolü için deneysel çalışmalarla maksimum moment değerlerini sağlayan avans değerleri belirlenerek bir tablo haline getirilmiştir. Oluşturulan 15 x 18'lik (gaz kelebeği konumu (%) x hız (min^{-1})) avans tablosu yazılıma eklenerek ateşleme avansının kontrolünde tablo yöntemi kullanılmıştır. Rölanti düzenleyici step motorunun konumu deneysel çalışmalarda elde edilen değerler göz önünde bulundurularak motor sıcaklığı ve gaz kelebeği konumunun bir fonksiyonu olarak yazılıma eklenmiştir.

Geliştirilen bilgisayar kontrollü yakıt enjeksiyon sisteminin deney motorunun performans, emisyon ve yakıt tüketimi üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla deney motoru karbüratörlü yakıt sistemiyle ve geliştirilen yakıt enjeksiyon sistemiyle kısmi yük ve tam yük deneylerine tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar, geliştirilen bilgisayar kontrollü yakıt enjeksiyon sisteminin karbüratörlü sisteme göre, motor performansında azalma olmaksızın, yakıt tüketimi ve emisyonlar bakımından üstün olduğunu göstermiştir. Ayrıca deney motorunun avans ayar karakteristikleri de geliştirilen sistemle çıkarılarak sonuçları değerlendirilmiştir.

Geliştirilen bilgisayar kontrollü yakıt enjeksiyon sisteminin konunun öğretiminde kullanılması durumunda öğrenci başarısına ve öğrenilenlerin kalıcılığına etkilerini belirlemek amacıyla deneysel bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışma kapsamında yapılacak öğretimin içeriği ve hedefler belirlenmiş ve ölçüm aracı olarak kullanılacak test hazırlanmıştır. Hazırlanan test konu uzmanı üç akademisyenle değerlendirilmiş, testin güvenilirliği KR-20 katsayısı hesaplanarak belirlenmiştir. Hesaplanan KR-20 değerine göre testin güvenilirliği yeterli bulunmuştur. Uygulama aşamasında seçilen iki öğrenci grubuna sınıf ortamında geleneksel yöntemle öğretim uygulanmış, deney grubuna laboratuarda geliştirilen sistem üzerinde çeşitli deneyler yaptırılmıştır. Yapılan eğitim çalışmasının sonuçları başarı testi ve kalıcılık testiyle ölçülmüştür. Test sonuçları t-testi yöntemiyle değerlendirilmiştir. Başarı testi

sonuçlarına göre iki öğrenci grubu arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark çıkmazken, kalıcılık testi sonuçlarına göre deney grubu lehine anlamlı bir fark bulunmuştur.

Geliştirilen sistem bilgisayar kontrollü olarak çalıştırılabildiği gibi, ayarların elle yapılmasıyla da çalıştırılabilmektedir. Bu yönüyle sistem, alternatif motor ve alternatif yakıt çalışmalarında da kullanılmaya uygundur. Araçlarda kullanılan elektronik kontrol ünitelerinin yazılımlarında değişiklik yapmak mümkün değildir. Belli modellerde sadece ateşleme avansı ve yakıt enjeksiyon haritaları gibi parametrelere müdahale edilebilmektedir. Yapılan kontrole müdahale söz konusu değildir. Geliştirilen sistem bilgisayar kontrollü olması sayesinde çok esnek bir yapıya sahiptir. Sistemde mevcut bulunan sensörlerin dışında yeni sensörlerin eklenmesi de oldukça kolaydır. Bilgisayar yazılımında farklı kontrol algoritmalarının oluşturulması ve deneysel olarak karşılaştırma yapılması mümkündür. Geliştirilen sistem, konuyla ilgili yapılabilecek akademik çalışmalar için oldukça elverişlidir. Bu çalışmada geliştirilen yakıt enjeksiyon sistemi tek silindirli bir motor için tasarlanmış olmakla birlikte, donanım ve yazılım üzerinde gerekli değişiklikler yapılarak çok silindirli motorlara da uygulanabilir.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

2.1. Buji ile Ateşlemeli Motorlarda HYO ve HFK

Buji ile ateşlemeli motorlar sınırlı bir aralıktaki karışım oranında çalışabilmektedir. Yakıtın tam olarak yanabilmesi için gereken hava miktarı, kullanılan yakıt türüne göre farklılık göstermektedir. İçten yanmalı motorlarda hava ve yakıt arasındaki kütleli ilişkiyi ifade etmek için hava/yakıt oranı (HYO) kullanılır. Teorik olarak tam yanmanın gerçekleşebilmesi için gerekli karışım oranına stokiyometrik oran denmektedir. Kütleli olarak 1 birim benzinin tam yanabilmesi için 14,7 birim havaya ihtiyaç vardır. Yani benzin için stokiyometrik HYO 14,7'dir. Buji ile ateşlemeli motorlarda karışımın tutuşabilmesi için karışımın HYO'su 12 ile 18 arasında olmalıdır [4].

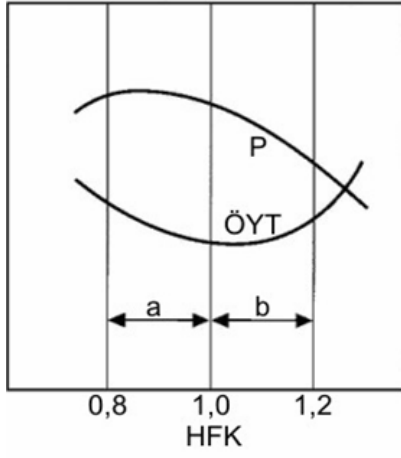
İçten yanmalı motorlarda karışımın durumu HYO ile belirtildiği gibi hava fazlalık katsayısı (HFK) ile de belirtilmektedir. HFK;

$$HFK = \frac{GHYO}{THYO} \quad (2.1)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Burada, GHYO, gerçek hava/yakıt oranını, THYO, teorik hava/yakıt oranını ifade etmektedir. Bu durumda HFK'nın 1'den küçük olması silindirlere olması gerekenden az miktarda hava alındığını, yani karışımın zengin olduğunu, 1'e eşit olması karışımın stokiyometrik oranda olduğunu, 1'den büyük olması ise karışımın fakir olduğunu ifade etmektedir [5].

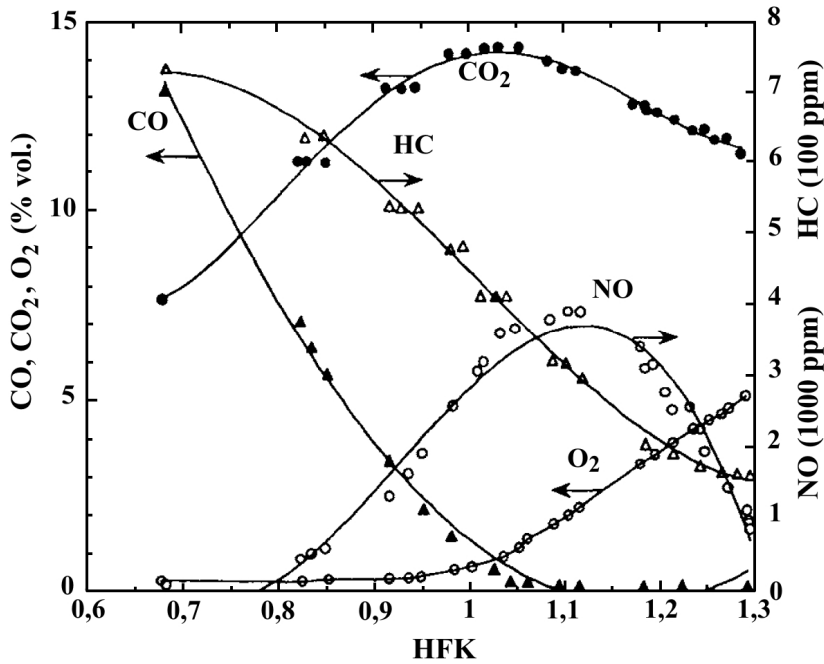
2.2. HFK'nın Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi

Buji ile ateşlemeli motorlarda motordan en yüksek gücün alınabilmesi için HFK'nın 0,85–0,95 aralığında olması gerekmektedir. Buna karşın özgül yakıt tüketiminin en iyi olduğu HFK değeri ise 1,1–1,2 aralığındadır. Şekil 2.1'de HFK'nın motor gücü ve ÖYT üzerine etkisi görülmektedir [5].



Şekil 2.1. Motor gücü (P) ve ÖYT'nin HFK'ya göre değişimi

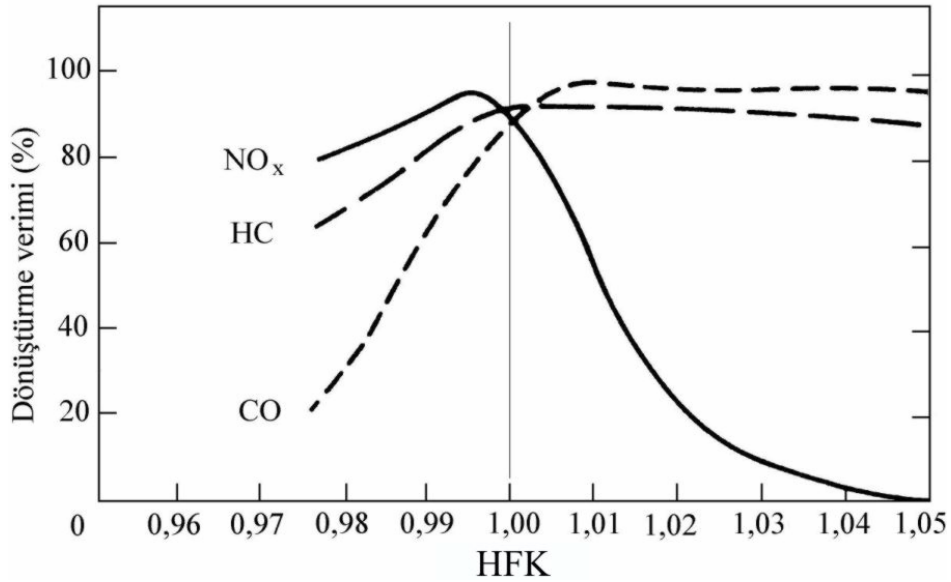
İçten yanmalı motorlarda karışımın HFK'sı yanma sonucu oluşan kirletici emisyonları üzerinde de çok önemli bir etkiye sahiptir. Şekil 2.2'de HFK'ya göre emisyonların değişimi görülmektedir [6]. Grafikten de anlaşıldığı gibi HC, CO ve NO emisyonlarının her üçünün ortak olarak düşük olduğu bir HFK değeri yoktur. Bu nedenle egzoz emisyonlarının iyileştirilmesinde üç yollu katalitik dönüştürücülerin kullanılması zorunludur.



Şekil 2.2. Emisyonların HFK'ya göre değişimi

2.3. HFK'nın Katalitik Dönüştürücü Verimine Etkisi

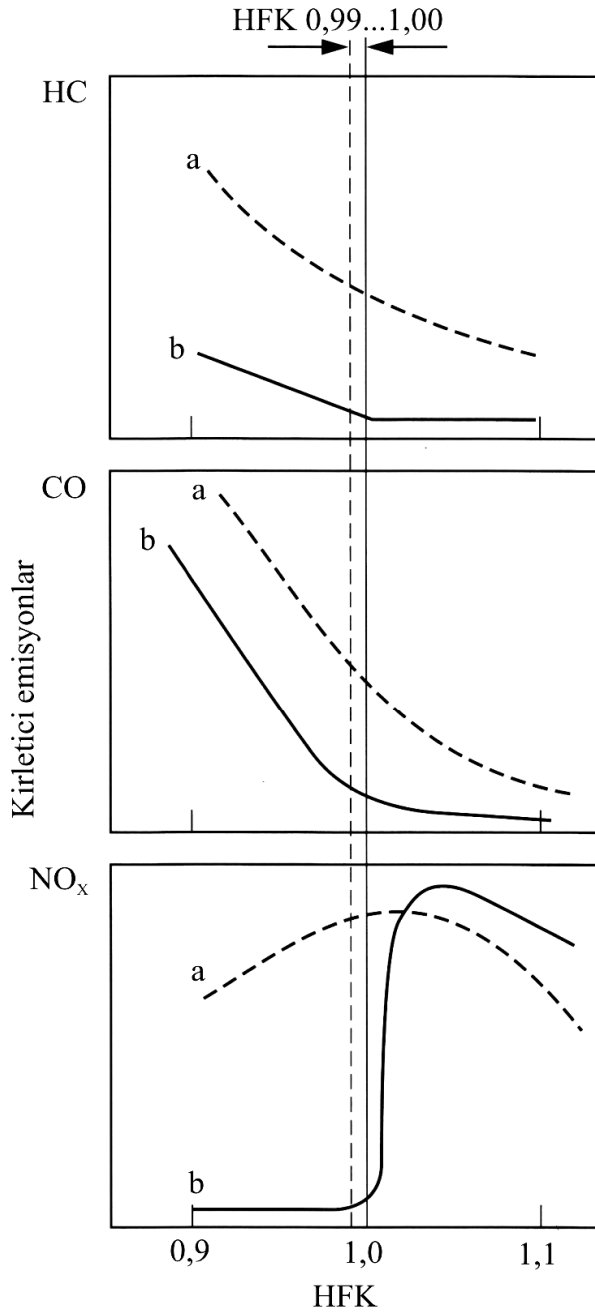
Motorlarda yanma sonucu oluşan HC, CO ve NO_x emisyonlarının aynı anda azaltılabilmesi üç yollu katalitik dönüştürücülerin kullanılmasıyla mümkündür. Üç yollu katalitik dönüştürücülerin dönüştürme verimleri uygun çalışma şartları altında %90 - %95 civarındadır. Üç yollu katalitik dönüştürücüler NO_x'leri O₂ ve N₂'ye dönüştürmekte, buradan elde edilen O₂ ile CO ve HC'lerin oksidasyonunu sağlamaktadır. Bu işlemler neticesinde zararlı emisyonlar üç yollu katalitik dönüştürücü çıkışında CO₂ ve H₂O'ya dönüştürülmektedir [7]. Üç yollu katalitik dönüştürücüler stokiometrik oranda çok dar bir bant içerisinde yüksek verimle çalışabilmektedir. Şekil 2.3'te üç yollu katalitik dönüştürücünün HFK'ya göre egzoz emisyonlarını dönüştürme verimi görülmektedir [8]. Üç yollu katalitik dönüştürücülerin etkili bir şekilde kullanılabilmesi için karışımın HFK'sının 0,995–1,005 arasında tutulması gerekmektedir [9].



Şekil 2.3. Üç yollu katalitik dönüştürücülerde verimin HFK'ya göre değişimi

Şekil 2.4'te üç yollu katalitik dönüştürücü öncesi ve sonrası HC, CO, NO_x emisyonlarının değişimi görülmektedir [5]. Üç yollu katalitik dönüştürücü çıkışında her üç emisyonun önemli ölçüde azaldığı görülmektedir. Şekil 2.2 incelendiğinde HFK'nın 1 olduğu bölgede HC ve CO emisyonları kısmen azalmışken NO_x

emisyollarında çok ciddi bir artış olduğu gör÷lmektedir. Her üç emisyonun aynı azaltılması ancak üç yollu katalitik dönüştürücülerin kullanılmasıyla mümkün olmaktadır.

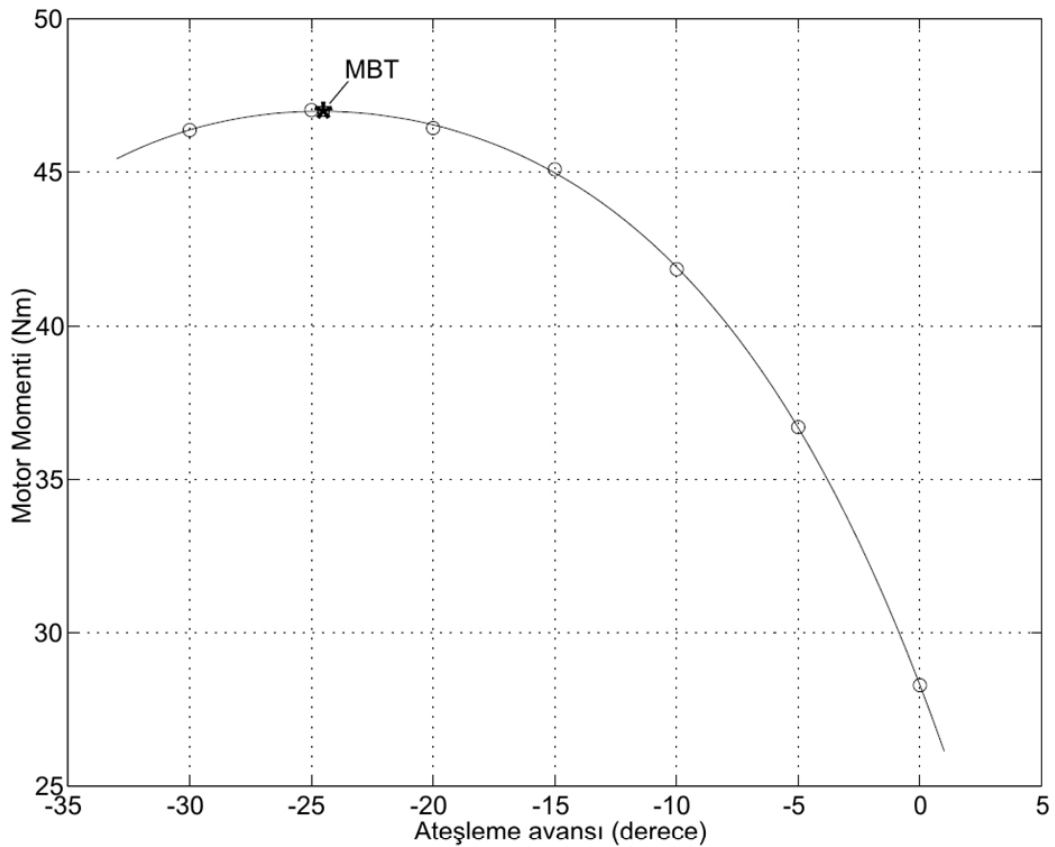


- a. Katalitik dönüştürücü öncesi
- b. Katalitik dönüştürücü sonrası

Şekil 2.4. Üç yollu katalitik dönüştürücü öncesi ve sonrasında HC, CO ve NO_x emisyonlarının değışimi

2.4. Ateşleme Avansının Motor Performansı ve Emisyonlarına Etkisi

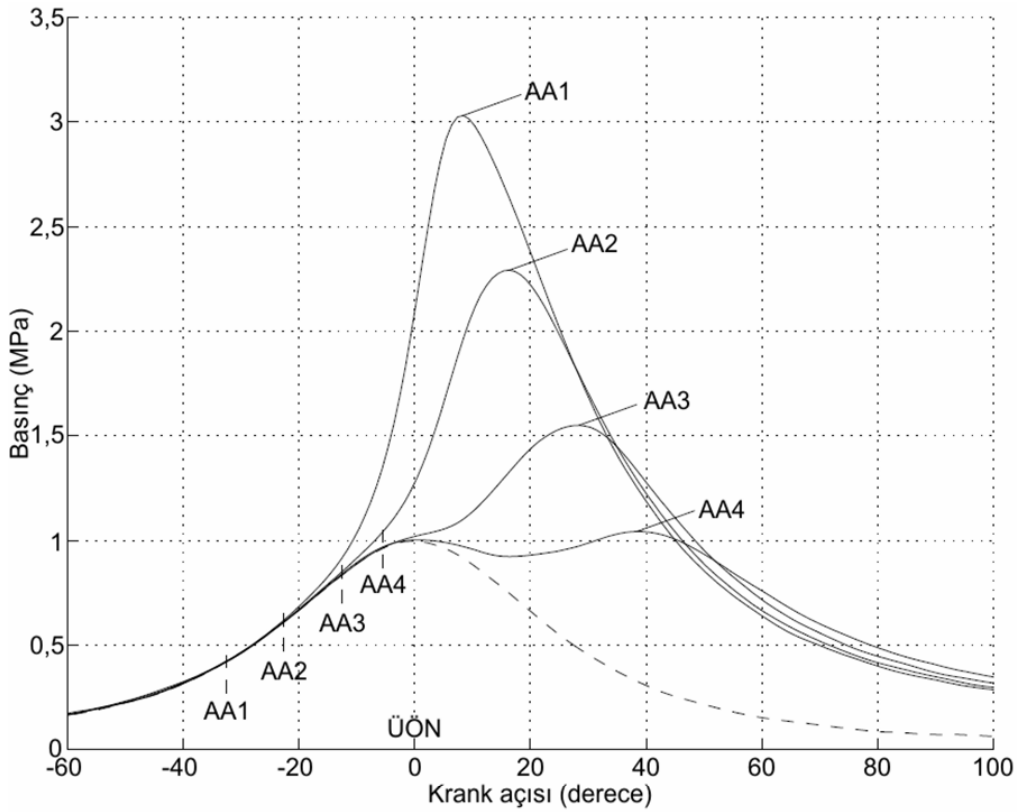
Buji ile ateşlemeli bir motorda ateşleme avansının belirlenmesinde en yüksek gücün elde edilmesi, düşük yakıt tüketimi, vuruntusuz çalışma ve emisyonların azaltılması amaçlanmaktadır. Şekil 2.5'te ateşleme avansına bağlı olarak motor momentinin değişimi görülmektedir [10]. Grafikte MBT (minimal advance for best torque) ile gösterilen nokta en iyi moment değerini sağlayan minimum ateşleme avansı olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 2.5. Ateşleme avansının motor momentine etkisi

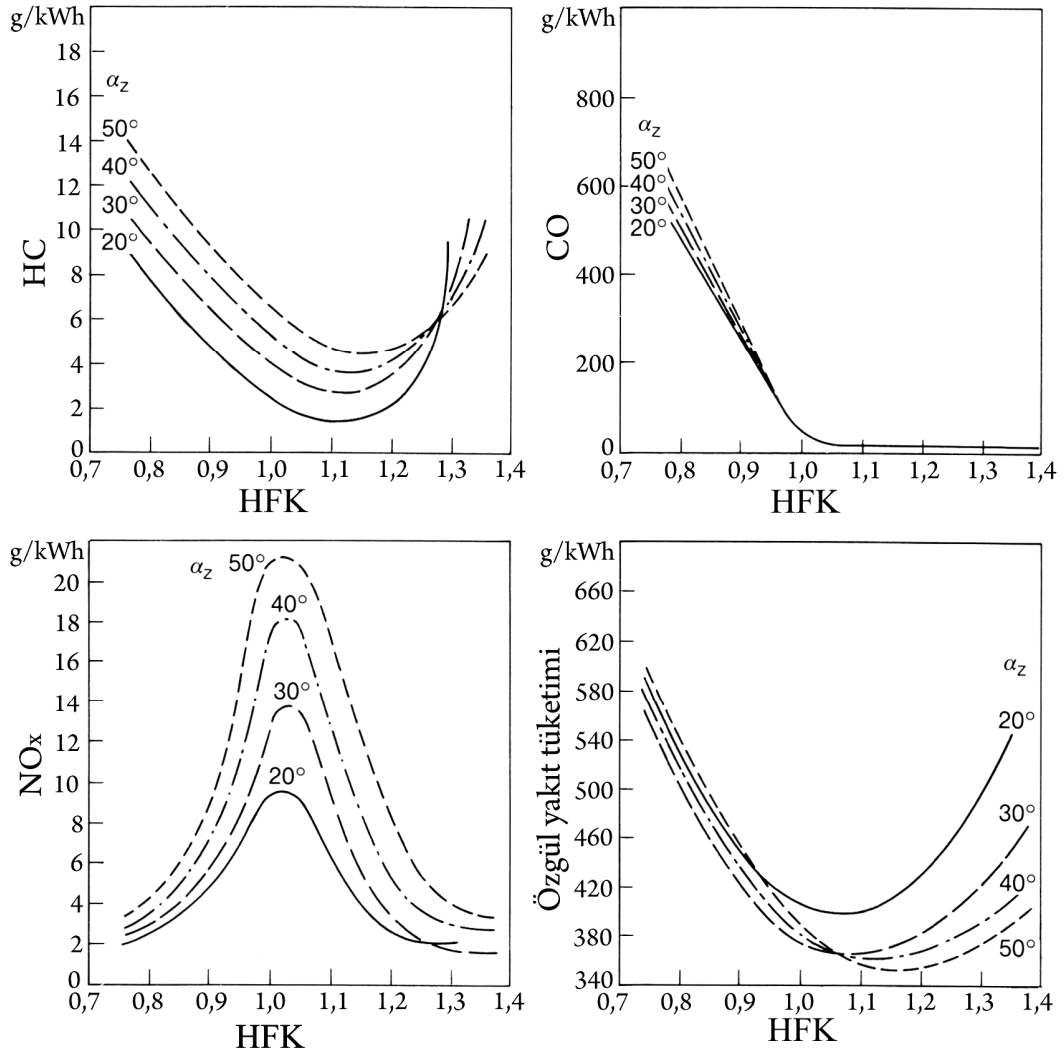
Şekil 2.6'da ise ateşlemenin farklı açılarda yapılması durumunda yanma odası basınç değişimleri görülmektedir. Grafikte en yüksek basıncın AA1 ateşleme avansında olduğu görülmektedir. Ancak AA1 en uygun ateşleme avansı değildir. Çünkü bu değerde elde edilen ortalama efektif basınç AA2'den daha düşüktür. En yüksek ortalama efektif basınç değerini AA2 ateşleme avansı sağlamaktadır. Bu durumda en

uygun ateşleme avansının AA2 olduğu söylenebilir [10]. Motordan en yüksek verimin alınabilmesi için yanma sonucunda oluşan yüksek basıncın uygun krank mili açısında elde edilmesi gerekmektedir.



Şekil 2.6. Ateşleme avansının yanma odası basıncına etkisi

Ateşleme avansının emisyonlar ve yakıt tüketimi üzerindeki etkileri Şekil 2.7'de görülmektedir [11]. Ateşleme avansının artmasına bağlı olarak NO_x emisyonlarında özellikle $\text{HFK}=1$ bölgesinde daha fazla olmak üzere tüm karışım oranlarında artış olduğu görülmektedir. HC emisyonu ise karışımın çok fakir olduğu bölge dışında ateşleme avansının artmasına bağlı olarak artmaktadır. CO emisyonunda ise karışımın çok zengin olması (HFK 'nın 0,9'dan küçük olması) durumunda ateşleme avansının artması artışa neden olmakta, diğer bölgelerde ciddi bir farka neden olmamaktadır. Özgül yakıt tüketimi ise karışımın fakir olması halinde ateşleme avansına bağlı olarak iyileşmektedir. Stokiyometrik oran ve zengin karışım bölgelerinde ise farklı avans değerleri için farklı özgül yakıt tüketimleri elde edilmektedir.

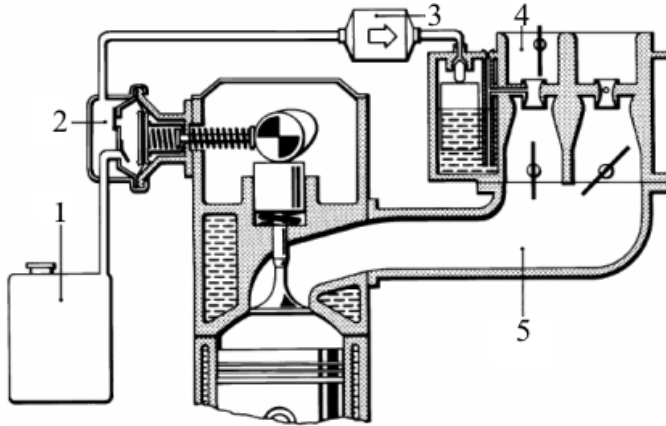


Şekil 2.7. Ateşleme avansının özgül yakıt tüketimi ve emisyonlara etkisi

2.5. Buji ile Ateşlemeli Motorlarda Yakıt Sistemleri

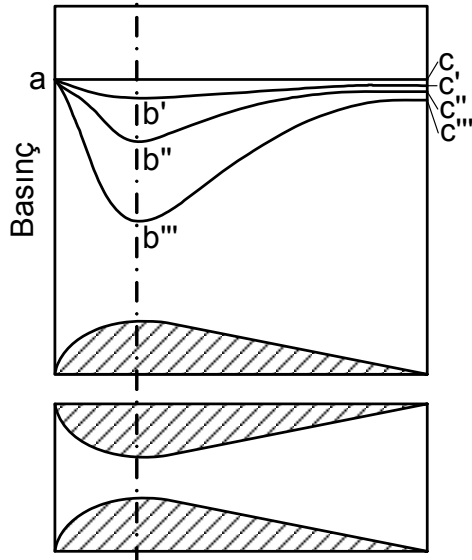
Buji ile ateşlemeli motorlarda kullanılan ilk karışım hazırlama sistemleri karbüratörlerdir. Şekil 2.8’de karbüratörlü bir yakıt sisteminin temel elemanları görülmektedir [12]. Daha sonrasında tek nokta ve çok nokta yakıt enjeksiyon sistemleri kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde ise çok nokta ve doğrudan enjeksiyon sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Yakıt enjeksiyon sistemleri hacimsel verim, moment, güç ve emisyonlar bakımından karbüratörlü sistemlere göre büyük avantajlar sağlamaktadır [13]. Karbüratörlü sistemlerin en büyük dezavantajı sahip oldukları ventürden dolayı basınç kayıplarının artmasıdır. Şekil 2.9’da bir

ventüride akış hızına bağlı basınç değişimleri görülmektedir [14]. Akış hızı arttıkça ventüri çıkışındaki basınç kaybı artmaktadır. Aynı durum ventüri kesitindeki daralmaya bağlı olarak da gerçekleşmektedir.



1. Yakıt tankı 2. Yakıt pompası 3. Yakıt filtresi
4. Karbüratör 5. Emme manifoldu

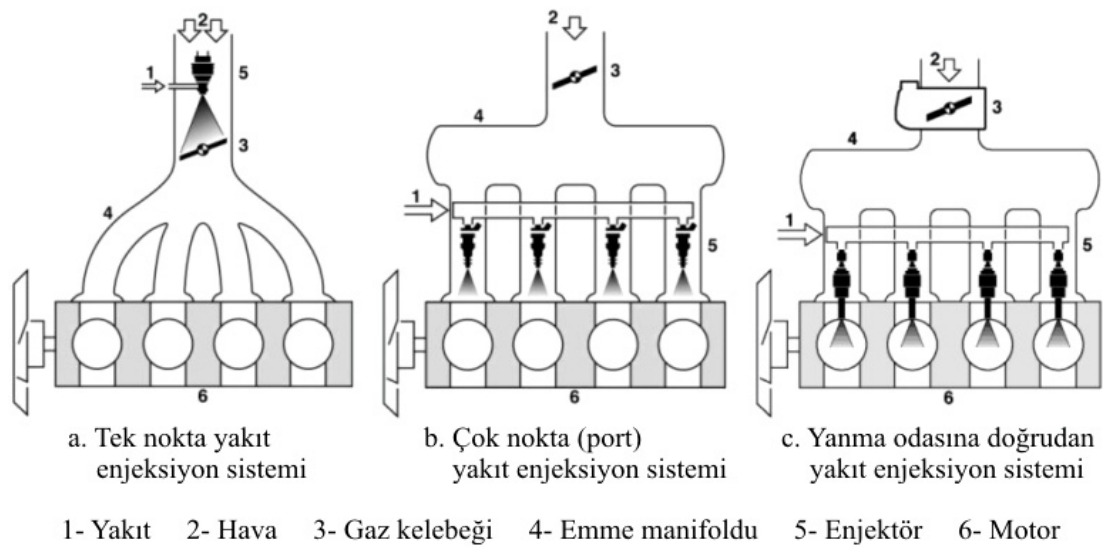
Şekil 2.8. Karbüratörlü yakıt sisteminin temel elemanları



Şekil 2.9. Bir ventüride akış hızına bağlı basınç değişimleri

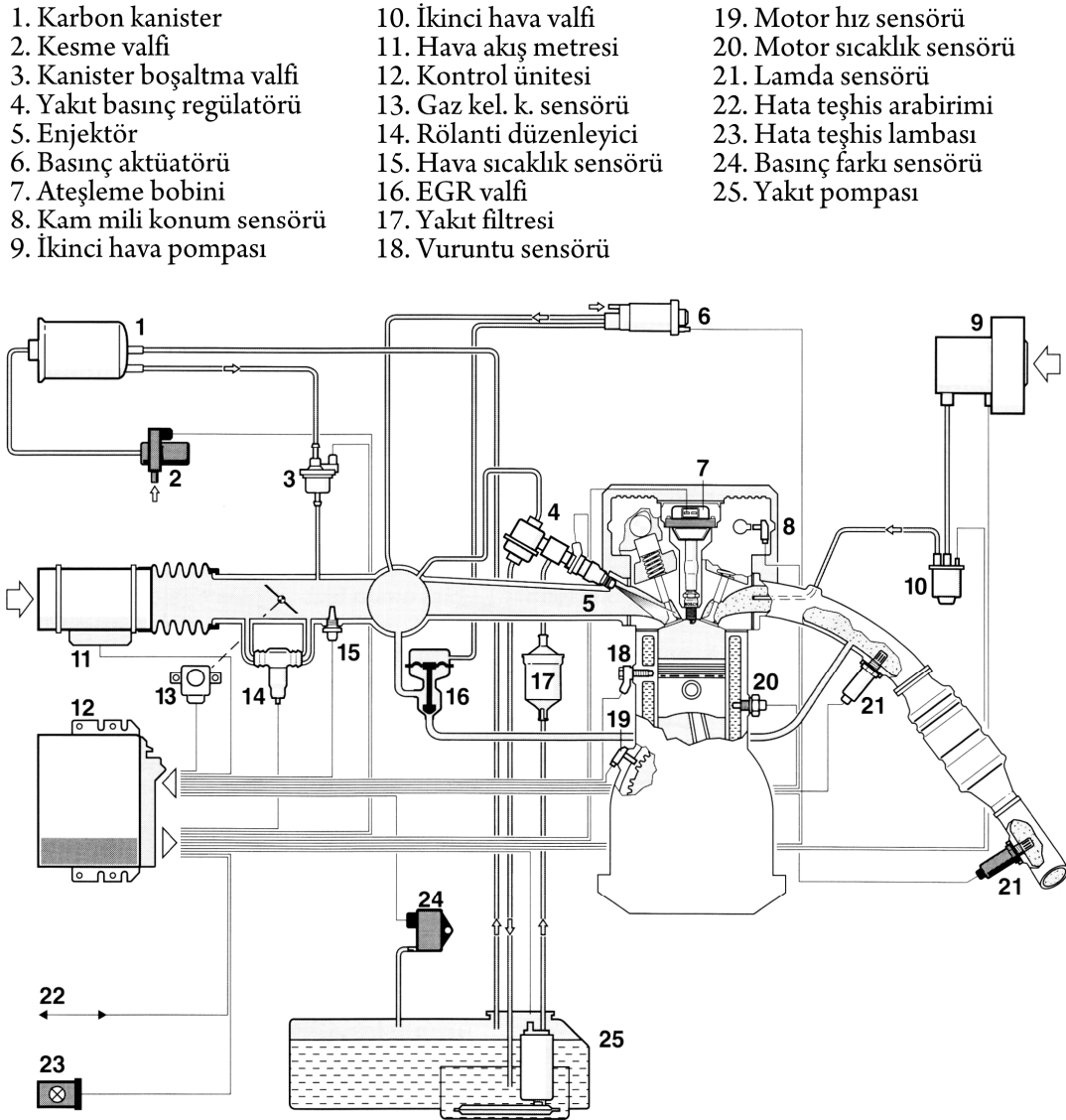
Yakıt enjeksiyon sistemlerinin geliştirilmesiyle CO, HC ve NO_x emisyonlarının önemli ölçüde azaltılması sağlanmıştır. Bu emisyonların iyileştirilmesinde HYO'nun elektronik olarak kontrol edilebilmesi ve lamda sensörlerinin kullanılması önemli rol oynamıştır [3].

Karışımın hazırlandığı yere göre yakıt enjeksiyon sistemleri birbirinden farklılık göstermektedir. Enjektörün gaz kelebeğinin üstüne yerleştirildiği sistemler tek nokta yakıt enjeksiyon sistemleridir. Her bir silindir için supabın hemen arkasına enjektörlerin yerleştirildiği sistemlere ise çok nokta enjeksiyon veya port tipi enjeksiyon sistemi denir. Dizel motorlarında olduğu gibi enjektörün doğrudan yanma odasına yakıtı püskürttüğü sisteme ise doğrudan benzin enjeksiyon sistemi denilmektedir [2, 3, 12]. Şekil 2.10'da karışımın hazırlandığı yere göre yakıt enjeksiyon sistemleri görülmektedir [12].



Şekil 2.10. Tek nokta, çok nokta ve doğrudan yakıt enjeksiyon sistemleri

Günümüz araçlarının çok büyük bir kısmında Bosch firmasının yakıt enjeksiyon sistemleri kullanılmaktadır. Bosch firmasının yakıt enjeksiyon sistemleri incelendiğinde ilk olarak K-Jetronic sisteminin kullanılmaya başlandığı görülmektedir. Daha sonraları KE-Jetronic, D-Jetronic, Mono-Jetronic ve L-Jetronic sistemleri kullanılmaya başlanmıştır. Bu sistemlerin hepsinin ortak özelliği sadece yakıt enjeksiyon fonksiyonunu yerine getirmesidir. Bu modellerden sonra Motronic sistemleri kullanılmaya başlanmıştır. Motronic sistemlerinde Jetronic'lerden farklı olarak yakıt enjeksiyonu ve ateşleme avansının kontrolü bir ünite içerisinde yapılmaktadır. Motronic M5 versiyonunun blok diyagramı Şekil 2.11'de görülmektedir [5].



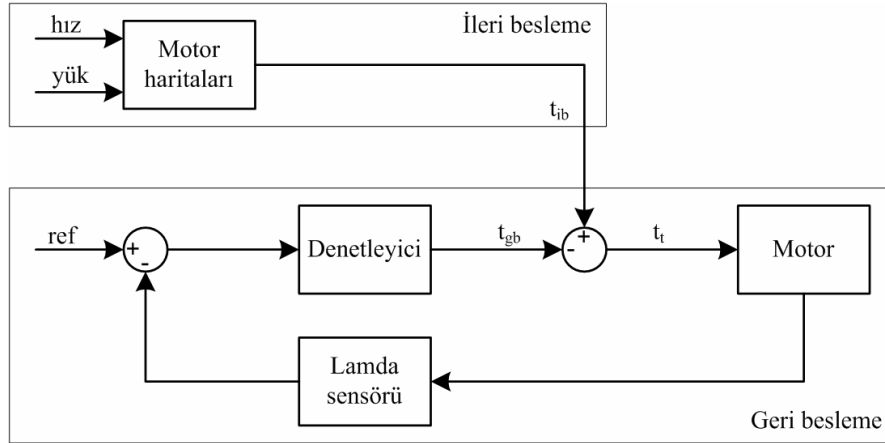
Şekil 2.11. Bosch Motronic M5 yakıt enjeksiyon sistemi

2.6. Yakıt Enjeksiyon Sistemlerinde Enjeksiyon Süresinin Belirlenmesi

Buji ile ateşlemeli motorlarda yakıt enjeksiyon sisteminin kontrolü iki temel alt bölümden oluşmaktadır. Bunlar, motorun hava tüketim miktarını esas kabul eden ileri besleme kısmı ve lamda sensöründen oluşan bir geri besleme kısmıdır. Şekil 2.12’de bu yapı blok şema halinde görülmektedir [15].

Motora alınan hava miktarının belirlenmesinde temel olarak üç yöntem kullanılmaktadır. Bunlar, hava akışının doğrudan kızgın telli veya kızgın filmlili bir

akış metre yardımıyla ölçülmesi yöntemi, emme manifoldu basıncına dayalı hız-yoğunluk yöntemi, gaz kelebeği konumuna dayalı α -n yöntemidir [16].



Şekil 2.12. Buji ile ateşlemeli bir motorda HYO kontrol sisteminin blok diyagramı

Doğrudan hava akışının ölçülmesi yönteminin motorun zamanla aşınmasına bağlı karakteristiğinin değişmesini telafi edebilmesi, yüksek rölanti kararlılığı, yalnızca taze hava miktarının ölçülmesinden dolayı EGR'ye karşı duyarlılığının olmaması gibi avantajları vardır [15]. Ancak tek silindirli motorlarda darbeleri bir hava akışı söz konusu olduğundan bu yöntemin kullanılması hatalı ölçümlere neden olmaktadır [16].

Hız-yoğunluk yönteminde manifold basıncı ve motor hızına bağlı olarak elde edilmiş olan hacimsel verim haritası yardımıyla motorun hava tüketimi belirlenmektedir. Emme manifoldu basıncına dayalı bir yöntem olduğundan motorda zamanla meydana gelen aşınmalar sonucu karakteristiğinin değişmesi telafi edilmektedir. Hız-yoğunluk yönteminde hava tüketimi,

$$\dot{m}_h = \eta(p_m, n) \cdot \frac{V_s \cdot n}{120} \cdot \frac{p_a}{R \cdot T_g} \quad (2.2)$$

eşitliği yardımıyla hesaplanmaktadır. Burada, $\dot{m}_h$, hava debisi, $\eta(p_m, n)$, motorun hacimsel verimi, V_s , silindir hacmi, n , motor hızı, p_a , atmosfer basıncı, R , ideal gaz

sabiti ve T_g , giriş havası sıcaklığıdır. Eşitlikten de anlaşılabacağı gibi motorun hacimsel verimi motor yükü (manifold basıncı) ve motor hızına bağlı olarak elde edilmiş bir haritadır [15]. Tek silindirli motorlarda çok silindirli motorlardaki gibi emme manifoldunda bir sönümlleme haznesi bulunmamaktadır. Bu nedenle tek silindirli motorlarda manifold basıncı çok dalgalıdır. Bu durum hız-yoğunluk yönteminin tek silindirli motorlarda kullanılmasını zorlaştırmaktadır [17].

α -n yöntemi hız-yoğunluk yöntemine benzer bir yapıdadır Burada manifold basıncı yerine gaz kelebeği açısı yük bilgisi olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde motorun hacimsel verimi gaz kelebeği açısı ve motor hızına bağlı elde edilmiş bir haritadır. Hava tüketimi bu harita yardımıyla hesaplanmaktadır. Bu yöntem maliyet açısından diğer yöntemlere göre daha avantajlıdır. Ancak gaz kelebeği konum bilgisi referans kabul edildiği için motorun karakteristiğinde zamanla meydana gelebilecek değişimler göz ardı edilmiş olacaktır. Ayrıca düşük gaz kelebeği konumunda gaz kelebeğinin çok az bir hareketine karşın hava akışının önemli oranda değişmesi, yani gaz kelebeğinin doğrusal olmayan yapısı bu yöntemin dezavantajlarından [17,18].

Geri besleme kısmı ise temelde bir lamda sensöründen alınan bilgiye göre çalışır. Bu kısım motor sıcakken ve kararlı durum çalışmasında devrededir. Bu durum lamda sensörünün karakteristiğinden kaynaklanmaktadır. Motorun soğuk olması veya geçiş durumlarında ise ileri besleme kısmı devrededir.

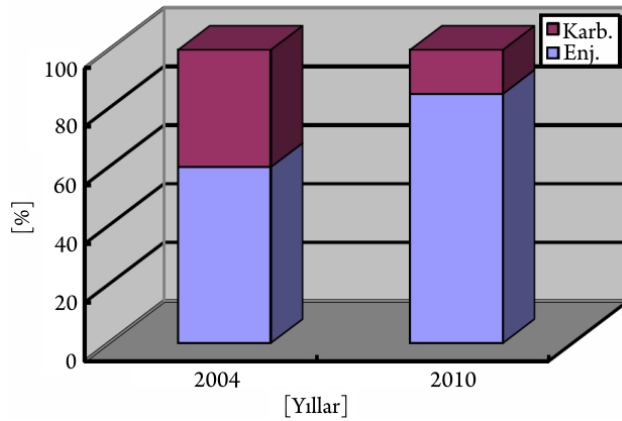
Motorun hava tüketiminin belirlenmesinden sonra püskürtülmesi gereken yakıt miktarı,

$$\dot{m}_y = \frac{\dot{m}_h}{HYO} \quad (2.3)$$

eşitliği yardımıyla hesaplanmaktadır. Burada $\dot{m}_h$, silindire alınan havanın kütlesi, $\dot{m}_y$, püskürtülecek yakıtın kütlesi, HYO ise hava yakıt oranıdır.

2.7. Tek Silindirli Buji ile Ateşlemeli Motorlarda Yakıt Enjeksiyon Sistemleri

Yakıt enjeksiyon sistemleri çok silindirli motorlarda yaygın olarak kullanılmasına karşın tek silindirli motorlarda yaygınlaşmaya başlaması yenidir. Bu durum üzerinde yakıt enjeksiyon sistemlerinin maliyetinin karbüratörlü sistemlere göre daha yüksek olmasının önemli bir etkisi vardır. Şekil 2.13'te 250 cm³ ve üzeri küçük hacimli motorlarda yakıt enjeksiyon sistemleri kullanımının yıllara göre değişimi görülmektedir [19].



Şekil 2.13. Küçük hacimli motorlarda yakıt enjeksiyon sistemlerinin yaygınlaşması

2.8. Literatür Özeti

Prince (1987), yaptığı çalışmada mikroişlemcili bir yakıt enjeksiyon sistemi geliştirmiştir. Prince, geliştirdiği sistemde yakıt enjeksiyon süresinin hesaplanmasında üç farklı metot üzerinde çalışmıştır. Bu metotlar, hava akış miktarının doğrudan ölçülmesi, hız – yoğunluk yöntemi ve kendi geliştirdiği düzeltilmiş hız – yoğunluk yöntemidir. Geliştirilen sistem Intel 8031 mikroişlemcili bir kartı içermektedir. Yazılım MCS – 51 assembly dilinde geliştirilmiştir. Çalışmada geliştirilen düzeltilmiş hız – yoğunluk yönteminin özellikle yarış arabaları için uygun olduğu vurgulanmıştır [20].

Ishii ve arkadaşları (1988), yaptıkları çalışmada geniş çalışma aralığına sahip bir HYO sensörü ve tek nokta enjektörden oluşan bir yakıt enjeksiyon sistemi tasarlamış

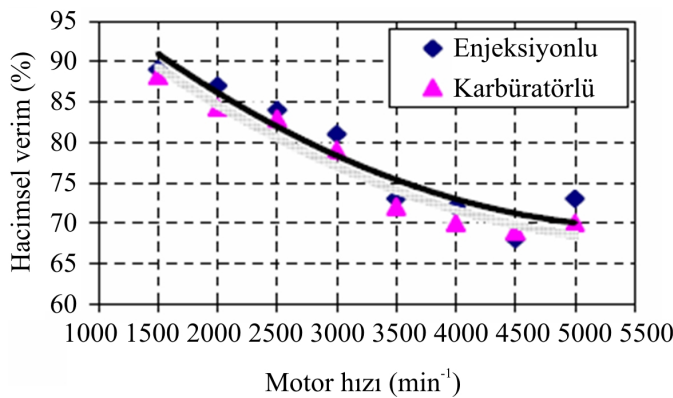
ve uygulamışlardır. Sistemi oluşturan ana elemanlar egzoz manifolduna yerleştirilmiş olan geniş çalışma aralığına sahip bir HYO sensörü, ultrasonik atomize edicili bir tek nokta yakıt enjektörü, giriş havasının miktarını belirlemekte kullanılan hava akış sensörü ve 16 bit mikroişlemcili bir denetleyici olarak belirtilmiştir. Yapılan çalışmada rölanti çalışması, kısmi yük çalışması ve tam yük çalışması için ayrı ayrı kontrol teknikleri uygulanmış, rölanti çalışması için PID (oransal integral türev), fakir kısmi yük çalışması için PI (oransal integral), stokiyometrik kısmi yük çalışması için PID, tam yük çalışmasında ise PI denetleyicinin daha iyi sonuç verdiği belirtilmiştir. Ayrıca yapılan sisteme kararlı durum ve geçiş durumları için öğrenme algoritmaları eklenmiştir. Bu öğrenme algoritmaları PID denetleyicinin katsayılarını belirleyerek en uygun çalışma şartlarını bulmayı hedeflemiştir. Bu çalışmada daha verimli bir yanma ve egzoz emisyonlarının azaltılması sağlanmıştır [21].

Gobburu (1988), çalışmasında National firmasının ürettiği HPC16164 mikrodenetleyicisinin içten yanmalı motorların kontrolünde uygulanabilirliğini incelemiştir. Bu çalışmada motordaki elektronik kontroller üç ana kategoriye ayrılmıştır. Bunlar, ateşleme avansının kontrolü, yakıt enjeksiyonunun kontrolü, egzoz gaz resirkülasyonu ve ikinci hava yönetimidir. Sistemin girişleri, krank mili konum sensörü, hava akış sensörü, manifold mutlak basınç (MAP) sensörü, egzoz gaz resirkülasyon (EGR) sensörü, oksijen sensörü, gaz keleşi konum sensörü ve soğutma suyu sıcaklık sensörü olarak belirtilmiştir. Sistemin çıkışları, yakıt enjektörleri, bujiler ve rölanti düzenleyici (ikinci hava girişı) olarak belirtilmiştir. Gobburu çalışmasında ateşleme avansı ve yakıt enjeksiyon sürelerinin hesaplanmasına dair temel birtakım eşitliklere yer vermiştir [22].

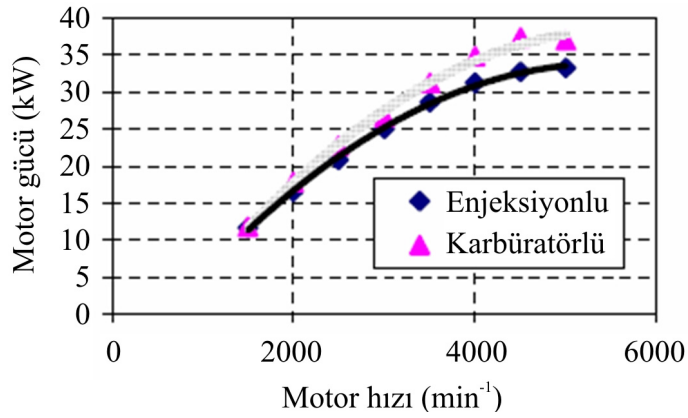
Cassidy (1974), yaptığı çalışmada bir motorun HYO kontrol sisteminin matematik modelini geliştirmiş ve bu model ile bilgisayarda çeşitli kontrol algoritmalarının simülasyonunu yaparak sonuçlarını karşılaştırmıştır. Simülasyon işleminden sonra sistemi elektronik bir devre haline getirmiş ve deneysel sonuçlarla tasarımın geçerliliğini test etmiştir. Cassidy çalışmasında açık döngü ve kapalı döngü kontrol sistemlerini uygulayarak sonuçlarını karşılaştırmış ve kapalı döngü kontrol sistemlerinin üstünlüklerini göstermiştir. Çalışmada uygulanan denetleyici bir PID

denetleyicidir. PID denetleyicinin en uygun sonuç verdiği katsayılar bilgisayarda geliştirilen simülasyon programı yardımıyla belirlenmiştir [23].

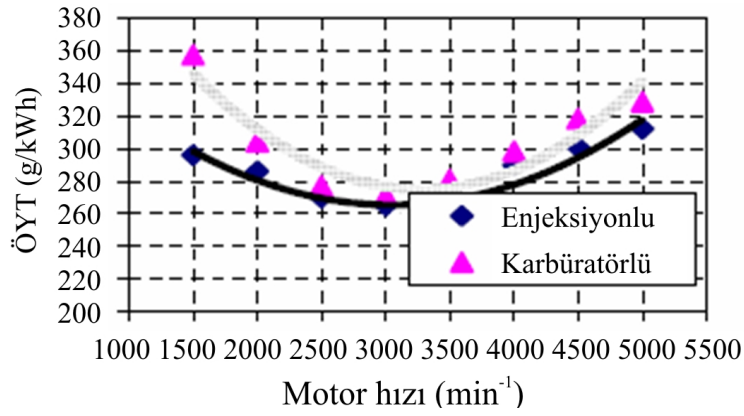
Salman ve arkadaşları (2003), yaptıkları çalışmada dört silindirli karbüratörlü bir motora tek nokta yakıt enjeksiyon sistemi uygulayarak karbüratörlü yakıt sistemi ve yakıt enjeksiyon sistemini karşılaştırmışlardır. Yapılan çalışmada tork ve güç açısından çok büyük bir avantaj elde edilememiş fakat emisyonlarda büyük oranda iyileşmeler sağlanmıştır. Ayrıca tek nokta yakıt enjeksiyon sisteminde HYO istenilen değerlerde tutulabilmiş ve özgül yakıt tüketiminde düşüş sağlanmıştır. Çalışmanın sonuçları incelendiğinde karbüratörlü sistem ve yakıt enjeksiyon sistemi arasındaki farklar açıkça görülmektedir. Karbüratörlü sistemlerde karışımın hazırlanabilmesi için ventüri vardır, enjeksiyon sistemlerinde ise ventüri yoktur ve emme manifoldu çapı daha büyük yapılabilir. Bu nedenle enjeksiyon sistemli motorlarda hacimsel verim daha fazladır. Şekil 2.14'te enjeksiyonlu sistemin hacimsel veriminin daha yüksek olduğu görülmektedir. Özellikle yüksek devirlerde, karbüratörlü yakıt sistemi daha zengin bir karışım hazırladığından gücün enjeksiyon sistemli motora göre daha fazla çıktığı görülmektedir (Şekil 2.15). Özgül yakıt tüketimleri bakımından ise yakıt enjeksiyon sistemi önemli bir avantaj sağlamaktadır (Şekil 2.16). Yakıt enjeksiyon sistemleri stokiometrik orana çok daha yakın bir karışım hazırladığından HC ve CO emisyonlarında önemli derecede azalmalar görülmektedir (Şekil 2.17, Şekil 2.18). HYO'lar karşılaştırıldığında ise yakıt enjeksiyon sisteminin stokiometrik oranı daha hassas bir biçimde sağladığı görülmektedir (Şekil 2.19) [13].



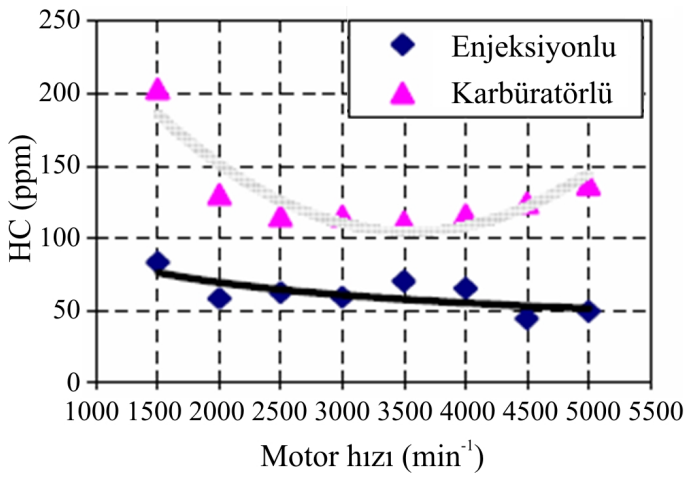
Şekil 2.14. Karbüratörlü ve enjeksiyonlu sistemde motor hızına bağlı olarak hacimsel verimin değişimi



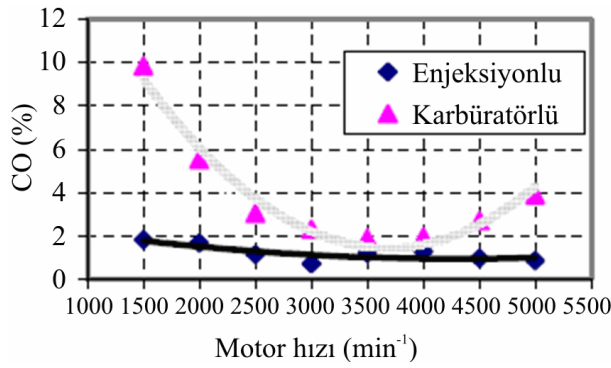
Şekil 2.15. Karbüratörlü ve enjeksiyonlu sistemde hıza bağlı olarak motor gücünün değişimi



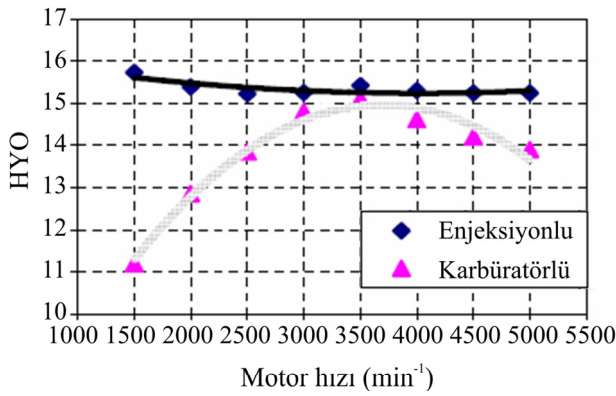
Şekil 2.16. Karbüratörlü ve enjeksiyonlu sistemde motor hızına bağlı olarak ÖYT'nin değişimi



Şekil 2.17. Karbüratörlü ve enjeksiyonlu sistemde motor hızına bağlı olarak HC emisyonunun değişimi



Şekil 2.18. Karbüratörlü ve enjeksiyonlu sistemde motor hızına bağlı olarak CO emisyonunun değişimi



Şekil 2.19. Karbüratörlü ve enjeksiyonlu sistemde motor hızına bağlı olarak HYO'nun değişimi

Gyorki (1974), yaptığı çalışmada yakıt enjeksiyon sisteminin temel esaslarını açıklamıştır. Gyorki yakıt enjeksiyon sistemini üç ana bölüm halinde değerlendirmiştir. Bunlar, hava girişi, yakıt sistemi ve elektronik kontrollerdur. Sistemin elemanları ise manifold mutlak basınç sensörü, motor hız sensörü, giriş havası sıcaklık sensörü, soğutma suyu sıcaklık sensörü, gaz keleşbeği konum sensörü, elektronik kontrol ünitesi, enjektörler olarak belirtilmiş ve bu elemanların temel özelliklerine değinilmiştir. Çalışmada yapısı açıklanan yakıt enjeksiyon sistemi açık döngülü bir kontrol sistemidir. Çalışmada ayrıca lamda sensörüne sahip kapalı döngü kontrolü yapılan bir taşıta ait emisyon sonuçları da verilmiş ve kapalı döngü kontrolün yakıt enjeksiyon sistemlerinde sağladığı üstünlükler açıklanmıştır [24].

Kaiser ve arkadaşları (1988), yaptıkları çalışmada Bosch firmasının ürettiği Motronic sisteminin yapısını incelemişlerdir. Çalışmada Motronic sisteminin ana

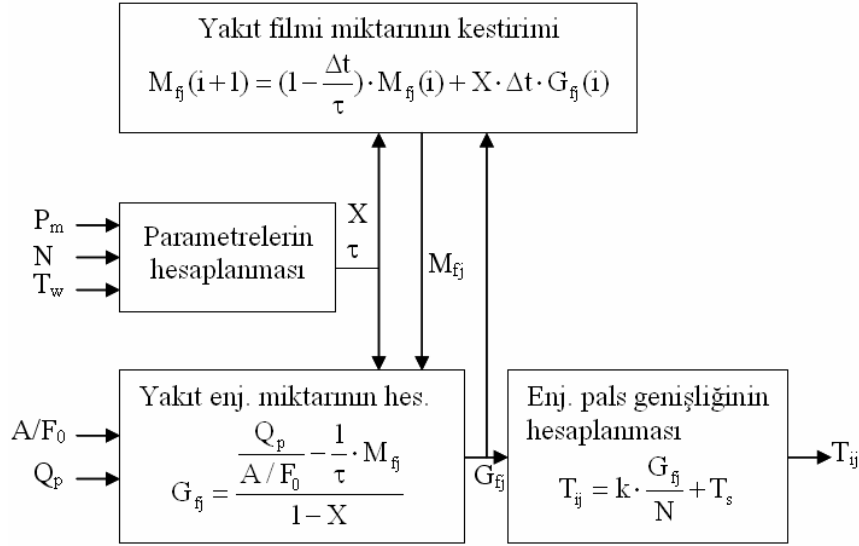
fonksiyonları, yakıt enjeksiyonu, ateşleme, lamda kontrolü, rölanti kontrolü, vurunu kontrolü, sıralı yakıt enjeksiyonu, kanister elektrovana kontrolü ve arıza teşhisi olarak belirtilmiş ve bu fonksiyonlarla ilgili temel bilgiler verilmiştir. Motronic sistemlerinin farklı mikrodenetleyicilere sahip versiyonlarının performans, bellek alanı ve eleman sayıları kıyaslanmıştır. Mikrodenetleyicilerdeki gelişmelere bağlı olarak performans, bellek alanı, eleman sayılarındaki azalma ve fonksiyonellikteki artış vurgulanmıştır [25].

Park ve arkadaşları (1993), yaptıkları çalışmada, 2 L silindir hacmine sahip 4 silindirli yakıt enjeksiyon sistemli buji ile ateşlemeli bir motorda rölanti çalışmasının düzgünleştirebilmek için silindirlerin ateşleme avanslarının ayrı ayrı kontrolünü yapmışlardır. Her bir silindirin ateşlemesi sırasında meydana gelen ortalama hızdan sapma miktarı hata olarak kabul edilmiş ve PID denetleyici ile bu hata en aza indirilmeye çalışılmıştır. Kontrol yapılmadan önce %15'lere varan sapmalar kontrolle birlikte %1'e çekilmiş ve 6-7 Hz civarındaki titreşimler ortadan kaldırılmıştır [26].

Lee ve arkadaşları (2004), yaptıkları çalışmada hava soğutmalı küçük bir buji ile ateşlemeli motorun yakıt enjeksiyon sistemini bulanık mantık denetleyici ile kontrol etmişlerdir. Bulanık mantık denetleyicinin giriş değişkenleri motor hızı ve emme manifoldu basıncı, çıkış değişkeni ise enjektörün açık kalma süresidir. Çalışmada motorun kendi yakıt sistemi ve geliştirilen bulanık mantık denetleyicili yakıt sistemi performans ve emisyonlar açısından değerlendirilmiştir. Bulanık mantık denetleyicili sistemin hem motor performansı hem de emisyonlar bakımından üstünlük sağladığı tespit edilmiştir [27].

Takahashi ve Sekozawa (1995), yaptıkları çalışmada bir benzinli motorda HYO'nun kontrolünü durum tahmini (state estimation) ve dinamik modeller kullanarak tahmin yöntemiyle gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada manifold basıncı, giriş portundaki hava akışı ve yakıt filmi dinamik bir model yardımıyla tahmin edilmiş ve yakıt enjeksiyon miktarı tahmin edilen bu değerlere bağlı olarak kontrol edilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda egzoz emisyonlarında geleneksel metoda (PI) göre %10 - %35 arası iyileşmeler sağlanmış ve geçişlerde HYO'da meydana gelen dalgalanmalar da

azaltılmıştır. Şekil 2.20’de her bir silindir için geliştirilen kontrol sisteminin blok diyagramı görülmektedir [28].

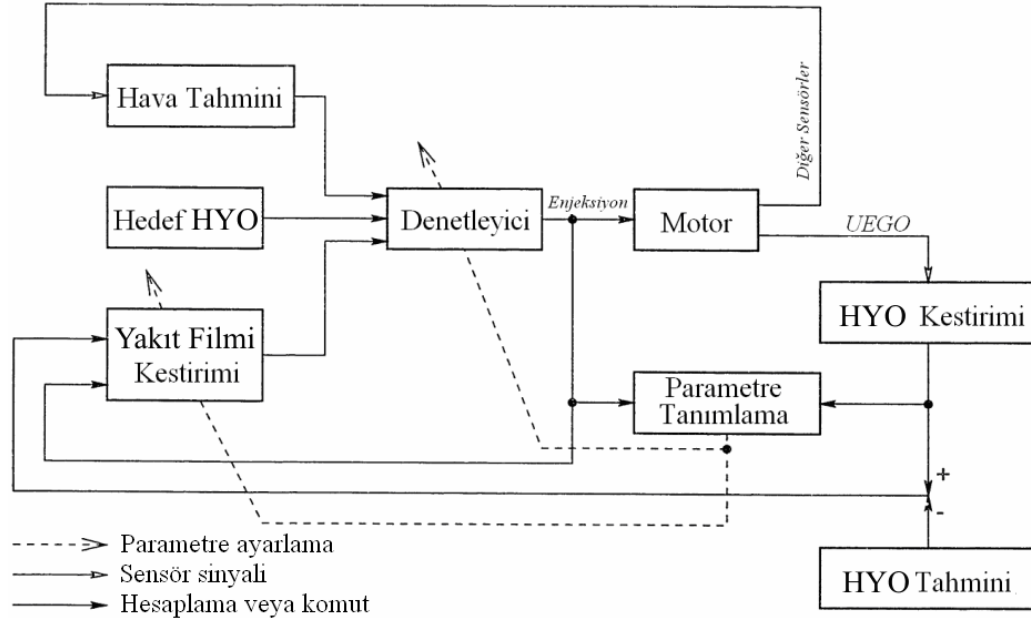


Şekil 2.20. Her bir silindir için kontrol sistemi

M_{fj} : Yakıt filmi miktarı, G_{fj} : Yakıt enjeksiyon miktarı,
 T_{ij} : Enjeksiyon pals genişliği, p_m : Manifold basıncı,
 Q_p : Tahmin edilen hava akış oranı, T_w : Gaz kelebeği açısı,
 N : Motor hızı, X, τ : Yakıt modeli parametreleri

Tseng (1997), çalışmasında buji ile ateşlemeli motorlarda HYO’nun kontrolü için model tabanlı uyarlamalı bir denetleyici geliştirmiştir. Şekil 2.21’de, geliştirilen uyarlamalı denetleyicinin blok diyagramı görülmektedir. Tseng geliştirdiği denetleyiciyi üç kısma ayırmıştır. Bunlar, emilen havanın tahmin edilmesi, silindir içi HYO’nun kestirimi ve yakıt dinamiği kompanzasyonudur. Çalışmada emilen hava miktarı emme manifoldu basıncı, hava sıcaklığı ve motor hızı gözetleyicileri yardımıyla hız – yoğunluk modelinden tahmin edilmiştir. Emme manifoldu basıncı, motor hızı ve hava sıcaklığı değerleri doğrudan sensörler yardımıyla ölçülebilir olmasına rağmen bir çevrimin $\frac{3}{4}$ ’ü süresi öncesinden tahmin edilebilmesi için gözetleyici (observer) olarak adlandırılan modeller kullanılmıştır. Ayrıca hız – yoğunluk modelinde kullanılan bir diğer parametre de hacimsel verim değeridir. Hacimsel verim haritası motor hızı ve emme manifoldu basıncının fonksiyonu olarak oluşturulmuş ve hava akış sensörü ve ortam koşullarına göre sürekli olarak düzeltme işlemine tabi tutulmuştur [29].

Çalışmada silindir içerisindeki HYO'nun kestirimi, UEGO (Universal Exhaust Gas Oxygen) sensöründen alınan sinyalin filtrelenmesiyle yapılmıştır.



Şekil 2.21. Tseng'in çalışmasında geliştirdiği uyarlamalı denetleyici

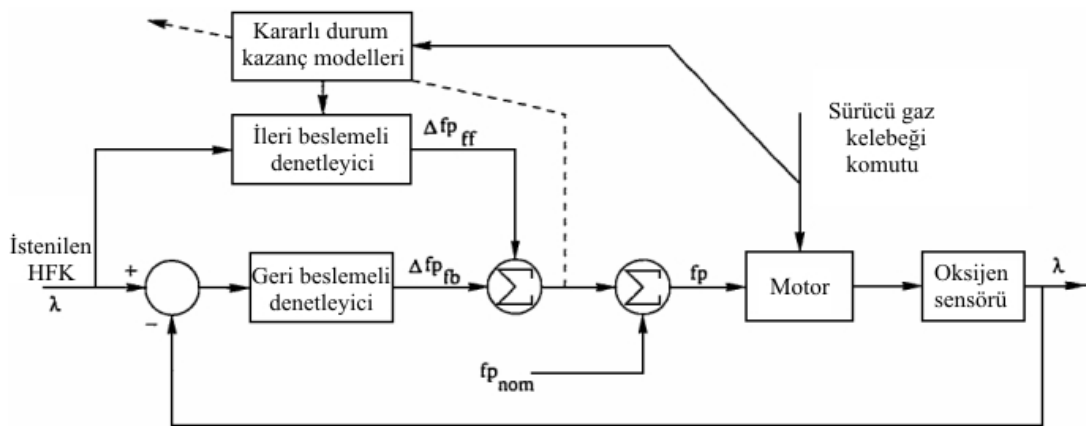
Yakıtın püskürtülmesi sırasında yüzeylerde biriken yakıt miktarının kestirimi de çalışmada geliştirilen bir model yardımıyla gerçekleştirilmiş ve denetleyiciye bir kompanzasyon bilgisi olarak gönderilmiştir.

Tseng çalışmasında denetleyici olarak sabit kazançlı bir PI denetleyici, uyarlamalı denetleyici ve çalışmada kullanılan motorun kendi denetleyicisini (FORD EEC IV) çeşitli şartlar altında test etmiş, sonuçlarını kıyaslamış ve uyarlamalı denetleyicinin diğer denetleyicilerden üstün olduğunu belirtmiştir.

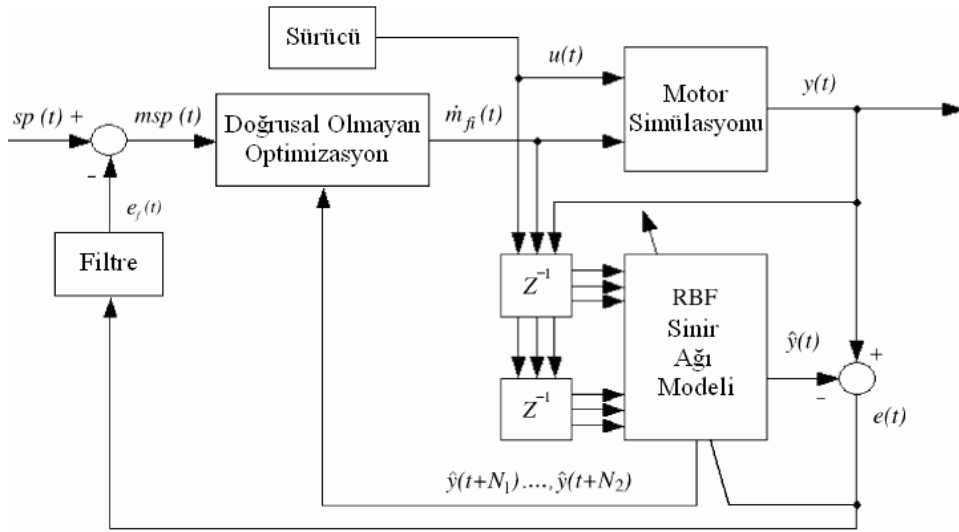
Pieper ve Mehrotra (1999), yaptıkları simülasyon çalışmasında HYO'nun kontrolünü kayar mod metoduyla gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada yük etkileri ve işlem gecikmelerine ilave olarak emme manifoldu dinamiği, yakıtın yüzeylerde film oluşturması ve krank mili dinamiğini içeren doğrusal olmayan, yakıt enjeksiyonlu buji ile ateşlemeli bir motor modeli geliştirilmiştir. Doğrusallaştırılmış bir model için

durum kestirimleri (state estimations) kullanılarak kayar modlu bir denetleyici tasarlanmış ve uygulanmıştır [30].

Shah (1998), yaptığı çalışmada buji ile ateşlemeli bir motor için yeni bir kalıcı durum uyarlamalı (adaptive) yakıt kontrol stratejisi geliştirmiştir. Önerilen stratejide gaz kelebeği konumu değişimi gibi geçiş durumlarından sonra HYO'nun stokiyometrik oranda tutulabilmesi için yakıt pals genişliği düzeltmesi yapan bir ileri beslemeli denetleyici kullanılmıştır. Çalışmada ileri beslemeli denetleyicinin yakıt pals genişliği düzeltmesi yapabilmesi için, yeni bir hava yolu ve yakıt yolu doğrusal olmayan kararlı durum kazanç modeli geliştirilmiştir. Kullanılan modelin diğer çalışmalardaki modellerden farklı olan yönü ise modelin girişlerinin yakıt enjeksiyon süresi ve hava akış sensörü, çıkışlarının ise hava yolundan dolayı HFK ve yakıt yolundan dolayı HFK olmasıdır. Önerilen yakıt kontrol stratejisinin testlerinde, hava yolu, yakıt yolu modellerinde yapay hatalar meydana getirilmiş ve sistemin yeni duruma kendini uyarlaması gözlenmiştir. Hava yolu ve yakıt yolu modelinde oluşturulan yapay hatalar gerçekte sensörlerin kalibrasyonlarında oluşabilecek hatalar, yakıt türündeki farklılıklar gibi durumları temsil etmek amacıyla yapılmış ve deneyler sonucunda sistemin kendisini başarılı bir şekilde yeni duruma uyarladığı belirtilmiştir. Şekil 2.22'de önerilen kontrol sisteminin blok diyagramı, Şekil 2.23'te ise önerilen hava ve yakıt yolu dinamikleri görülmektedir [31].



Şekil 2.22. Shah'ın çalışmasında önerdiği kontrol sisteminin blok diyagramı
 Δfp_{ff} : İleri beslemeli kontrol yakıt pals genişliği düzeltmesi,
 Δfp_{fb} : Geri beslemeli kontrol yakıt pals genişliği düzeltmesi,
 fp : Toplam yakıt pals genişliği, fp_{nom} : Nominal yakıt pals genişliği



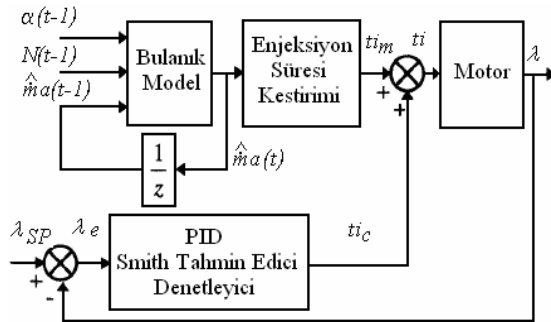
Şekil 2.25. Wang ve arkadaşlarının önerdikleri kontrol sisteminin blok diyagramı
 $sp(t)$: referans girişi, $u(t)$: gaz kelebeğinin konumu, $y(t)$: HYO,
 $e(t)$: hata, $m_f(t)$: püskürtülen yakıt miktarı (kg/s)

Azzoni ve arkadaşları (1999), yaptıkları çalışmada yakıt enjeksiyon sistemlerinde kullanılan genel sensör bilgilerine ilave olarak gaz kelebeği konum bilgisini de kullanan model tabanlı bir HYO denetleyicisi geliştirmiş ve simülasyonunu yaparak üstünlüklerini ortaya koymuşlardır. Çalışmada geçiş durumlarında HYO'nun daha iyi kontrolünün yapılmasına çalışılmıştır. Simülasyon çalışmasında ihtiyaç duyulan motor moment haritaları, hacimsel verim haritası, gaz kelebeği hava akış karakteristiği ve yakıt film modeli için gerekli parametreler Lamborghini marka V12 motorun deney sonuçlarından elde edilmiştir. Gaz kelebeği tabanlı düzeltme işlemi oransal (P) ve oransal-türev (PD) algoritmalar kullanılarak yapılmış ve oransal-türev algoritmasının daha iyi sonuç verdiği belirtilmiştir [33].

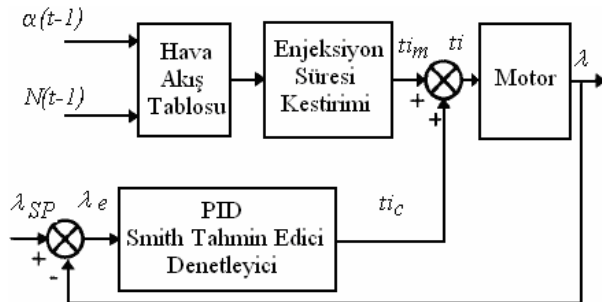
Choi ve Hedrick (1998), yaptıkları çalışmada gözetleyici tabanlı bir HYO kontrol algoritması önermişlerdir. Çalışmada içten yanmalı motorlarda doğal olarak bulunan zaman gecikmeleri nedeniyle kayar modlu kontrol algoritmalarında meydana gelen titreme problemine değinilmiş, hızlı cevap süresi ve düşük düzeyde titremesi nedeniyle gözetleyici tabanlı kontrol algoritması önerilmiştir. Kayar modlu ve gözetleyici tabanlı kontrol algoritmaları simülasyon çalışmasıyla ve deneysel olarak kıyaslanmıştır. Ayrıca deneysel çalışmada motorun elektronik kontrol modülü de geri beslemeli ve geri beslemesiz olarak çalıştırılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Yapılan karşılaştırmalarda gaz keleşbeği konumundaki ani değişikliklerin HYO üzerindeki etkileri bir doğrusal egzoz oksijen sensörü yardımıyla ölçölmüştür. Simölasyon çalışması ve deneysel çalışmanın sonuçlarına göre gözetleyici tabanlı kontrol algoritmasının daha üstün olduğu belirtilmiştir [34].

Copp ve arkadaşları (1998), yaptıkları çalışmada ileri beslemeli HYO kontrol algoritmalarını simölasyon yaparak kıyaslamışlardır. Çalışmada, PID kontrol, PID Smith tahmin edici denetleyicili kontrol, bulanık model tabanlı ileri beslemeli kontrol, tablo metoduyla ileri beslemeli kontrol algoritmaları karşılaştırılmıştır. En iyi sonuç tablo metoduyla ileri beslemeli kontrol algoritmasından elde edilmiştir. Copp ve arkadaşlarının karşılaştırdıkları kontrol algoritmaları şekil 2.26, şekil 2.27 ve şekil 2.28’de görölmektedir. Ayrıca bulanık model tabanlı algoritma ile tablo metotlu algoritma yakıt dinamiği kullanılarak test edilmiştir. Yakıt dinamiği kullanılmadığında bulanık model tabanlı algoritmanın daha iyi sonuç verdiği, yakıt dinamiği kullanıldığında ise tablo metotlu kontrol algoritmasının daha iyi sonuç verdiği belirtilmiştir [35].



şekil 2.26. Bulanık model tabanlı HYO kontrol sistemi

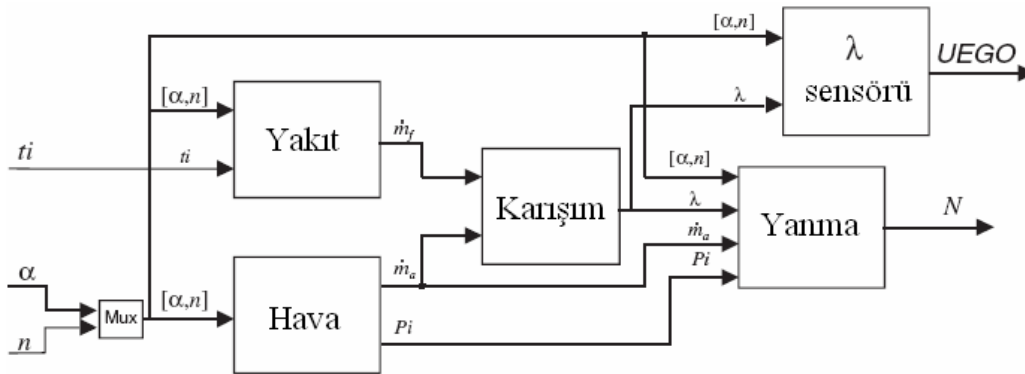


şekil 2.27. Tablo tabanlı HYO kontrol sistemi

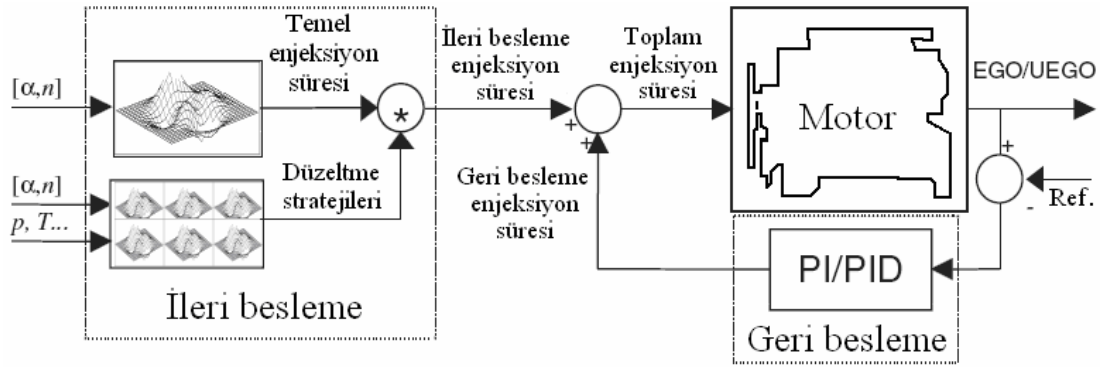


Şekil 2.28. PID HYO kontrol sistemi

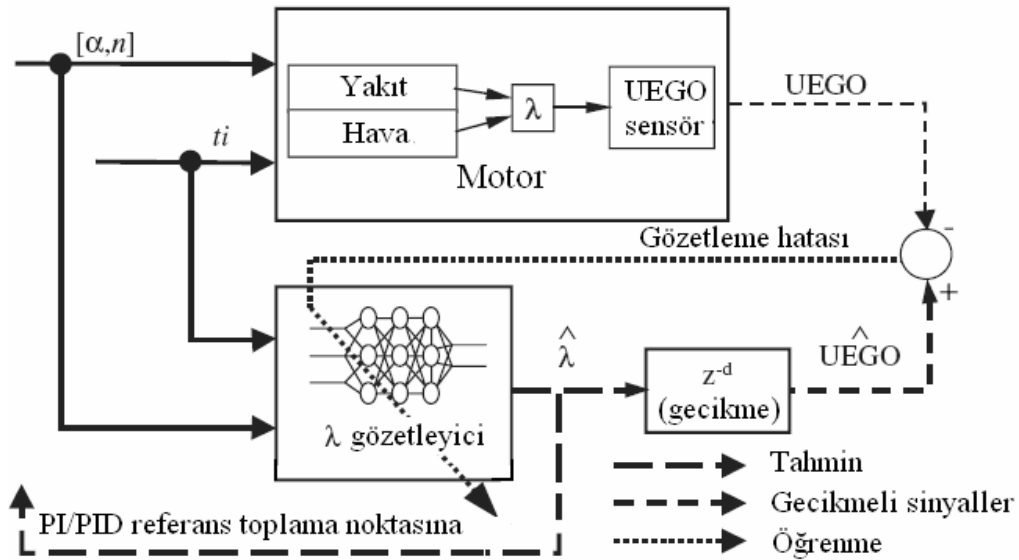
Cercós ve Casin (2001), yaptıkları çalışmada bir motorun matematiksel modelini geliştirmiş ve bu model üzerinde deneysel verileri kullanarak temel bir ileri besleme denetleyici ve PID geri beslemeli denetleyiciyi uygulamışlardır. Gözetleyici tabanlı bir sinir ağı geliştirerek PID geri beslemeli denetleyicinin geri besleme sinyalini sinir ağından almışlardır. Normalde geri besleme sinyali λ veya UEGO sensörden alınmaktadır, ancak bu sensörlerden gelen sinyaller gecikmeler içerdiği için kontrol sırasında geçiş durumlarında stokiyometrik orandan büyük sapmalar meydana gelmektedir. Bu çalışmada sinir ağının kullanılma amacı PID geri beslemeli denetleyiciye gecikmesiz bir geri besleme sinyali sağlamaktır. Çalışmada çeşitli sinir ağı yapıları ve sinir sayıları denenmiş ve içlerinden en uygun olanı tespit edilerek kullanılmıştır. Motorun modellenmesinde ve ileri beslemeli denetleyicide kullanılan veriler dört silindirli Seat Toledo 1595 cm³ hacimli motorun deneylerinden elde edilmiştir. Simülasyonlarda kullanılan motor modeli Şekil 2.29’da, ileri besleme (tablo yöntemi) ve PID geri beslemeli denetleyicinin blok diyagramı Şekil 2.30’da, geliştirilen sinir ağı tabanlı gözetleyicinin blok diyagramı ise Şekil 2.31’de görülmektedir [36].



Şekil 2.29. Cercós ve Casin’in çalışmasında kullandıkları motor modeli

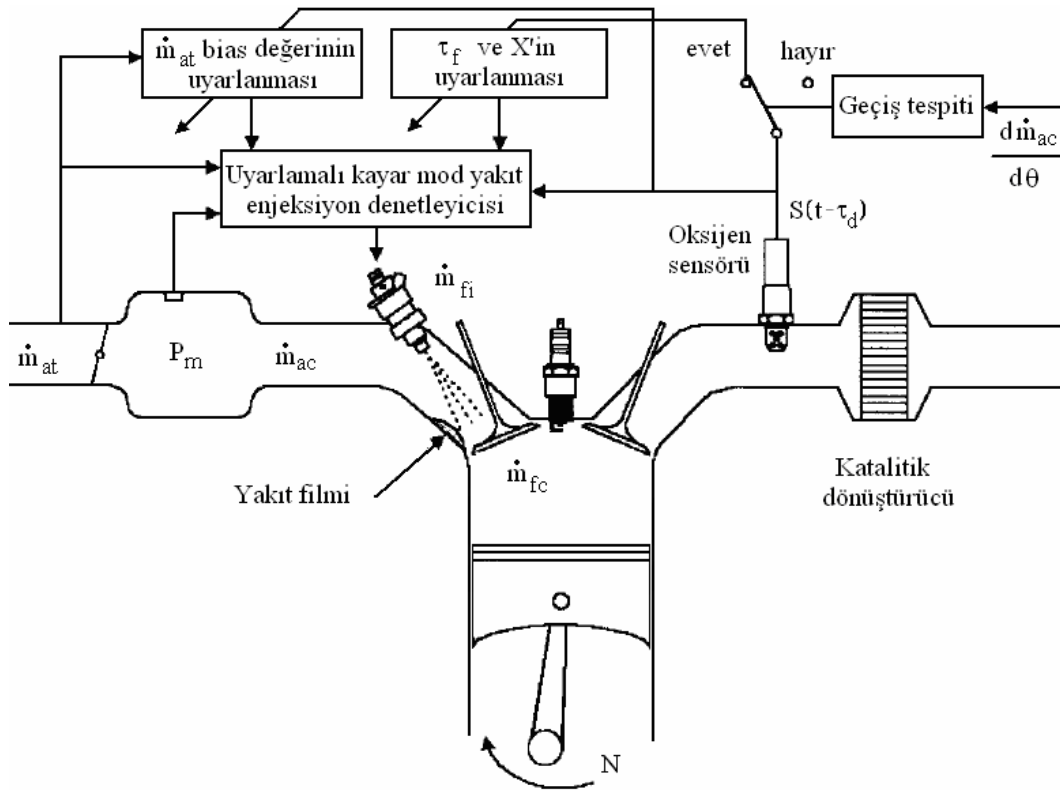


Şekil 2.30. İleri beslemeli ve PID geri beslemeli HYO kontrol sistemi



Şekil 2.31. Sinir ağı tabanlı gözetleyici

Yoon ve Sunwoo (2001), yaptıkları çalışmada uyarlamalı dinamik kayar modlu bir denetleyici (adaptive dynamic sliding mode controller) önermişlerdir. Önerilen kontrol algoritmasında lamda sensöründen gelen bilgi referans kabul edilmiştir. Çalışmada önerilen denetleyici krank açısı domeninde oluşturulmuş iki durumlu bir motor modeline dayanmaktadır. Denetleyici yakıt modeli parametreleri ve hava akış oranındaki ölçüm biası için bir uyarlama kuralı içerir. Yapılan çalışma simülasyon ve deneyler yapılarak test edilmiş ve sonuçları grafiklerle gösterilmiştir. Çalışmada kullanılan denetleyicinin blok diyagramı Şekil 2.32’de görülmektedir [37].



Şekil 2.32. Yoon ve Sunwoo'nun önerdikleri denetleyicinin blok diyagramı

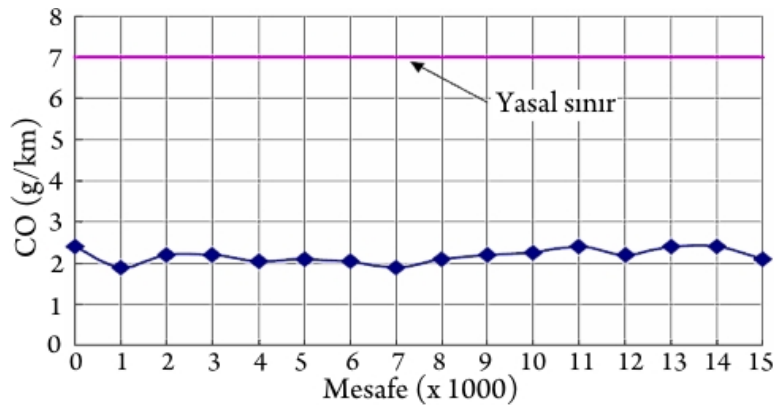
Almkvist ve arkadaşları (2001), yaptıkları çalışmada 400 cm³ hacme sahip yüksek hızlı tek silindirli buji ile ateşlemeli bir motor için SEM Direct isimli bir yakıt enjeksiyon sistemi geliştirmişlerdir. Çalışmada açıklanan yakıt enjeksiyon sistemi iki ayrı enjektöre sahiptir. Bu enjektörlerden bir tanesi emme supabının hemen arkasına, diğeri ise daha geriden yakıt püskürtecek şekilde konumlandırılmıştır. Enjektörlerden emme supabına uzak yerleştirilmiş olan kararlı durum çalışmasında yakıt sağlamakta, yakına yerleştirilmiş olan ise geçiş durumlarında ihtiyaç duyulan yakıtı sağlamaktadır. Çift enjektör kullanılarak geliştirilen bir algoritma yardımıyla yakıtın yüzeylerde birikmesi sonucu ortaya çıkan olumsuzluklar en aza indirilmiştir. Yakıt sisteminde, bir turda 30 pals üreten ve dönüş yönünü de ölçen hall etkili bir motor hız sensörü, bütünleşik emme manifoldu basınç ve sıcaklık sensörü, gaz kelebeği konum sensörü ve soğutma suyu sıcaklık sensörü kullanılmıştır. Motor yükünün daha doğru bir tahmini için emme manifoldu basınç sensörü bilgisi ve gaz kelebeği konum sensörü bilgisi birlikte kullanılmıştır. Almkvist ve arkadaşlarının yaptıkları bu çalışmada hava akışının doğru tahmini ve gelişmiş bir yakıt filmi modeliyle istenilen

HYO sağlanabilmiş ve emisyonlar düşürülmüştür. Ayrıca bu çalışmada kullanılan özel motor hız sensörü sayesinde motorun kolay bir şekilde soğukta ilk hareketi sağlanmıştır [38].

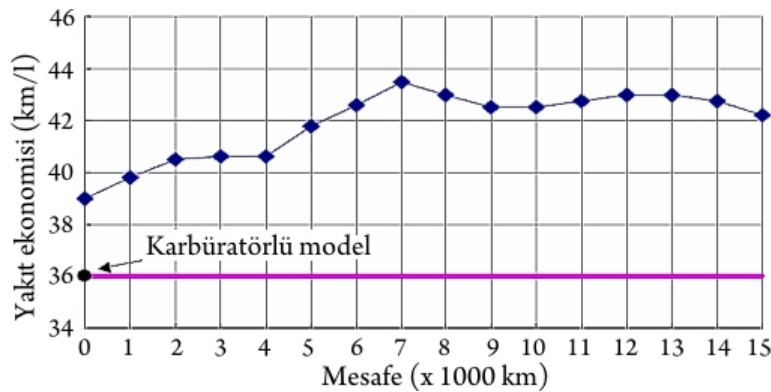
Gartner (1999), yaptığı çalışmada küçük hacimli motorlar için düşük maliyetli bir yakıt enjeksiyon sistemi geliştirmiştir. Çalışmada hız sinyali, motor sıcaklığı ve opsiyonel olarak da lamda sinyali giriş bilgileri olarak kullanılmıştır. Yapılan çalışma 14 HP gücünde tek silindirli bir motor üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada 8 bitlik bir mikrodenetleyici kullanılmış, manyeto ve lamda sensörü girişleri sinyal uygunlaştırıcı devrelerle mikrodenetleyiciye bağlanmıştır. Ayrıca veriler motordan bir veri toplama kartı yardımıyla alınmıştır. Motor yükünün tespit edilmesi tek silindirli motorlarda çalışma sırasında her bir turdaki hız değişiminden yola çıkılarak yapılmıştır. Motorun bir çevrimi tamamlanıncaya kadar iki tur dönmesi gerekmektedir. Bir çevrim boyunca iş zamanının gerçekleştiği turda volan diğer tura oranla daha hızlı dönmektedir. İki tur arasındaki bu fark hız deltası olarak adlandırılmıştır. Hız deltasının değeri motor yüküyle orantılıdır. Dolayısıyla hız deltası motor yükünün tahminini mümkün hale getirmektedir. Çalışmanın sonuç kısmında hızlı gaz keleşi hareketlerine cevap verme, dinamometre üzerinde bağı iken hız deltasının düzgün bir şekilde ölçülememesi, ateşleme eksikliği durumunda sistemin karakterize edilmesi, emme manifoldu tasarımı, enjektör açılma zamanları ve yerleşimi, atalet kompanzasyonu gibi sorunların üzerinde çalışılmakta olduğu belirtilmiştir [39].

Nakamura ve arkadaşları (2003), yaptıkları çalışmada küçük hacimli tek silindirli bir motosiklet motorunda emme manifoldu basınç bilgisini kullanarak silindire alınan hava miktarını, motorun hızlanma durumunu, motorun çevrimin hangi zamanında olduğunun tespitini ve atmosfer basıncının tahminini gerçekleştirmişlerdir. Bu amaçla bir test motoru üzerinde çeşitli ölçümler yapmışlardır. Test motoru üzerinde krank mili konum sensörü, manifold mutlak basınç sensörü, soğutma suyu sıcaklık sensörü, giriş havası sıcaklık sensörü, enjektör, yakıt pompası modülü, ateşleme sistemi, hızlı rölanti valfi, elektronik kontrol ünitesi, yardımcı hava tertibatı bulunmaktadır. Ayrıca gaz keleşi konum sensörü, doğrusal HYO sensörü, yakıt

akış metresi, barometre ve veri kaydedici test motoruna bağlanmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde sıkıştırma zamanında AÖN'den 30° sonra ölçülen emme manifoldu basıncı değerlerinin hava kütlesiyle oldukça doğrusal bir ilişkisi olduğu belirlenmiştir. İvmelenme sırasında manifold mutlak basınç sensörünün ürettiği sinyallerin anlık olarak değiştiği belirlenmiştir. Bu değişim ivmelenmenin tespitini mümkün hale getirmektedir. Motorun çevrimin hangi zamanında olduğunun belirlenmesinde kam mili konum sensörü yerine yine emme manifoldu basıncı bilgisi kullanılmıştır. Motosiklet motorlarında otomobil motorlarına göre emme manifoldu daha küçük olduğu için atmosfer basıncının ölçülmesi de emme manifoldu basıncı bilgisiyle mümkün olmuştur. Ayrıca güç kaybını azaltmak amacıyla yakıt sisteminde daha az akım çeken bir yakıt pompası kullanılmıştır. Şekil 2.33 ve Şekil 2.34'te tasarlanan yeni sistemle yapılan testler sonucu elde edilen CO emisyonu ve yakıt ekonomisi sonuçları görülmektedir [17].



Şekil 2.33. Geliştirilen motosiklet motoru yakıt sisteminin CO emisyonları



Şekil 2.34. Geliştirilen motosiklet motoru yakıt sisteminin sağladığı yakıt ekonomisi

Komuro ve arkadaşları (2005), yaptıkları çalışmada yaklaşık 125 cm³ hacimli tek silindirli hava soğutmalı bir motora sahip motosiklete yakıt enjeksiyon sistemi uygulamışlardır. Çalışmada yakıt sisteminin yapısında değişiklik yapılarak yakıt enjeksiyon sisteminin maliyeti düşürülmüştür. Bu amaçla geri dönüşlü bir yakıt hattı bulunan yakıt sistemi geri dönüşsüz hale getirilmiştir. Ayrıca düşük güçlü bir yakıt pompası kullanılmıştır. Bu işlem yapılırken hava soğutmalı motorlarda silindirin aşırı ısınmasının yakıt hattında buhar tamponu oluşturma riski göz önünde bulundurularak yakıt basıncı artırılmış ve enjektörün en az ısınmasını sağlayacak şekilde bir bağlantı gerçekleştirilmiştir. Yine maliyetin azaltılması amacıyla kauçuk esaslı yakıt borusu yerine reçine esaslı yakıt borusu kullanılmıştır. Reçine esaslı yakıt borularının esnek olmayan yapısından kaynaklanan montaj problemleri ve püskürtme işlemi sırasında hatta meydana gelebilecek titreşimlerin azaltılması üzerine de çalışmalar yapılmıştır. Yakıt enjeksiyon sistemi uygulanan motor, emisyon ve yakıt tüketimi testlerine tabi tutulmuştur. Bu testler neticesinde motorun emisyonları Tayland'da uygulanan 5. seviye emisyon değerlerinin yarısına düşürülmüştür. Yakıt tüketiminde ise karbüratörlü sisteme göre %6 seviyesinde iyileşme sağlanmıştır [40].

Gang ve arkadaşları (2005), yaptıkları çalışmada United Automotive Electronic Systems firması tarafından küçük motorlar için geliştirilen MSE 2.0 motor yönetim sistemini incelemişler ve bu motorlarda karşılaşılan bazı problemlerin çözümü için geliştirilen kontrol mantığını açıklamışlardır. Tek silindirli motorlarda karşılaşılan problemler, emme manifoldu basıncındaki dalgalanmalar, özellikle büyük hacimli motorlarda ters dönme problemi ve yakıt enjeksiyon sistemlerinin maliyetidir. Çalışmada emme manifoldu basınç sinyali ve motor hız sinyali üzerine bir takım araştırmalar yapılmıştır. Yapılan araştırmalar neticesinde yakıt enjeksiyon sisteminin ihtiyaç duyduğu bilgilerin bu iki giriş sinyalinden elde edilmesini açıklamışlardır. Motor yükünün belirlenmesinde motor hızı ve emme manifoldu basıncı bilgisini kullanmışlardır. Emme manifoldu basınç sinyali üzerinde yapılan çalışmalar neticesinde emme zamanı sonunda AÖN'de yapılan basınç ölçümü en uygun değer olarak saptanmıştır. Ortam basıncının belirlenmesinde emme öncesi ÜÖN'de yapılan basınç ölçümü daha uygun bulunmuştur. Sistemde kam mili konum sensörü bulunmadığından motorun hangi zamanda olduğu hız bilgisinden faydalanılarak

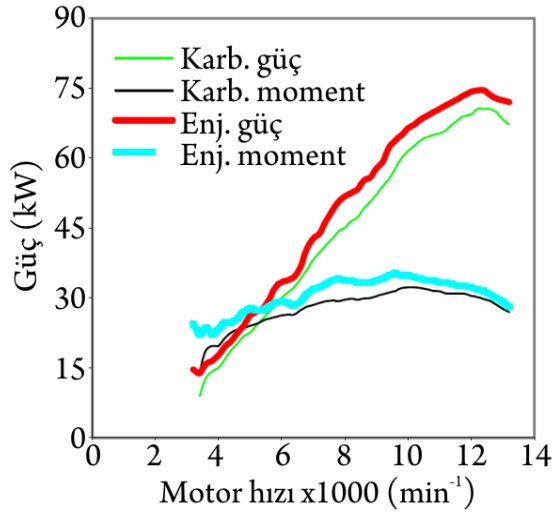
belirlenmiştir. Bu işlem yapılırken krank milinin her 180°'lik dönüşünde ölçülen zamanlar kıyaslanmıştır. Buna göre ölçülen zamanlar en kısıdan en uzuna iş, egzoz, emme ve sıkıştırma şeklinde belirlenmiştir. Motorun ters dönmesi sırasında yapılacak ateşleme motora zarar verebileceğinden bu durumun tespiti ve ateşlemenin kesilmesi de sağlanmıştır. Bu işlem yapılırken sıkıştırma sırasında geçen zaman ölçülmüş ve bu sürenin belli bir değeri aşması durumunda motorun ters döndüğü belirlenmiştir. Yapılan bu çalışma Nakamura ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmayla büyük oranda paralellik göstermektedir [41].

Franklin ve arkadaşları (1994), yaptıkları çalışmada farklı yakıtların HYO ve ateşleme avansına bağlı üç boyutlu moment ve emisyon haritalarını elde etmek amacıyla bilgisayar tabanlı bir yakıt enjeksiyon ve ateşleme kontrol sistemi geliştirmişlerdir. Sistemin girişleri enkoder, kam mili konum sensörü, manifold mutlak basınç sensörü ve manifold havası sıcaklık sensörüdür. Sistemin çıkışları ise enjektör sürücüleri ve ateşleme sistemidir. Sistemde kullanılan bilgisayar 25 MHz hızında Intel 80486DX işlemciye sahiptir. Kontrol yazılımı Microsoft QuickBASIC programlama dilinde yazılmıştır. Sistemde sensör bilgileri bir veri toplama kartı yardımıyla bilgisayara alınmıştır. Ayrıca sistemde motor hızı bir kart yardımıyla ölçülmüş ve zamanlama işlemleri için bir sayıcı kart kullanılmıştır. Motor içerisine alınan havanın yoğunluğu sensörler yardımıyla ölçülerek içeri alınan hava miktarı hesaplanmış ve yakıt miktarı bu değere göre ayarlanmıştır. Yapılan sistem Volkswagen marka 1,7 L hacme sahip bir motor üzerinde uygulanmıştır. Doğalgaz, propan ve propilen gazları motor üzerinde denenerek her bir gaz için HYO ve ateşleme avansına bağlı ortalama efektif basınç, NO_x, HC ve hız dalgalanması haritaları çıkarılmıştır [42].

Xie ve arkadaşları (2006), yaptıkları çalışmada iki silindirli dört zamanlı bir motosiklet motoru için bir motor yönetim sistemi geliştirmişlerdir. Sistemin çıkışları, yakıt enjektörleri, yakıt pompası, arıza lambası, ateşleme, lamda sensörü ısıtıcısı ve rölanti düzenleme motoru sürücüleri ve hata teşhisi/haberleşme arabiriminden oluşmaktadır. Sistemin girişleri ise, gaz keleşi konum sensörü, hava sıcaklık sensörü, silindir sıcaklık sensörü, lamda sensörü, krank mili konum sensörü,

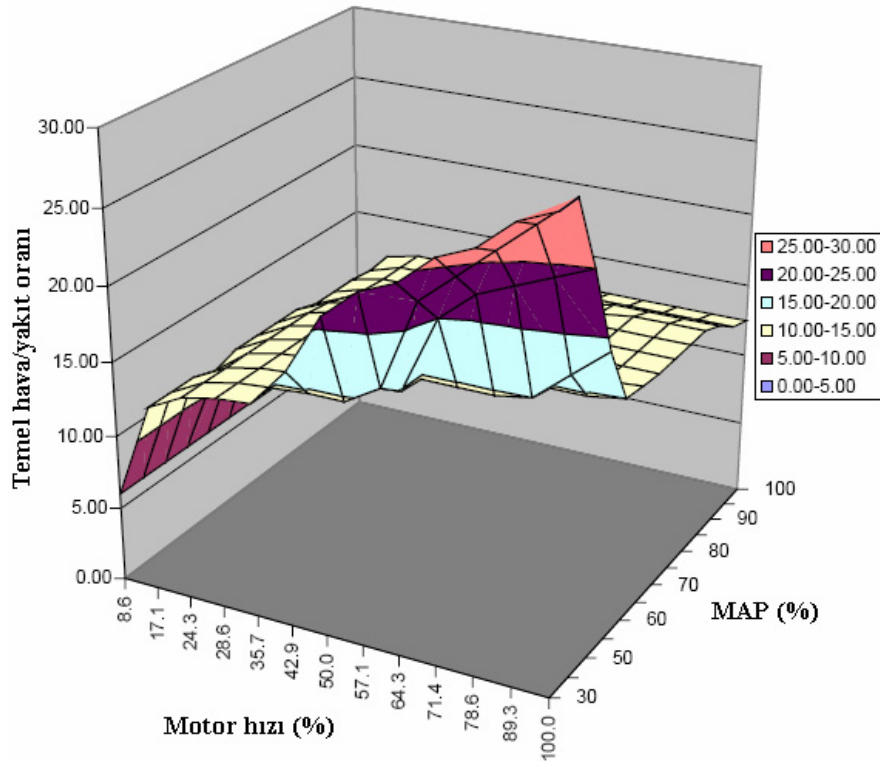
manifold basınç sensöründen oluşmaktadır. Çalışmada tasarlanan elektronik kontrol ünitesi 16 bitlik bir mikrodenetleyiciye sahiptir. Ateşleme avansı ve yakıt enjeksiyon süreleri motor hızı ve gaz kelebeği açıklığına bağlı haritalarla kontrol edilmiştir. Bilgisayarda kontrol ünitesinden gelen çalışma bilgilerini ve hata bilgilerini gösteren bir yazılım hazırlanmıştır. Bilgisayar yazılımı sayesinde kontrol ünitesindeki parametreler yeniden programlanabilmektedir. Çalışmada deney motorunun karbüratörle ve enjeksiyon sistemiyle testleri sonucu elde edilen emisyon sonuçları verilmiştir. Buna göre yakıt enjeksiyon sistemiyle HC ve CO emisyonları azalma, NO_x emisyonunda ise artış olduğu belirlenmiştir [43].

Jawad ve arkadaşları (2000), yaptıkları çalışmada karbüratörlü bir yakıt sistemine sahip olan 1996 model Kawasaki ZX-6R motosikletini programlanabilir yakıt enjeksiyonlu hale dönüştürmüşlerdir. Çalışmada, 4 gaz kelebeği, 4 enjektör ve MoTeC M4 Pro marka veri toplama özelliği bulunan bir elektronik kontrol ünitesiyle yeni bir konfigürasyon oluşturulmuştur. Bu sistem ateşleme avansını ve enjeksiyon süresini motor yükü ve hızına göre değiştirme imkanı sağlamıştır. Yapılan sistemde krank mili sensörü, kam mili konum sensörü, soğutma suyu sıcaklık sensörü, giriş havası sıcaklık sensörü, manifold mutlak basınç sensörü ve lamda sensörleri kullanılmıştır. Ateşleme avansı ve yakıt enjeksiyon süreleri üç boyutlu haritalar halinde elektronik kontrol ünitesine yüklenmiştir. Çalışmada yakıt sistemi enjeksiyonlu hale dönüştürülen motosiklet bir dinamometre üzerinde test edilmiştir. Karbüratörlü ve yakıt enjeksiyonlu sistemin performansları grafiklerle karşılaştırılmış, yakıt enjeksiyon sisteminin daha iyi sonuç verdiği belirtilmiştir. Ayrıca dönüşümü yapılan Kawasaki ZX-6R'nın performansı, enjeksiyonlu bir yakıt sistemine sahip olan Yamaha YZF-R6 motosikletinin performansı ile karşılaştırılmış, orta devirlerde ZX-6R'nın performansı daha yüksek çıkmıştır. Şekil 2.35'te Kawasaki ZX-6R marka motosikletin karbüratörlü ve yakıt enjeksiyonlu sistemle performans grafikleri görülmektedir [44].

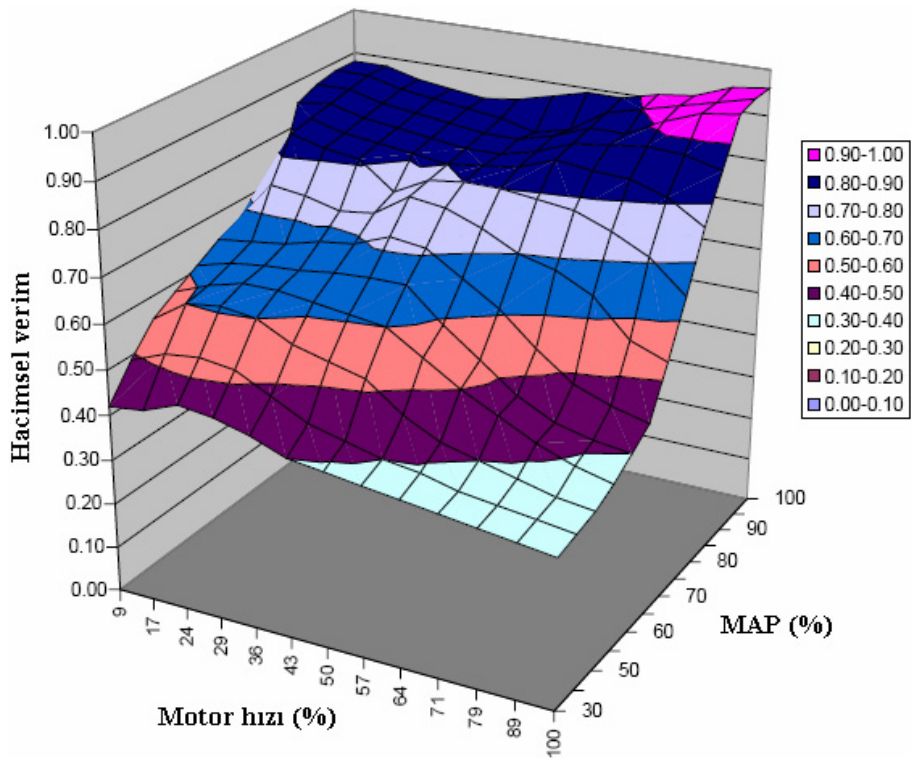


Şekil 2.35. Kawasaki ZX-6R motosiklet motorunun karbüratörlü ve enjeksiyonlu yakıt sistemleriyle performans grafikleri

Birch ve arkadaşları (2004), çalışmalarında Teksas Southwest araştırma enstitüsünde hava soğutmalı motosiklet motorları için geliştirilen yakıt enjeksiyon sistemini tanıtmışlardır. Çalışmada hava soğutmalı iki motor için geliştirilen bir yakıt enjeksiyon sistemi tanıtılmıştır. Çalışmada 150 cm³ hacimli tek silindirli hava soğutmalı motoru bulunan bir motosiklet ve 1200 cm³ hacimli iki silindirli hava soğutmalı V tipi motoru bulunan bir motosiklet kullanılmıştır. Küçük motosiklet karbüratörlü bir yakıt sistemine sahip olduğundan gerekli sensörler, yakıt hattı, bağlantı kabloları, aktüatörlerin bağlantısı yapılmış, yeni bir emme manifoldu ve gaz kelebeği tasarlanmıştır. Büyük motosiklet halihazırda bir yakıt enjeksiyon sistemine sahip olduğundan bazı küçük ilaveler dışında üzerinde herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Deneysel çalışmalar eddy-akımı tipi motosiklet şasi dinamometresinde gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda motor hızı ve manifold mutlak basıncına bağlı temel enjeksiyon haritası ve hacimsel verim haritası çıkarılmıştır. Motor hızı ve gaz kelebeği konumuna göre de hava akış haritası çıkarılmıştır. Elde edilen haritalar geliştirilen elektronik kontrol ünitesine yüklenerek yakıt enjeksiyon sisteminin gerekli kontrolleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada elde edilen temel HYO ve hacimsel verim haritaları Şekil 2.36 ve Şekil 2.37'de görülmektedir [16].

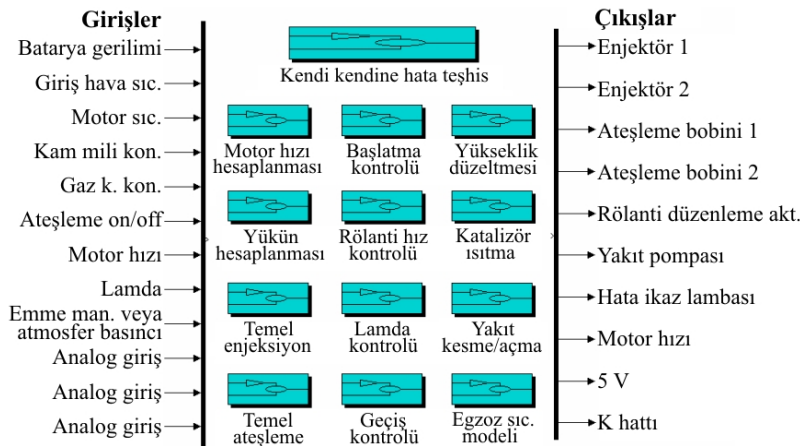


Şekil 2.36. Deneyde kullanılan motosiklet motoru için oluşturulan temel HYO haritası

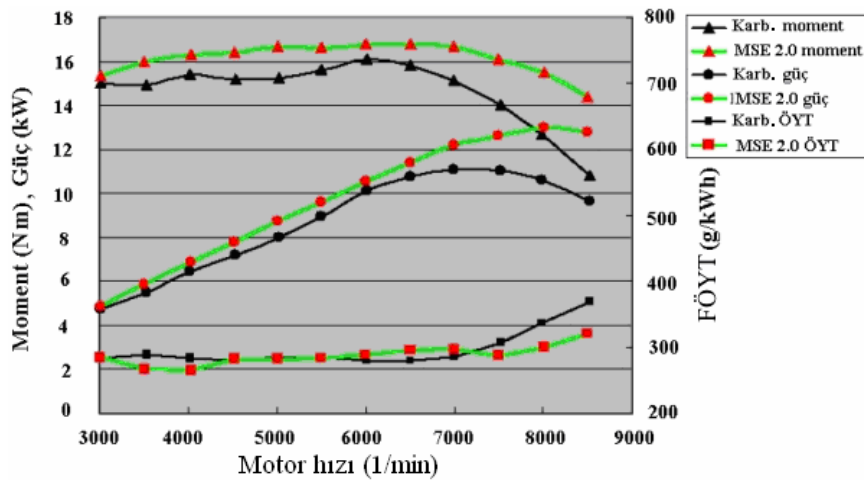


Şekil 2.37. Deneyde kullanılan motosiklet motoru için oluşturulan hacimsel verim haritası

Xiaolu ve arkadaşları (2004), yaptıkları çalışmada Bosch firmasının küçük benzin motorları için geliştirdiği Motronic MSE 2.0 motor yönetim sistemini tanıtmış ve 250 cm³ hacimli ve 2 silindirli motora sahip bir motosiklet üzerinde uygulamışlardır. Tanıtılan sistem, elektronik kontrol ünitesi, motor ve hava sıcaklık sensörleri, enjektör, ateşleme bobini, emme manifoldu basınç sensörü, gaz keleşbeği konum sensörü, lamda sensörü, motor hız sensörü, kam mili konum sensörü ve yakıt sisteminin diğer parçalarından oluşmaktadır. Sistemin fonksiyonlarını gösteren blok diyagram Şekil 2.38’de görölmektedir. Çalışmada kullanılan motosikletin her iki tip yakıt sistemi için (karbüratörlü ve MSE 2.0 yakıt enjeksiyon sistemli) elde edilen performans ve ÖYT sonuçları Şekil 2.39’da görölmektedir [18].

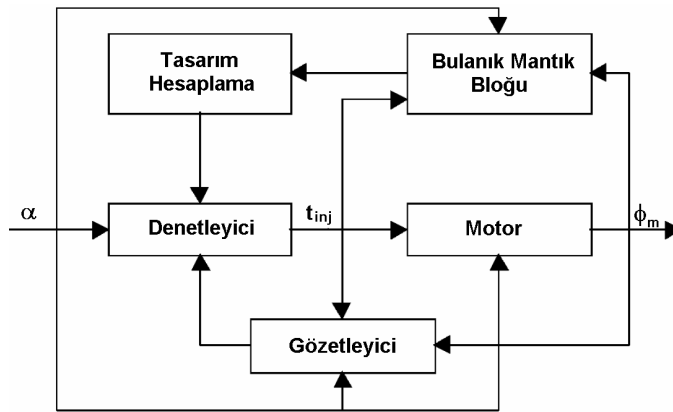


Şekil 2.38. Motronic MSE 2.0 yakıt enjeksiyon sisteminin giriş/çıkış ve fonksiyonları



Şekil 2.39. Motronic MSE 2.0 sistemli motosiklet motorunun performans ve ÖYT grafikleri

Al-Olimat ve arkadaşları (2000), yaptıkları simülasyon çalışmasında buji ile ateşlemeli motorlar için farklı bir kontrol yöntemi önermişlerdir. Önerilen kontrol yöntemi yakıt filmi parametrelerinin, zaman sabitlerinin ve gecikme zamanlarının bulanık mantık kullanılarak belirlenmesini amaçlamıştır. Çalışmada üç tanesi yakıt filmi parametrelerinin ve bir tanesi de gecikme zamanlarının belirlenmesinde olmak üzere toplam dört farklı bulanık mantık kural tablosu kullanılmıştır. Bulanık mantık denetleyicilerin girişleri gaz kelebeği açısı (α), enjeksiyon süresi (t_{inj}) ve eşdeğerlik oranı (ϕ_m), çıkışları ise, yakıt filmi parametreleri (f_α , f_β , τ) ve egzoz iletim gecikmesidir (t_d). Çalışmada önerilen kontrol yöntemi, yapılan simülasyonların sonuçlarına göre başarılı bulunmuştur. Sonuçlara göre ayarlanan HFK'dan en fazla %0,5'lik bir sapma meydana gelmiştir. Çalışmada önerilen kontrol yönteminin blok diyagramı Şekil 2.40'da görülmektedir [45].

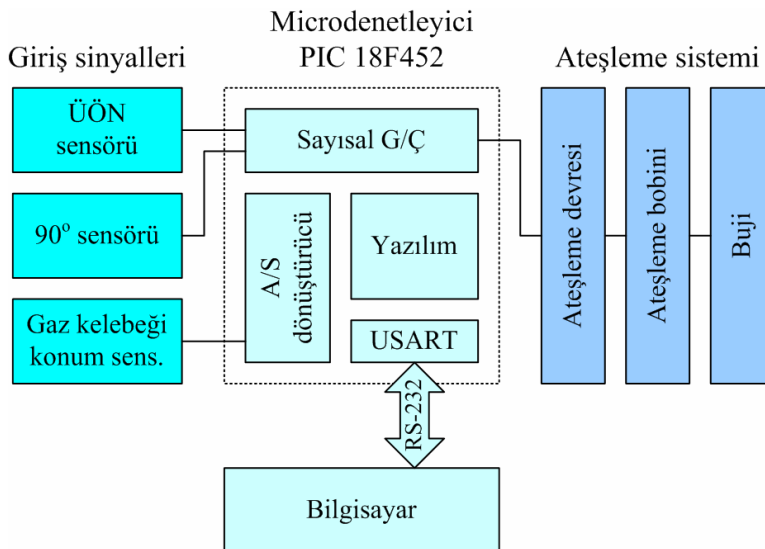


Şekil 2.40. Al-Olimat ve arkadaşlarının çalışmalarında önerdikleri kontrol yöntemi

Pujatti ve arkadaşları (2004), yaptıkları çalışmada Texas Instruments TMS320DSP sayısal sinyal işlemcisi kullanarak 994 cm³ hacimli 4 silindirli buji ile ateşlemeli bir motorda ateşleme avansının kontrolünü gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada deney motorunun ateşleme avans haritası yapılan deneyler sırasında vuruntuya neden olmadan en yüksek moment değerleri elde edilecek şekilde çıkarılmıştır. Motor hızı, soğutma suyu sıcaklığı, giriş havası sıcaklığı, emme manifoldu basıncı, batarya gerilimi ve gaz kelebeği konumu bilgileri bir veri toplama kartı yardımıyla bilgisayara aktarılmıştır. Bilgisayarda PC-assembler ve Delphi 5.0'da geliştirilen bir

yazılımla çalışma şartlarına göre ateşleme avans tablosundan alınan avans değeri RS-232 portu üzerinden TMS320DSP işlemcisine aktarılmıştır. Motor hız sensöründen alınan sinyaller eş zamanlı olarak TMS320DSP işlemcisine de bir sinyal uygunlaştırıcı devre yardımıyla aktarılmıştır. Çalışmada manyetik hız sensörü kullanılmıştır. TMS320DSP işlemcisi manyetik hız sensöründen aldığı bilgi ile motorun ÜÖN'sini belirlemekte ve buna göre 1 – 4 veya 2 – 3 silindir grupları için ateşlemeyi gerçekleştirmektedir [46].

Bilgen (2007), yaptığı yüksek lisans çalışmasında tek silindirli buji ile ateşlemeli bir motor için bilgisayarlı bir ateşleme avans kontrol sistemi geliştirmiştir. Çalışmada motor hızı ve gaz keleşği konumu bilgileri PIC18F452 mikrodnetleyicisi kullanarak tasarlanan bir kart yardımıyla alınarak bilgisayara RS-232 portu üzerinden aktarılmış, bilgisayarda Microsoft Visual C# programlama dilinde geliştirilen bir yazılımla uygun ateşleme avansı belirlenerek sonuç mikrodnetleyicili karta gönderilmiştir. Ateşleme avans haritası motor deneyleri sırasında en yüksek motor momentini sağlayacak şekilde elde edilmiştir. Bilgen tarafından geliştirilen sistemin blok diyagramı Şekil 2.41'de görölmektedir [47].



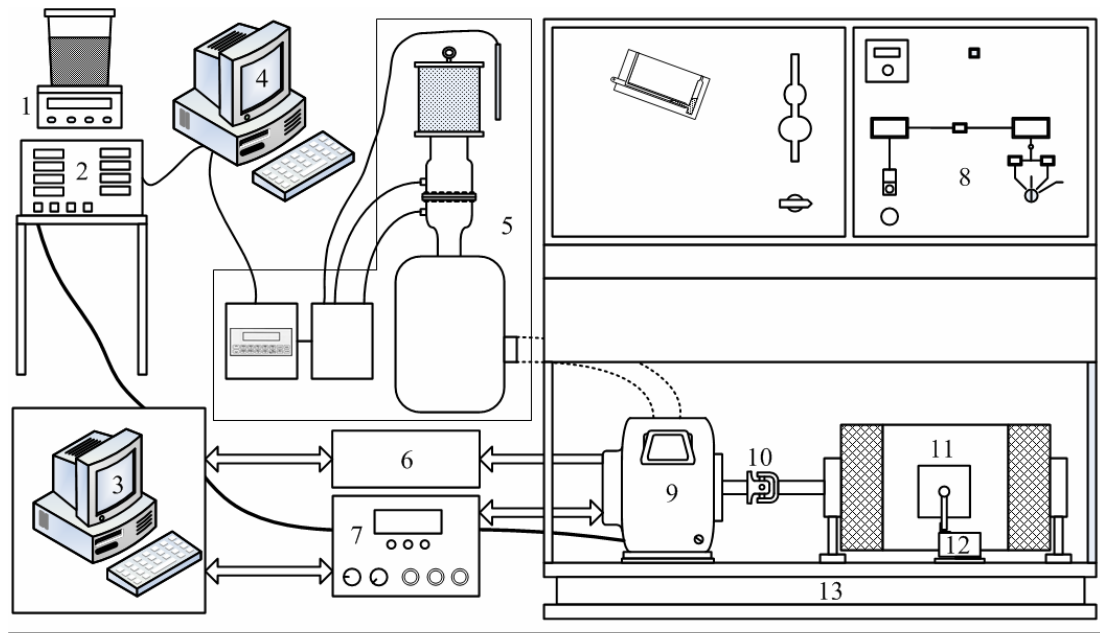
Şekil 2.41. Tek silindirli bir motor için geliştirilen ateşleme avans kontrol sisteminin blok diyagramı

Farrugia ve arkadaşları (2005), yaptıkları çalışmada 68HC12A4 mikrodenetleyicisi kullanarak bir elektronik kontrol ünitesi tasarlamışlardır. Çalışmada Microsoft Visual C++ programında bir arayüz programı tasarlanmıştır. Çalışmada geliştirilen elektronik kontrol ünitesi, bir motor simülatörü, 2 L Ford motoru, 600 cm³ Honda motoru ve Oakland üniversitesinin FSAE (Formula SAE) motorunda test edilmiştir. Çalışmada kullanılan mikrodenetleyici 16 MHz hızında çalışmakta ve 16 bitlik veri yoluna sahiptir. Geliştirilen sistemin analog girişleri, soğutma suyu sıcaklığı, giriş havası sıcaklığı, gaz kelebeği konumu, manifold mutlak basıncı, egzoz oksijen miktarı, batarya gerilimi ve yardımcı girişlerdir. Sayısal girişler ise, krank mili konumu, kam mili konumu, taşıt tekerlek hızı ve vites konumudur. Sistemin çıkışları ise, yakıt pompası rölesi, radyatör fan rölesi, altörnatör rölesi, vites büyültme ve küçültme gösterge lambaları, hız göstergesi, 8 ateşleme bobin sürücü çıkışı, 8 enjektör sürücü çıkışı ve yardımcı çıkışlardır. Ateşleme avansı ve yakıt enjeksiyon bilgileri elektronik kontrol ünitesi içerisinde 16 yük ve 64 hız değeri için (16 x 64) oluşturulan haritalarda kayıtlıdır. Yük bilgisi olarak gaz kelebeği konumu veya manifold mutlak basınç bilgisi kullanılabilir. Çalışmada geliştirilen bilgisayar yazılımının elektronik kontrol ünitesi tarafından her 100 ms'de bir gönderilen parametreleri ekranda görüntülediği, ateşleme avansı ve yakıt enjeksiyon haritalarının değiştirilip tekrar yüklenmesine imkan sağladığı belirtilmiştir [48].

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Deneysel çalışmalar Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Anabilim Dalı İçten Yanmalı Motorlar laboratuvarında yapılmıştır. Deney düzeneğinin basitleştirilmiş prensip şeması Şekil 3.1’de görülmektedir.



- | | | |
|--|-------------------------------------|---------------------------|
| 1. Kütlesel yakıt tüketimi ölçüm sistemi | 5. Hava akış ölçüm sistemi | 10. Kaplin |
| 2. Egzoz emisyon cihazı | 6. Veri toplama kartı (NI USB-6259) | 11. DC dinamometre |
| 3. Kontrol bilgisayarı | 7. Sürücü devre | 12. Yük hücresi |
| 4. Emisyon ve hava metre bilgisayarı | 8. Dinamometre kontrol paneli | 13. Dinamometre platformu |
| | 9. Deney motoru | |

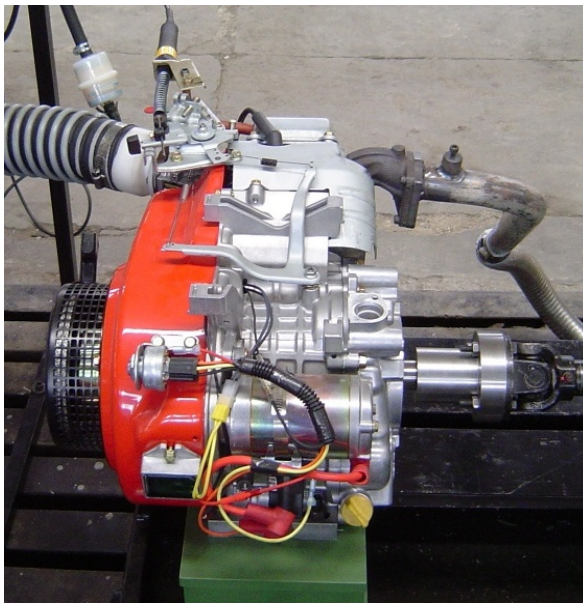
Şekil 3.1. Deney düzeneği

3.1.1. Deney motoru

Çalışmalar Çizelge 3.1’de teknik özellikleri verilen Mitsubishi marka tek silindirli dört zamanlı motor üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deney motoru Resim 3.1’de görülmektedir.

Çizelge 3.1. Deney motorunun teknik özellikleri

Marka/model	Mitsubishi GM 401
Silindir çapı	89 mm
Kurs boyu	63 mm
Silindir hacmi	391 cm ³
Maksimum çıkış gücü	9,6 kW
Maksimum güç devri	4000 min ⁻¹
Maksimum moment	26,5 Nm
Maksimum moment devri	2800 min ⁻¹
Yakıt türü	Kurşunsuz benzin
İlk hareket sistemi	İpli ve marş motorlu
Ateşleme sistemi	Manyetik volan (sabit avans)
Ateşleme avansı	25°
Yakıt Sistemi	Karbüratörlü
Soğutma sistemi	Hava ile soğutmalı



Resim 3.1. Deney motoru

3.1.2. Dinamometre

Deneyler Cussons P8160 marka DC dinamometre üzerinde gerçekleştirilmiştir. Resim 3.2’de dinamometre ve kontrol paneli görülmektedir. Dinamometrenin yükü, gösterge panelindeki numaratör yardımıyla belirlenmektedir.

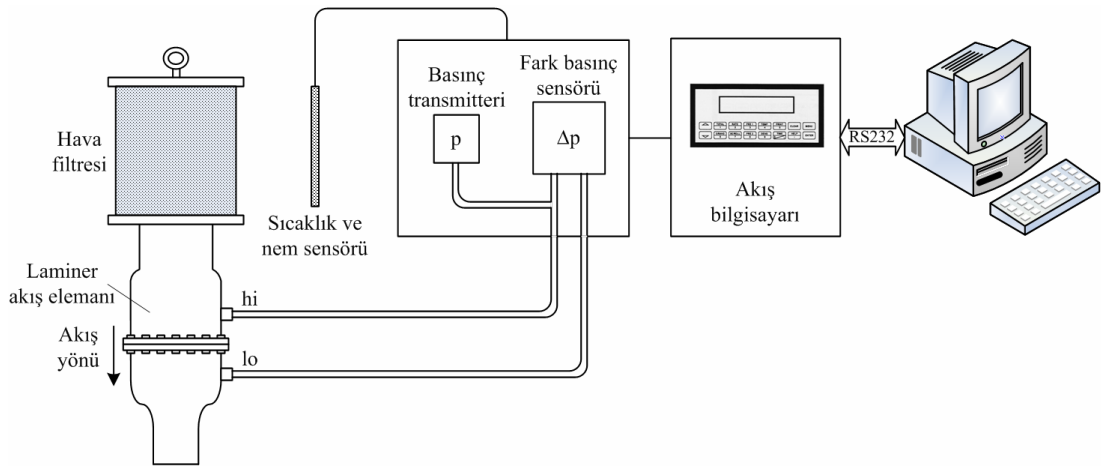


Resim 3.2. Dinamometre (Cussons P8160)

3.1.3. Ölçüm cihazları

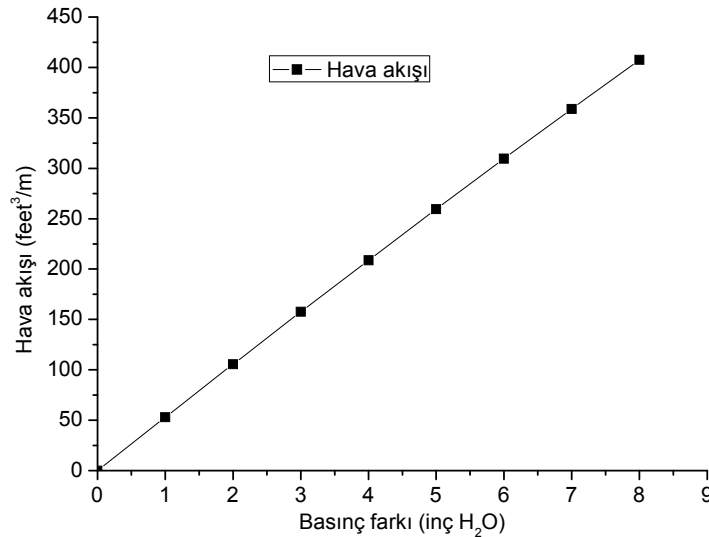
Hava akış metresi

Motorun hava tüketiminin ölçülmesinde Meriam marka laminar akış sistemi kullanılmıştır. Laminar akış sistemi Şekil 3.2’de görülmektedir.



Şekil 3.2. Laminer elemanlı akış metrenin prensip şeması

Laminer akış elemanının içerisinde çok sayıda ince ve uzun hava kanalları bulunmaktadır. Bu ince kanallar sayesinde akış laminer olmaktadır. Laminer akış elemanında meydana gelen fark basıncı havanın debisi ile doğrusal olarak değişmektedir [49]. Çalışmada kullanılan Z50MC2-4F model laminer akış elemanının karakteristiği Şekil 3.3'te görülmektedir [50].



Şekil 3.3. Z50MC2-4F laminer akış elemanının karakteristiği

Laminer akış elemanda meydana gelen basınç farkına göre hava akışı,

$$Q_h = 53,465 \cdot \Delta p - 0,315139 \cdot \Delta p^2 \quad (3.1)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Burada Q_h , hava debisi (feet^3/m), Δp , laminar akış elemanının giriş çıkışı arasındaki basınç farkıdır (inç H_2O) [50].

Sistemde bulunan akış bilgisayarı, laminar akış elemanında meydana gelen basınç farkını, atmosfer basıncını, ortam sıcaklığını ve bağıl nemi ölçerek hava akışını hesaplamaktadır. Laminar akış elemanında meydana gelen basınç farkından hava akışı hesaplanmakta ve hesaplanan bu değer atmosfer basıncı ve sıcaklığa göre düzeltilerek gerçek hava akışı hesaplanmaktadır. Akış bilgisayarındaki bulunan RS – 232 bağlantısı sayesinde ölçülen hava akış değerleri bilgisayarda görüntülenebilmekte ve kaydedilebilmektedir. Laminar elemanlı akış metre Resim 3.3'te görülmektedir.



Resim 3.3. Laminar elemanlı akış metre sistemi

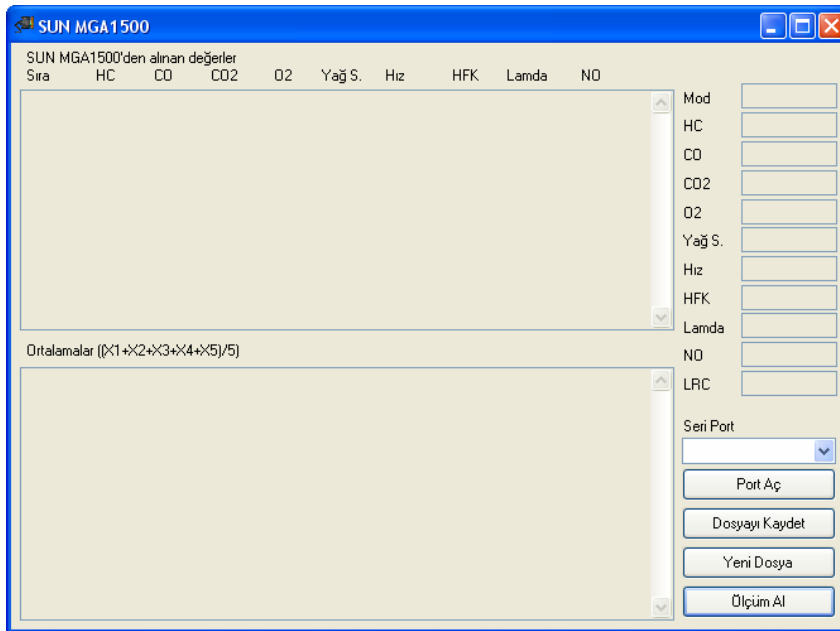
Emisyon cihazı

Çalışmalar boyunca emisyon ölçümleri SUN MGA1500 marka emisyon cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Deneylerde emisyonların kaydedilmesi sırasında meydana gelebilecek okuma hatalarının en aza indirilebilmesi için cihazın RS-232 protokolü ile gönderdiği veriler bilgisayarda Microsoft Visual C#'ta geliştirilen bir yazılım

yardımıyla kaydedilmiştir. Emisyon cihazı ölçtüğü değerleri 0,5 s aralıklarla RS-232 protokolü üzerinde bilgisayara göndermektedir. Geliştirilen yazılım gönderilen bilgileri görüntülemekte, “Ölçüm Al” tuşuna basıldığında art arda gelen 5 ölçümü ve bunların ortalamasını kaydetmektedir. Yazılım alınan ölçümlerin *.txt formatında kaydedilmesini sağlamaktadır. SUN MGA1500 emisyon cihazı Resim 3.4’te görülmektedir. Verilerin kaydedilmesi için geliştirilen yazılımın ekran görüntüsü Resim 3.5’te görülmektedir. Emisyon cihazına ait ölçüm aralıkları ve hassasiyetleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.



Resim 3.4. Egzoz emisyon cihazı



Resim 3.5. SUN MGA 1500 emisyon cihazı için geliştirilen bilgisayar yazılımının ekran görüntüsü

Çizelge 3.2. Egzoz emisyon cihazının teknik özellikleri

	Ölçüm aralığı	Hassasiyet
HFK	0 – 4	0,001
CO (% vol)	0 – 14	0,001
CO ₂ (% vol)	0 – 18	0,01
HC (ppm vol)	0 – 9999	1
NO (ppm vol)	0 – 5000	1
O ₂ (% vol)	0 – 25	0,01

Hassas terazi ve kronometre

Deneylerde motorun yakıt tüketimi kütsel yöntemle ölçülmüştür. Bu amaçla Ohaus marka 0,1 g hassasiyetli bir terazi ve Robic marka bir kronometre kullanılmıştır. Kullanılan hassas terazi ve kronometre Resim 3.6’da görölmektedir.



Resim 3.6. Hassas terazi ve kronometre

Ölçüm cihazlarının doğrulukları ve belirsizlikler

Kullanılan ölçüm cihazlarının doğrulukları ve ölçülen değerler kullanılarak yapılan hesaplamalardaki belirsizlikler Çizelge 3.3’te verilmiştir. Belirsizlikler 3.2 eşitliği ile hesaplanmıştır [51].

$$\frac{\delta U}{U} = \left[\left(n_1 \cdot \frac{\delta x_1}{x_1} \right)^2 + \left(n_2 \cdot \frac{\delta x_2}{x_2} \right)^2 + \left(n_3 \cdot \frac{\delta x_3}{x_3} \right)^2 + \dots \right]^{1/2} \quad (3.2)$$

Burada, $\delta U/U$, U boyutuna ait belirsizlik, $\delta x_n/x_n$, ölçüme etki eden x_n değişkeninin doğruluğu, n_n , x_n değişkeninin derecesidir.

Çizelge 3.3. Ölçüm doğrulukları ve hesaplanan belirsizlikler

Yakıt ölçümü (g)	Doğruluk = $\pm 0,1$ g
Zaman (s)	Doğruluk = $\pm \% 0,5$
Yakıt tüketimi (g/h)	Belirsizlik = $\pm \% 0,5$
Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	Doğruluk = ± 1 $^{\circ}\text{C}$
Hız (min^{-1})	Doğruluk = $\pm \% 1$
Moment (Nm)	Belirsizlik = $\pm \% 0,25$
Hava debisi (L/m)	Doğruluk = $\pm \% 1,2$
CO (% vol)	Doğruluk = $\pm 0,03$
HC (ppm vol)	Doğruluk = ± 10
NO (ppm vol)	Doğruluk = ± 25

3.2. Metot

3.2.1. Motor momenti

Motor momenti dinamometrenin kontrol paneli üzerindeki kuvvet göstergesinden okunan değer in kuvvet kolu ile çarpımıyla hesaplanmıştır. Moment değeri TS 1231’de belirtilen buji ile ateşlemeli motorlar için moment düzeltme katsayısı kullanılarak ortam basıncı ve sıcaklığına göre düzeltilmiştir [52].

$$M = F \cdot \ell \quad (3.3)$$

$$K_a = \left(\frac{99}{p} \right)^{1,2} \cdot \left(\frac{T}{298} \right)^{0,6} \quad (3.4)$$

$$M_d = M \cdot K_a \quad (3.5)$$

Burada,

M: Moment (Nm),

F: Dinamometreden okunan kuvvet değeri (N),

ℓ : Kuvvet kolu (m) (deneylerin gerçekleştirildiği dinamometrede $\ell = 0,25$ m'dir),

K_a : moment düzeltme katsayısı,

p: Deney sırasındaki atmosfer basıncı (kPa),

T: Deney sırasındaki ortam sıcaklığı (K),

M_d : Düzeltilmiş momenttir (Nm).

3.2.2. Efektif güç

Efektif güç krank milinden alınan kullanılabilir güçtür. Efektif güç,

$$P_e = \frac{M \cdot n}{9549} \quad (3.6)$$

eşitliği yardımıyla hesaplanmaktadır. Burada,

P_e : Efektif güç (kW),

M: Moment (Nm),

n: Motor hızıdır (min^{-1}).

3.2.3. Fren ortalama efektif basınç (FOEB)

Fren ortalama efektif basınç motorun aynı çıkış gücünü verebilmesi için bir strok boyunca pistonu etki etmesi gereken sabit basıncı ifade eder [2]. FOEB,

$$FOEB = \frac{P_e \cdot n_R \cdot 60}{V_s \cdot n} \quad (\text{kPa}) \quad (3.7)$$

eşitliği yardımıyla hesaplanmıştır. Burada,

P_e : Efektif güç (kW),

n_R : Bir çevrimin tamamlanması için gereken krank mili tur sayısı (bu değer dört zamanlı motorlarda 2, iki zamanlı motorlarda 1'dir).

V_s : Silindir hacmi (m^3),

n : Motor hızıdır (min^{-1}).

3.2.4. Fren özgül yakıt tüketimi (FÖYT)

Fren özgül yakıt tüketimi motorun iş üretirken tükettiği yakıtı ne kadar verimli kullanabildiğini gösterir [4]. FÖYT motorun çalışma şartlarına göre yakıt ekonomisi durumunu ifade eder. FÖYT,

$$FÖYT = \frac{\dot{m}_y}{P_e} \quad (3.8)$$

eşitliği yardımıyla hesaplanmıştır. Burada,

FÖYT: Fren özgül yakıt tüketimi (g/kWh),

$\dot{m}_y$: Birim zamanda tüketilen yakıt miktarı (g/h),

P_e : Efektif güçtür (kW).

3.2.5. Hava tüketimi ve hacimsel verim

Hava tüketimi laminer elemanlı akış metre yardımıyla doğrudan ölçülmektedir. Hava tüketimi değerleri laminer elemanlı akış metrede bulunan akış bilgisayarında, deneyin yapıldığı ortam basıncı ve sıcaklığa göre düzeltilmektedir. Deneyler sırasında elde edilen akış değerlerinin aynı ortam basıncı ve sıcaklığındaki karşılığını elde etmek amacıyla 1 atmosfer basınç ve 21 °C ortam sıcaklığındaki hava akışı hesaplanmıştır.

$$Q_d = Q_{\ddot{o}} \cdot \frac{p_{ref}}{p_{\ddot{o}}} \cdot \frac{T_{\ddot{o}}}{T_{ref}} \quad [53] \quad (3.9)$$

Burada,

Q_d : Düzeltilmiş hava debisi (L/min)

$Q_{\ddot{o}}$: Ölçülen hava debisi (L/min)

p_{ref} : Referans basıncı (101,325 kPa)

$p_{\ddot{o}}$: Deneyin gerçekleştirildiği atmosfer basıncı (kPa)

$T_{\ddot{o}}$: Deneyin gerçekleştirildiği ortam sıcaklığı (K)

T_{ref} : Referans sıcaklıktır (294,26 K).

Hacimsel verim motorun silindirine gerçekte alınan hava hacminin silindir hacmine oranıyla hesaplanır. Hacimsel verim motor devri, gaz kelebeği açıklığı, hava sıcaklığı, atmosfer basıncı gibi değişkenlere bağlıdır. Hacimsel verim laminar elemanlı akış metreden ölçülen hava tüketimi değeri kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\eta_h = \frac{Q \cdot 2}{n \cdot V_s} \quad (3.10)$$

Burada

η_h : Hacimsel verim,

Q : Akış metreden ölçülen debi (L/min)

n : Motor hızı (min^{-1})

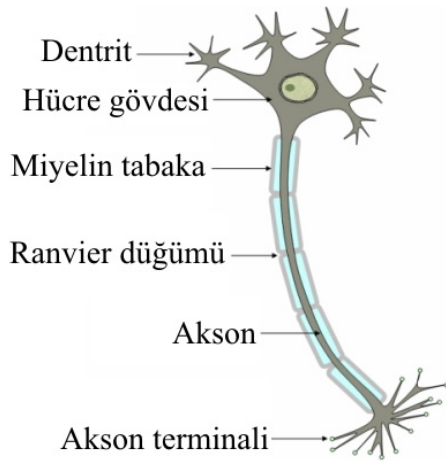
V_s : Motorun silindir hacmidir (cm^3).

3.2.6. Yapay sinir ağları

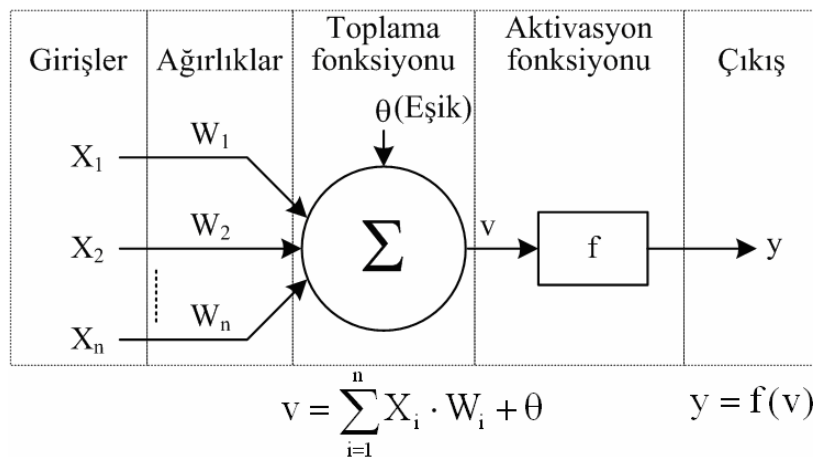
Yapay sinir ağları (YSA) insan beynindeki sinir hücrelerinin yapısından esinlenerek oluşturulmuş öğrenme yeteneğine sahip sistemlerdir. YSA'lar, tahmin, sınıflandırma, veri ilişkilendirme, veri filtreleme, tanıma ve eşleştirme, teşhis ve yorumlama fonksiyonlarını gerçekleştirmek üzere kullanılmaktadırlar. YSA'lar özellikle matematiksel olarak modellenemeyen veya modellenmesi çok zor olan sistemlerin

rahatlıkla modellenebilmesini sağlar [54].

İnsan vücudundaki sinir hücreleri, hücre gövdesi (soma), giriş lifleri (dendrit) ve taşıyıcı liften (akson) meydana gelmektedir. Sinir hücreleri birbirlerine sinaps adı verilen bir boşlukla bağlanırlar. Sinapsta bir sinir hücresinin aksonu diğer sinir hücresinin dendritine bağlanır. Sinir hücresi içerisinde bilgi elektriksel olarak iletilmekte iken, sinapsta bilgi geçişi kimyasal olarak meydana gelmektedir. Bilgi iletimi aksondan dendrite doğru tek yönlüdür [55]. Şekil 3.4'te biyolojik sinir hücresi görülmektedir. Şekil 3.5'te YSA'nın en temel elemanı olan yapay sinir hücresi görülmektedir [56]. Biyolojik sinir sistemi ile YSA'nın benzerlikleri Çizelge 3.4'te verilmiştir [57].



Şekil 3.4. Biyolojik sinir hücresi



Şekil 3.5. Yapay sinir hücresi (işlemci eleman)

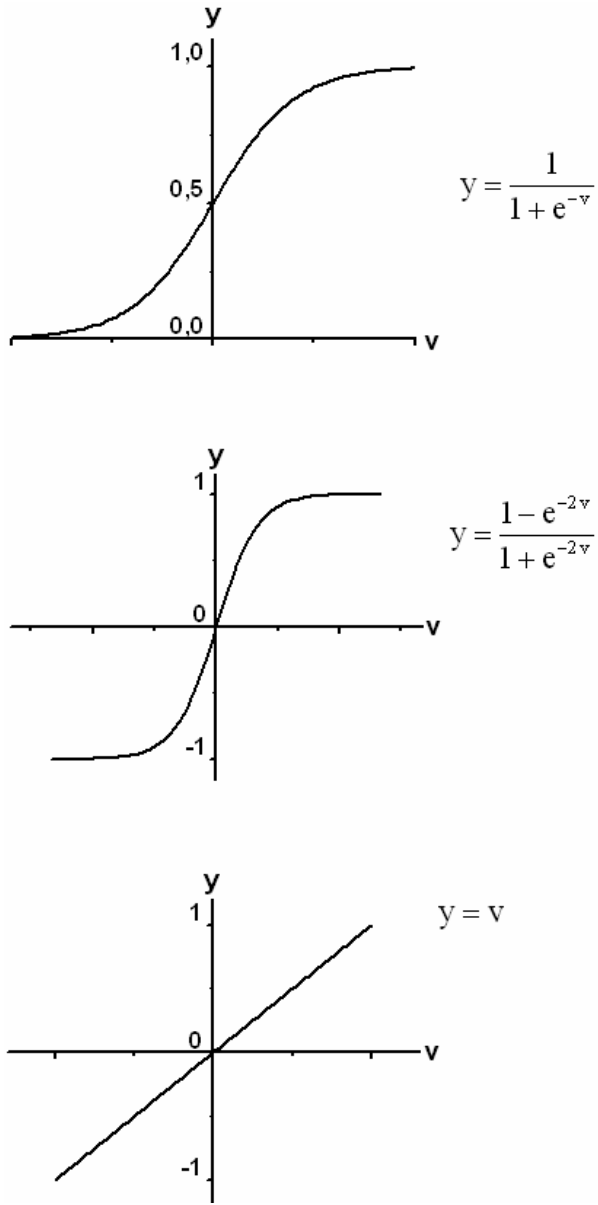
Çizelge 3.4. Biyolojik sinir sistemi ile YSA'nın karşılaştırılması

Biyolojik sinir sistemi	Yapay sinir ağı
Sinir hücresi	İşlemci eleman
Dentrit	Toplama fonksiyonu
Hücre gövdesi	Transfer (aktivasyon) fonksiyonu
Aksonlar	Yapay sinir çıkışı
Sinapslar	Ağırlıklar

YSA'nın temel birimi işlemci elemandır (yapay sinir hücresi) (Şekil 3.5). İşlemci eleman, girişler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu ve aktivasyon fonksiyonundan oluşur. Girişlerde dış ortamdan veya önceki sinirlerden alınan bilgiler her bir girişin kendine ait ağırlığıyla çarpılarak toplama fonksiyonuna gelir. Toplama fonksiyonunda ağırlıklarıyla çarpılmış girişler ve eşik değeri (θ) toplanır. Toplama fonksiyonunda hesaplanan değer aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek çıkış değeri üretilir. Bu yapıdan da anlaşılacağı gibi her bir girişin ağırlığı oranında çıkışa etkisi vardır. YSA'da öğrenme ağırlıkların ayarlanmasıyla sağlanmaktadır [54, 56, 57].

YSA'larda aktivasyon fonksiyonu olarak çok çeşitli fonksiyonlar kullanılmaktadır. Yaygın olarak sigmoid, tanjant hiperbolik ve doğrusal aktivasyon fonksiyonları kullanılmaktadır. Bahsedilen aktivasyon fonksiyonları ve çıkış ifadeleri Şekil 3.6'da verilmiştir [56].

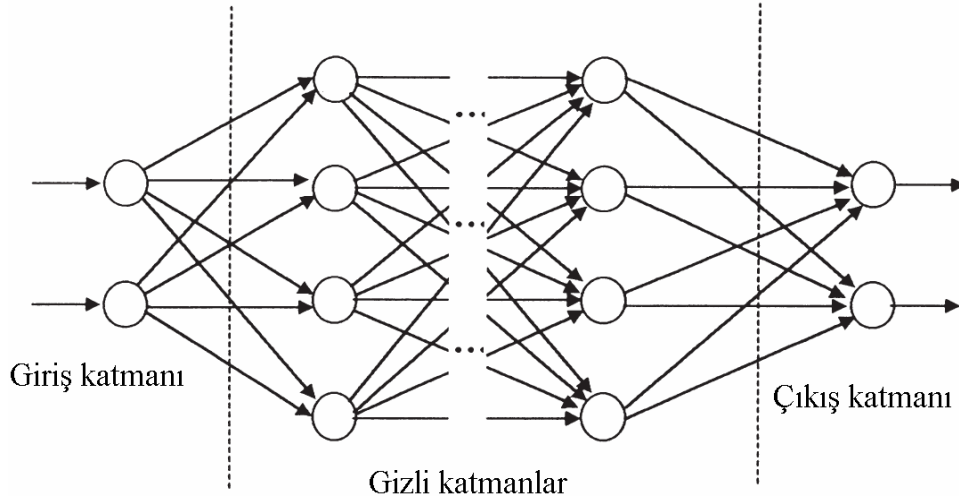
Yapılarına göre YSA'lar ileri beslemeli (feedforward) ve geri beslemeli (feedback) olarak ikiye ayrılır. İleri beslemeli ağlarda bilgi akışı girişten çıkışa doğru tek yönlü bağlantılarla sağlanır. Geri beslemeli ağlarda ise çıkış ve ara katman çıkışlarından girişe ve önceki ara katmanlara doğru geri besleme vardır [56].



Şekil 3.6. Aktivasyon fonksiyonları (sigmoid, tanjant hiperbolik, doğrusal)

Şekil 3.7’de ileri beslemeli bir ağın yapısı görülmektedir [58]. İleri beslemeli ağ, bir giriş katmanı, gizli katmanlar ve çıkış katmanından oluşmaktadır. Gizli katman bir veya daha fazla olabilmektedir. Giriş ve çıkış katmanındaki hücre sayıları yapılan uygulama ile belirlenmektedir. Gizli katman sayıları ve gizli katmanlardaki hücre sayılarının belirlenmesinde herhangi bir matematiksel yöntem bulunmamaktadır. Yapılan çalışma için en uygun sonucu veren gizli katman sayıları ve gizli katmanlardaki hücre sayıları deneme yanılma yoluyla tespit edilebilmektedir [59]. Giriş katmanı ağa verilerin girdiği katmandır. Bu katmana gelen veriler ağırlıklarla

çarpılarak diğer katmanlara iletilir. Her bir eleman kendisine gelen verileri ağırlıklarıyla çarparak toplar ve bir aktivasyon fonksiyonuyla çıkış üretir. Üretilen çıkış bir sonraki katmandaki elemanlara gönderilir. Bu işlemler çıkış katmanına ulaşıncaya kadar devam eder ve çıkış katmanında ağın çıkış verisi üretilir.



Şekil 3.7. İleri beslemeli bir yapay sinir ağının yapısı

Yapay sinir ağlarında ağın girişlerine göre doğru çıkışı sağlayabilmesi için ağırlıkların ayarlanması gerekmektedir. Ağırlıkların değiştirilmesi çıkıştaki hatanın bir fonksiyonu olarak gerçekleştirilir. Bu işleme öğrenme denir [57].

YSA'ların öğrenme yapılarında farklı metotlar bulunmaktadır. Bu metotlar genel olarak danışmanlı öğrenme, danışmansız öğrenme ve destekleyici öğrenme olarak üçe ayrılırlar. Danışmanlı öğrenmede, öğrenme aşamasında YSA'nın girişlere göre üretmesi gerektiği çıkışlar verilir. İstenen çıkış ve gerçek çıkış arasındaki farka (hataya) göre ağırlıklar bir öğrenme algoritmasıyla ayarlanır. Danışmansız öğrenmede ise öğrenme sürecinde ağa sadece giriş verileri sağlanır. Ağ çıkışında elde edilen bilgilere göre, ağ sınıflandırma kurallarını kendi kendine geliştirmektedir. Destekleyici öğrenmede ise danışmansız öğrenmedekine benzer bir şekilde ağa sadece giriş bilgileri uygulanır. Ağın çıkışta ürettiği bilgi gerçek çıkış bilgisiyle karşılaştırılarak doğru veya yanlış olduğu bilgisi üretilir. Bu bilgiye bağlı olarak ağın öğrenmesi devam eder [54, 56].

YSA'ların öğrenmesinin ne düzeyde olduğunu belirlemek için eğitim verilerinin dışında test verileri kullanılarak eğitilen YSA'nın çıkışları gerçek sonuçlarla karşılaştırılır. Bu karşılaştırma sonucunda ağın yeterli doğrulukta çıkış sağlayamadığı düşünülüyorsa, mevcut YSA'nın eğitimine devam edilebilir veya farklı bir YSA ile çalışmalar tekrarlanabilir. YSA'ların performanslarını değerlendirmek amacıyla RMS (root mean square), R^2 (mutlak değişim yüzdesi) ve ortalama hata gibi istatistiksel hesaplamalar kullanılmaktadır [60, 61].

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \varsigma_i)^2}{\sum_{i=1}^n (\varsigma_i)^2} \quad (3.11)$$

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \varsigma_i)^2}{n}} \quad (3.12)$$

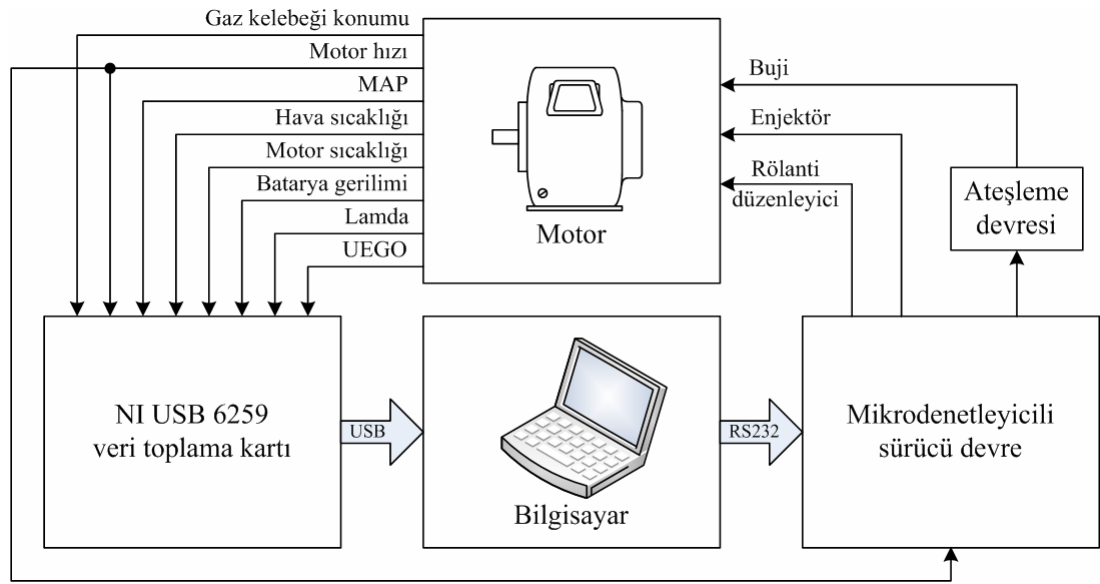
$$\text{Ortalama Hata (\%)} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{h_i - \varsigma_i}{h_i} \right)}{n} \cdot 100 \quad (3.13)$$

Burada h , hedef çıkış, ς , gerçek çıkış, n , örnek sayısıdır.

YSA'lar mühendislik alanında çok yaygın bir kullanıma sahiptirler. Literatürde, güneş enerjisi potansiyelinin tahmini, içten yanmalı motorlarda arıza teşhisi, değişken supap zamanlamasının modellenmesi, motor performans ve emisyonlarının modellenmesi, taşıtlarda yavaşlatıcı verimlerinin deneysel modellenmesi, marş motorlarında hata teşhisi gibi konularda yapılmış çalışmalar bulunmaktadır [62–70].

4. TASARLANAN YAKIT ENJEKSİYON SİSTEMİ

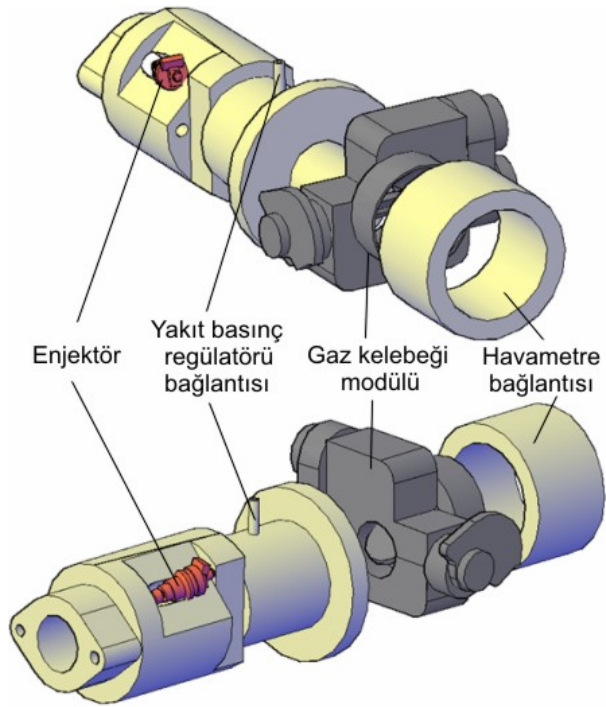
Bu bölümde deney motoru için geliştirilen yakıt enjeksiyon sisteminin tasarımını aşamalar halinde anlatılmıştır. Geliştirilen yakıt enjeksiyon sisteminin genel yapısı Şekil 4.1’de bir blok diyagram halinde görülmektedir.



Şekil 4.1. Geliştirilen yakıt enjeksiyon sisteminin genel blok diyagramı

4.1. Emme Manifoldu

Emme manifoldu oldukça küçük olan deney motoruna yakıt enjeksiyon sistemi parçalarının bağlanabilmesi için yeni bir manifold yapılmıştır. Manifold tasarımı oldukça karmaşık bir konudur. Bu nedenle yapılan manifold belli bir tasarıma göre değil sistem için gerekli parçaların bağlanabilmesini sağlayacak uygun bir yapıda tasarlanmıştır. Şekil 4.2’de polyamidden yapılan emme manifoldu görülmektedir. Manifoldun motora bağlanmış hali Resim 4.1’de görülmektedir.



Şekil 4.2. Deney motoru için yapılan manifold ve bağlantıları

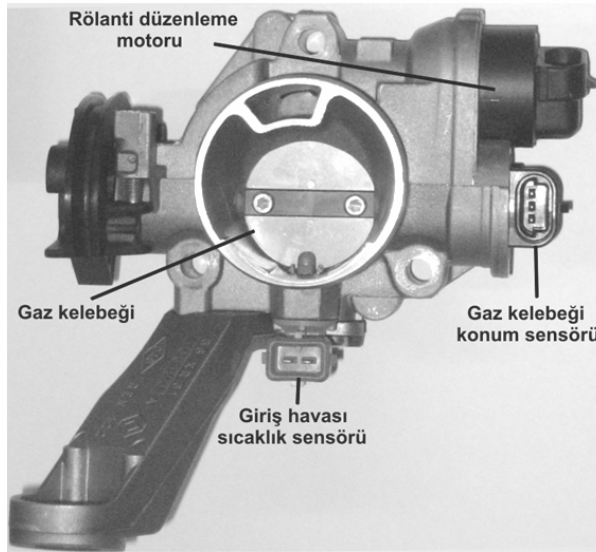


Resim 4.1. Deney motoru için yapılan emme manifoldunun motora bağlantısı

4.2. Sensörler ve Aktüatörler

Geliştirilen yakıt enjeksiyon sistemi için ihtiyaç duyulan sensör ve aktüatörler Renault marka araçlardan seçilmiştir. Yapılan emme manifoldunun girişine 1,2 L

hacimli Renault Clio motorlarında kullanılan gaz kelebeği modülünün bağlantısı yapılmıştır. Bu modül gaz kelebeği, gaz kelebeği konum sensörü, giriş havası sıcaklık sensörü ve rölanti düzenleme motorundan oluşmaktadır. Gaz kelebeği modülü Resim 4.2’de görülmektedir.



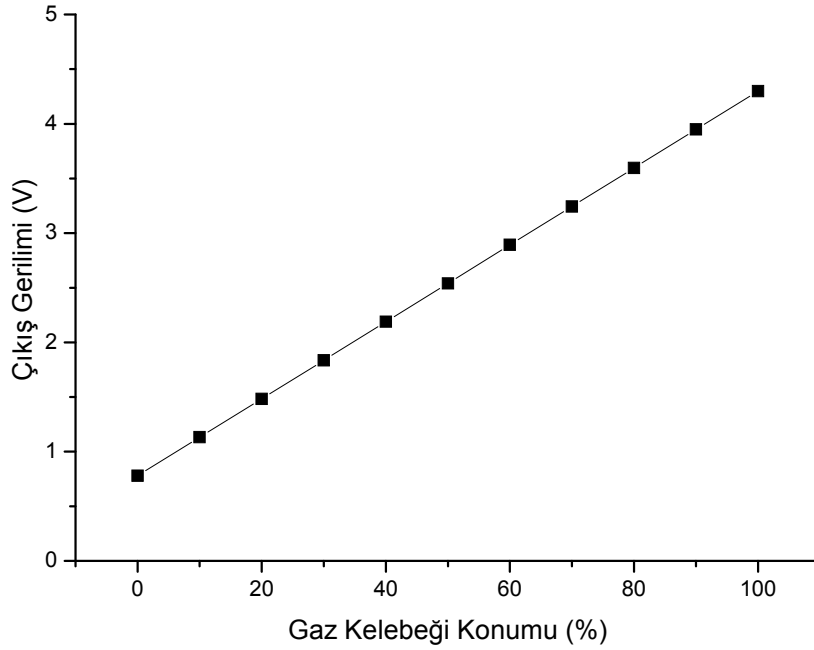
Resim 4.2. Gaz kelebeği modülü

4.2.1. Gaz kelebeği konum sensörü

Gaz kelebeği konum sensörü hareketini gaz kelebeği milinden alan bir potansiyometreden oluşmaktadır. Çalışmada gaz kelebeği konum sensöründen alınan bilgi yük bilgisi olarak kullanılmıştır. Gaz kelebeği konum sensörünün voltmetre ile ölçülerek elde edilen çıkış karakteristiği Şekil 4.3’te görülmektedir. Şekil 4.3’teki karakteristik,

$$GKK = \frac{V_{\phi} - 0,525}{3,848} \cdot 100 \quad (4.1)$$

eşitliğiyle ifade edilmiştir. Burada V_{ϕ} sensör çıkış gerilimi (V), GKK gaz kelebeği konumudur (%).

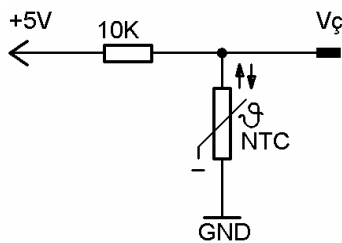


Şekil 4.3. Gaz kelebeği konum sensörünün karakteristiği

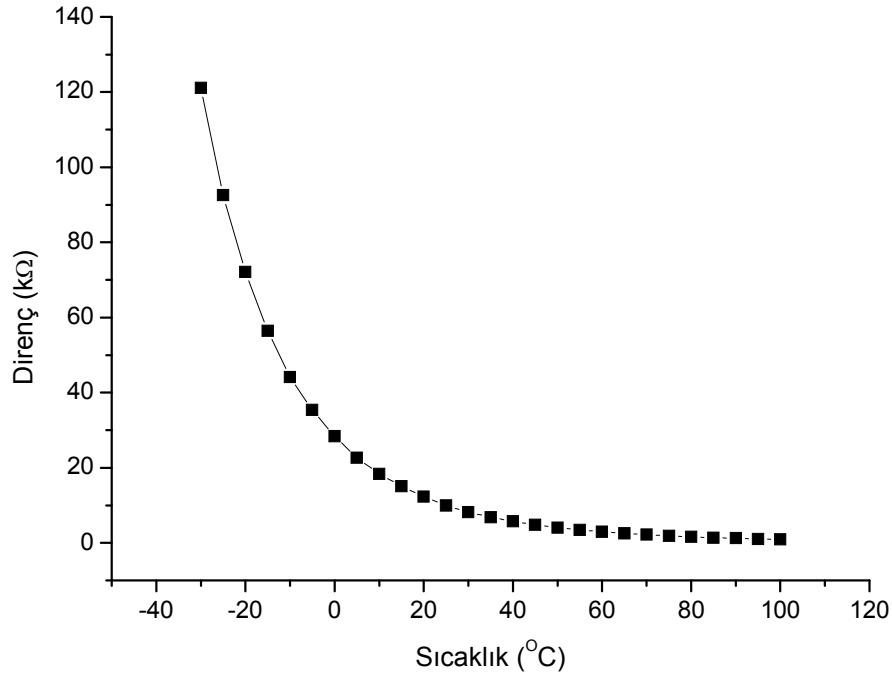
4.2.2. Motor sıcaklığı ve giriş havası sıcaklığı sensörleri

Motor sıcaklığı ve giriş havası sıcaklığının ölçülmesinde NTC tipi sıcaklık sensörleri kullanılmıştır. NTC tipi sıcaklık sensörleri sıcaklığa bağlı olarak direnci değişen elemanlardır. Sıcaklığın artmasıyla NTC'nin direnci azalmaktadır. Şekil 4.5'te kullanılan NTC sensöre ait karakteristik görülmektedir.

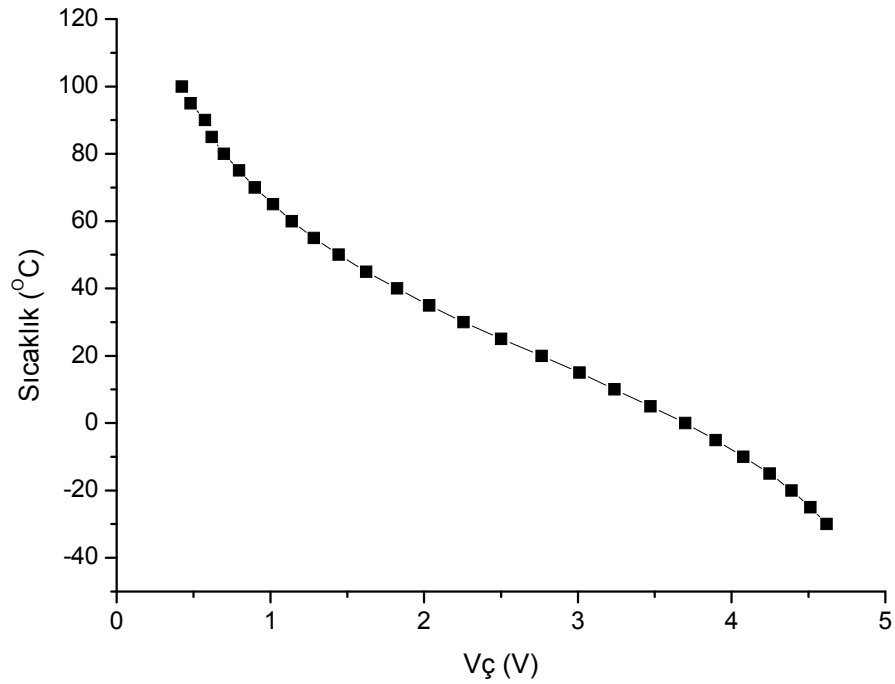
Sıcaklık sensöründe meydana gelen direnç değişimi seri bir direnç yardımıyla gerilime dönüştürülmüştür. NTC tipi sıcaklık sensörleri için kullanılan devre bağlantısı Şekil 4.4'de görülmektedir. Şekil 4.4'deki devrenin çıkış karakteristiği Şekil 4.6'da görülmektedir.



Şekil 4.4. NTC'deki direnç değişimini gerilime dönüştürmek için kullanılan devre



Şekil 4.5. Kullanılan NTC sensörünün karakteristiği



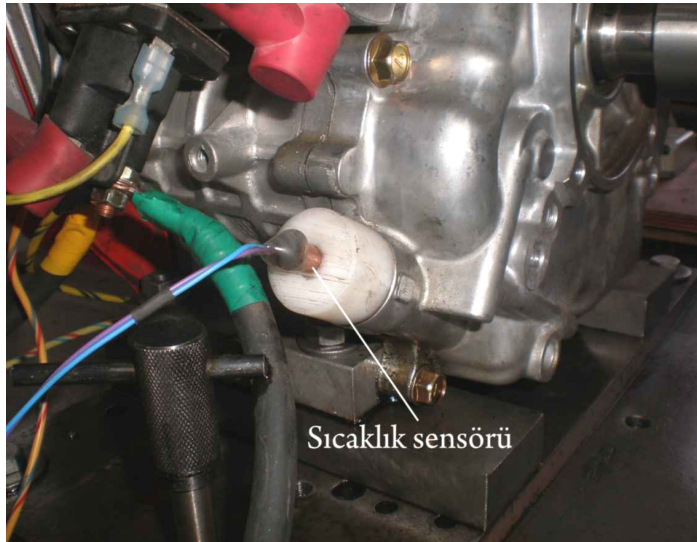
Şekil 4.6. Şekil 4.4'deki devrenin çıkış karakteristiği

Şekil 4.6'da görülen grafikteki eğri 5. dereceden bir polinomla formülleştirilmiştir. Buna göre Şekil 4.4'deki devreden alınan çıkış gerilimine göre ölçülen sıcaklık,

$$T_o = -0,3457 \cdot V_{\phi}^5 + 4,727 \cdot V_{\phi}^4 - 26,503 \cdot V_{\phi}^3 + 76,27 \cdot V_{\phi}^2 - 133,08 \cdot V_{\phi} + 144,42 \quad (4.2)$$

eşitliği yardımıyla hesaplanmaktadır. Burada, T_o ölçülen sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$), V_{ϕ} , Şekil 4.4'deki devreden alınan çıkış gerilimidir (V).

Soğutma suyunun sıcaklığı su soğutmalı motorlarda motor sıcaklık bilgisi olarak kullanılmaktadır. Ancak hava soğutmalı motorlarda böyle bir imkan bulunmamaktadır. Bu çalışmada motorun yağ sıcaklığı motor sıcaklık bilgisi olarak kullanılmıştır. Yağ sıcaklığının ölçümü için motorun yağ seviye çubuğu yerine uç kısmı doğrudan yağa batacak şekilde NTC sıcaklık sensörü bağlanmıştır. Resim 4.3'te kullanılan sıcaklık sensörünün motora bağlantısı görülmektedir. Giriş havası sıcaklığının ölçümü ise gaz kelebeğinin atmosfere açık kısmından yapılmıştır.



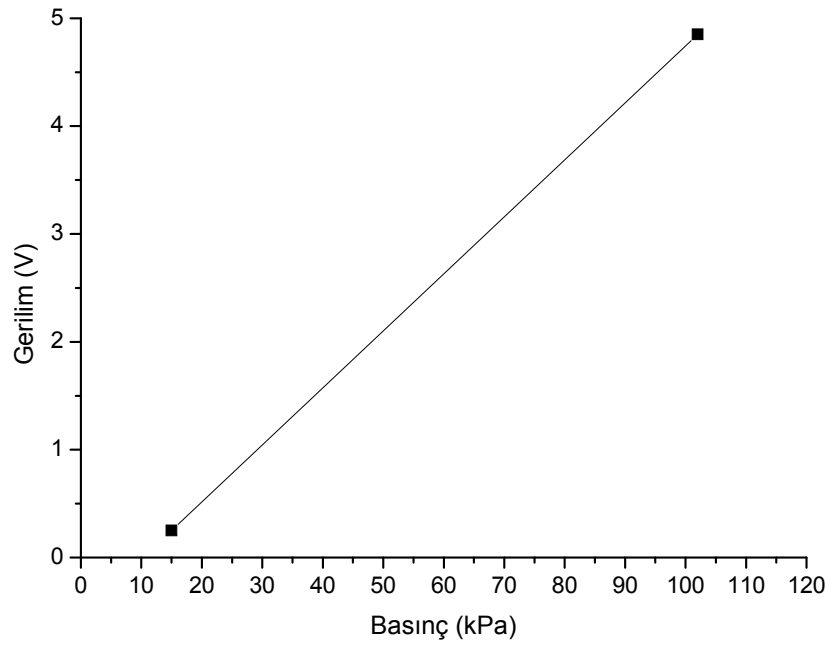
Resim 4.3. Motor sıcaklık sensörü

4.2.3. Manifold mutlak basınç sensörü

Manifold mutlak basınç (MAP) sensörü atmosfer basıncının ölçülmesi ve manifold basıncının (motor yükü bilgisi olarak) ölçülmesi amacıyla sisteme bağlanmıştır. MAP sensörü Resim 4.4'de görülmektedir. MAP sensörünün karakteristiği Şekil 4.7'de görülmektedir [71].



Resim 4.4. MAP sensörü



Şekil 4.7. MAP sensörünün karakteristiği

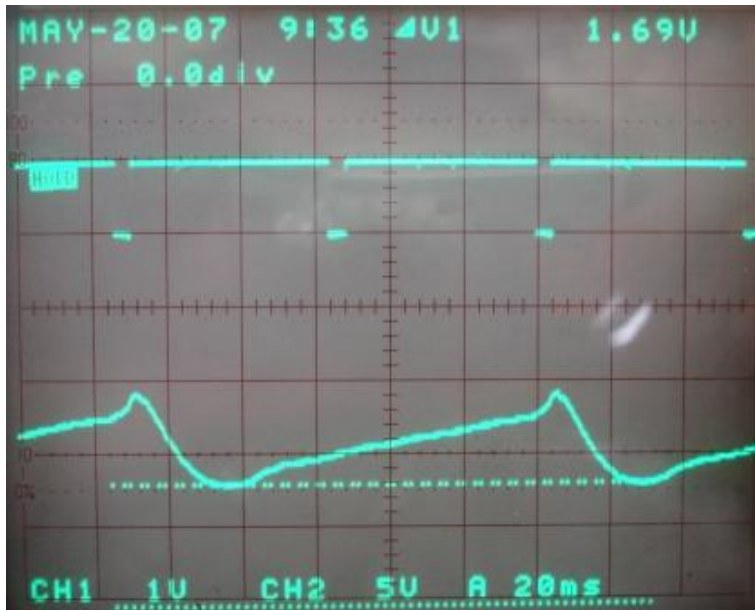
MAP sensörü doğrusal bir karakteristiğe sahiptir. Sensör karakteristiğinden hareketle alınan gerilime göre ölçülen basınç,

$$p = \left(\frac{V_{\phi} - 0,25}{4,6} \right) \cdot 870 + 150 \quad (4.3)$$

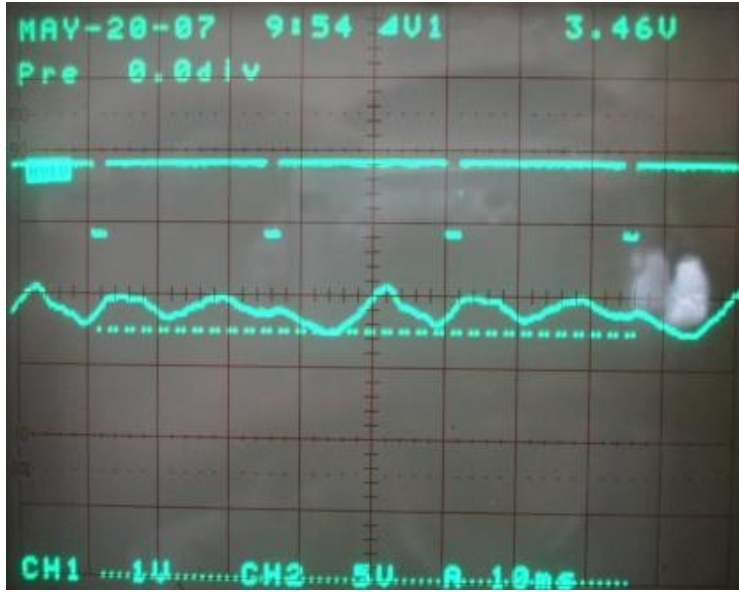
eşitliği yardımıyla hesaplanmaktadır. Burada V_{ϕ} , sensör çıkış gerilimi (V) ve p basınçtır (kPa).

Deney motorunun emme manifoldu basıncının ölçülmesinde MAP sensörü kullanılmasının uygun olup olmadığının belirlenmesi amacıyla deneyler sırasında sensör çıkışı osiloskop yardımıyla incelenmiştir. Rölanti çalışması sırasında manifold basınç bilgisi anlamlı değişimler gösterirken kısmi ve tam yüklerde manifold basınç bilgisinin çok düzensiz olduğu gözlenmiştir. Bu durum deney motorunun tek silindirli olmasından kaynaklanmaktadır. Rölanti çalışması ve kısmi yük çalışması sırasında elde edilen MAP sensörü sinyalleri Resim 4.5 ve Resim 4.6’da görülmektedir. Resim 4.7’de ise aynı sensörün kullanıldığı 4 silindirli motora sahip bir araçtan kısmi yükte elde edilen MAP sensörü sinyali görülmektedir. Resim 4.7’deki sinyalin diğer sinyallere göre daha düzgün olduğu görülmektedir. Ayrıca gaz kebeği belli bir açıklığa ulaştıktan sonra manifold basıncında kayda değer bir değişim gözlenmemiştir. Bu nedenlerle çalışmada MAP sensörü sadece atmosfer basıncının ölçülmesi amacıyla kullanılmıştır.

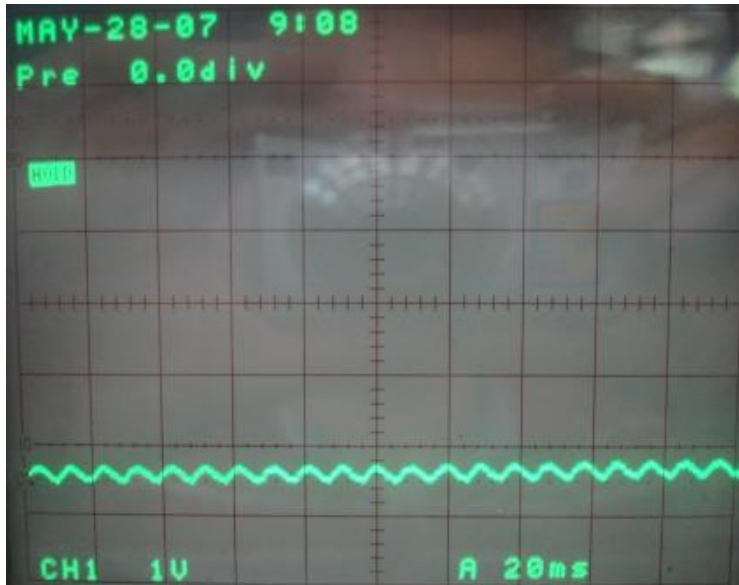
Almkvist ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada tek silindirli motorlarda emme manifoldu basıncındaki aşırı dalgalanmalar nedeniyle, manifold basıncının yük bilgisi olarak kullanılmasının uygun olmadığı belirtilmiştir [36].



Resim 4.5. Rölanti çalışması sırasında elde edilen MAP sensörü çıkışı



Resim 4.6. Kısmi yük çalışması sırasında elde edilen MAP sensörü çıkışı



Resim 4.7. 4 Silindirli bir motordan elde edilen MAP sensörü çıkış sinyali

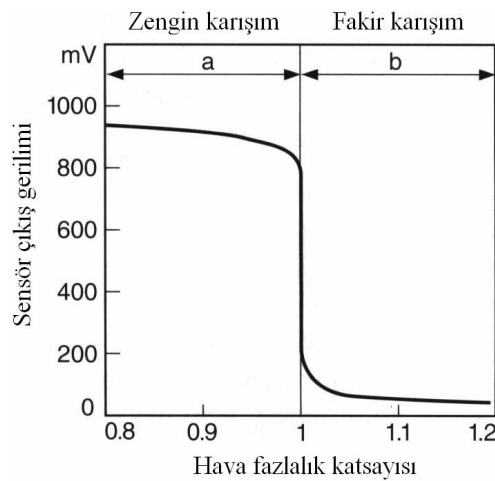
4.2.4. Lamda sensörü

Sistemde NTK firmasının üretmiş olduğu lamda sensörü kullanılmıştır. Kullanılan lamda sensörü Resim 4.8’de görülmektedir. Lamda sensörünün karakteristiği Şekil 4.8’de görülmektedir [5]. Lamda sensörü zirkonyumdioksit (ZrO_2) maddesinden yapılmıştır. Bu madde çalışma sıcaklığına ulaşınca (bu değer yaklaşık olarak 250–

300 °C civarındadır) oksijen iyonlarını iletmeye başlar. Zirkonyumdioksitin bir yüzeyi egzoz gazlarına bakarken diğer yüzeyi ise atmosfere açıktır. Egzoz gazlarındaki oksijen miktarı fazla olduğunda ZrO_2 maddesinin iki yüzeyi arasındaki potansiyel fark az olacak, tersi durumda ise fazla olacaktır. Lamda sensörleri HFK'nın 1'den küçük olduğu durumda 800–1000 mV arasında, 1'den büyük olduğu durumda ise 50–200 mV arasında çıkış gerilimi üretirler [72]. Lamda sensörü karışımın zengin veya fakir olduğu bilgisini verir ancak zenginlik veya fakirliğin miktarı hakkında bilgi vermez. Bu nedenle sensör anahtar tipi lamda sensörü (switch type lambda sensor) olarak da adlandırılmaktadır.



Resim 4.8. Lamda sensörü

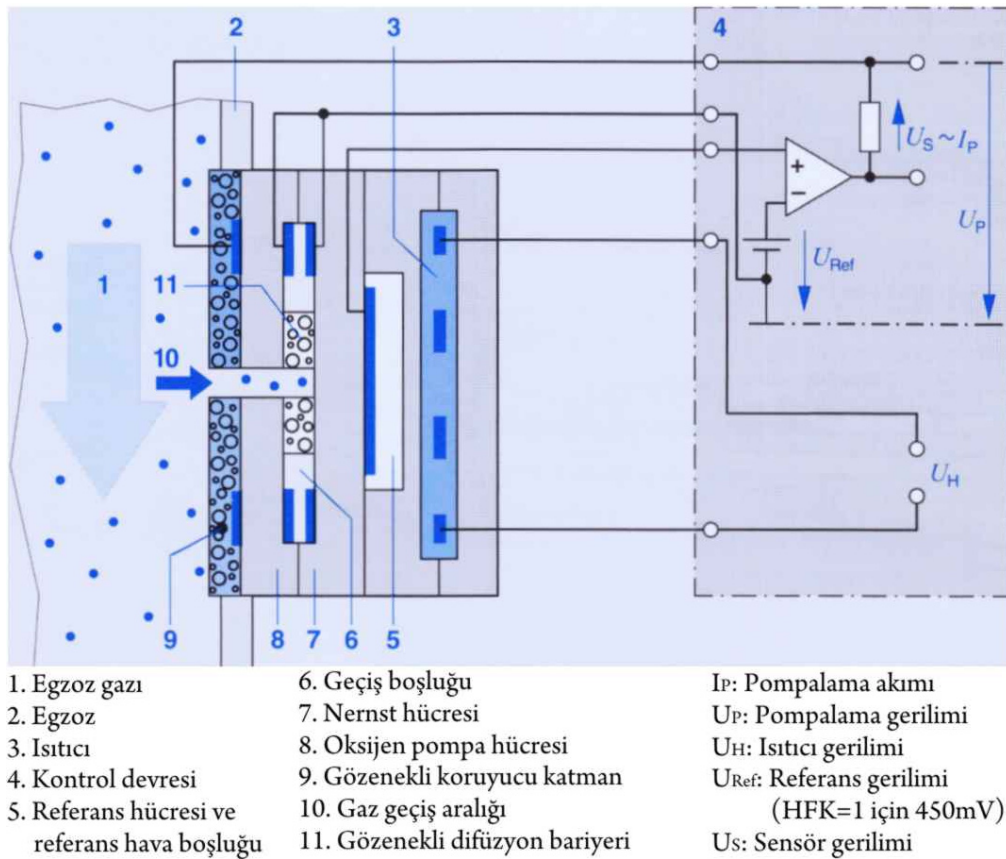


Şekil 4.8. Lamda sensörünün karakteristiği

4.2.5. Üniversal lamda sensörü

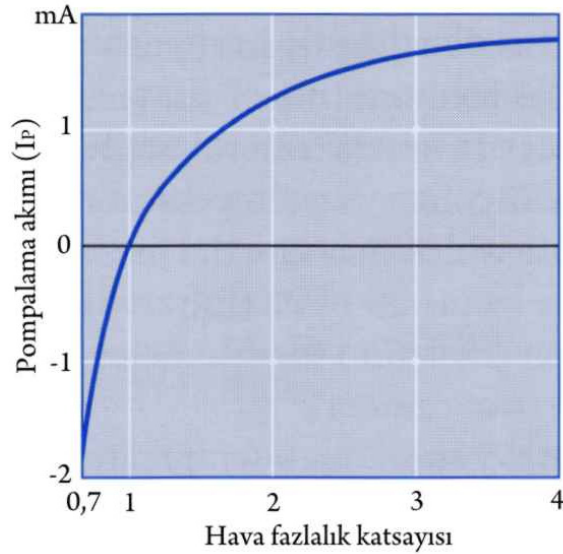
Lamda sensörlerinin HFK'nın sayısal değeri hakkında bilgi verememesi problemi üniversal lamda sensörlerinin (UEGO: Universal Exhaust Gas Oxygen sensor) geliştirilmesiyle giderilmiştir. Daha geniş bir çalışma aralığına sahip olması

nedeniyle bu sensörler aynı zamanda geniş bantlı oksijen sensörü (wide band oxygen sensor) olarak da anılmaktadır. Dizel motorları, fakir yanmalı motorlar ve içten yanmalı motorlar dışında da kullanım alanı bulması nedeniyle universal adını almıştır. Temelde içerisinde bir önceki bölümde açıklanan lambda sensörüyle aynı çalışma mantığına sahip bir hücre (Nernst hücresi) ve bu hücreye oksijen pompalayan bir hücreden (oksijen pompalama hücresi) meydana gelmektedir. Oksijen pompalama hücresi üzerine uygulanan gerilimin yönüne ve şiddetine bağlı olarak Nernst hücresine doğru veya Nernst hücresinden dışarı doğru oksijen pompalamaktadır. Bir kontrol devresi Nernst hücresi çıkışını sürekli $HFK=1$ 'de (450 mV) tutmak amacıyla oksijen pompalama hücresine uygulanan gerilimi kontrol eder. Böylece Nernst hücresi içindeki egzoz gazlarının HFK 'sı sürekli 1'de tutulur. Bu sırada oksijen pompalama hücresinden geçen akım egzoz gazlarının HFK 'sıyla orantılıdır. Bu bilgi geniş bir aralıkta HFK 'nın sayısal değerini vermektedir. Şekil 4.9'da UEGO sensörünün iç yapısı görülmektedir [73] .



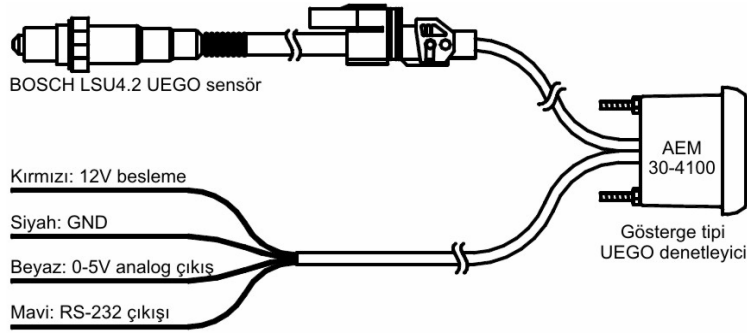
Şekil 4.9. UEGO sensörün iç yapısı

Şekil 4.10'da UEGO sensörünün pompalama hücresi akımının HFK'ya göre değişimi görülmektedir. UEGO sensörünün çıkış gerilimi pompalama hücresinden geçen akımla doğru orantılıdır. Şekil 4.10'daki grafikten UEGO sensörünün 0,7 – 4 HFK aralığında çalışabildiği görülmektedir [73].

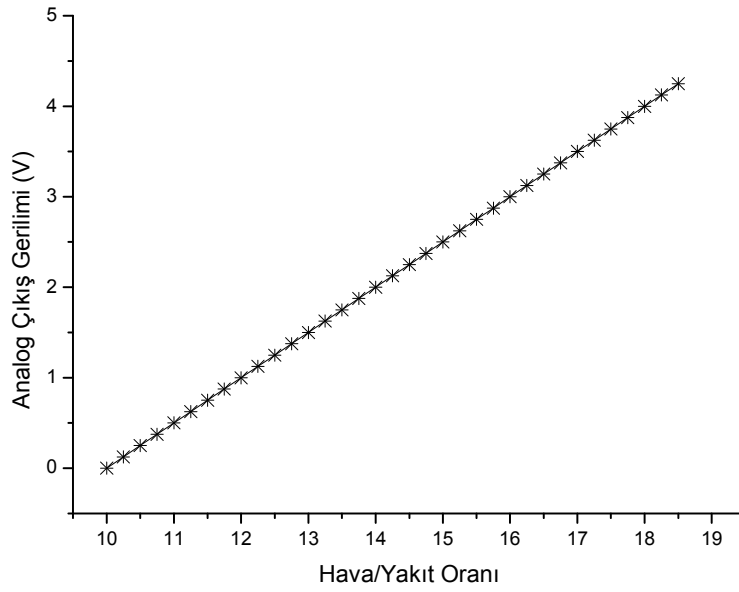


Şekil 4.10. UEGO sensör pompalama akımının HFK'ya göre değişimi

Çalışma prensibinden de anlaşıldığı gibi UEGO sensörler lamda sensörlerinden farklı olarak doğrudan çıkış gerilimi üretmezler. UEGO sensörleri bir kontrol devresi yardımıyla kullanılabilirler. Çalışmada AEM firmasının 30–4100 gösterge tipi UEGO denetleyicisi kullanılmıştır. UEGO denetleyici HYO'nun kontrolünde kullanılmamış, motorun çalıştığı gerçek HYO değerlerinin yazılım ekranında görüntülenmesi amacıyla kullanılmıştır. Şekil 4.11'de gösterge tipi UEGO denetleyicinin bağlantı şeması görülmektedir. UEGO denetleyici Bosch firması tarafından üretilen LSU 4.2 geniş bantlı lamda sensörünü kullanmaktadır. Ölçülen HYO UEGO denetleyicisi üstündeki göstergelerde gösterilmektedir. Ayrıca bilgisayar bağlantısı için seri çıkışı ve elektronik kontrol üniteleri, veri toplama sistemleri gibi harici sistemlere bağlantı yapılabilmesi için doğrusal bir analog çıkışı bulunmaktadır. Şekil 4.12'de AEM 30-4100'ün analog çıkış karakteristiği görülmektedir. Resim 4.9'da gösterge tipi UEGO denetleyicisi görülmektedir.



Şekil 4.11. AEM 30-4100 UEGO denetleyicisinin bağlantı şeması



Şekil 4.12. AEM 30-4100 gösterge tipi UEGO denetleyicinin analog çıkışı



Resim 4.9. AEM 30-4100 gösterge tipi UEGO denetleyicisi

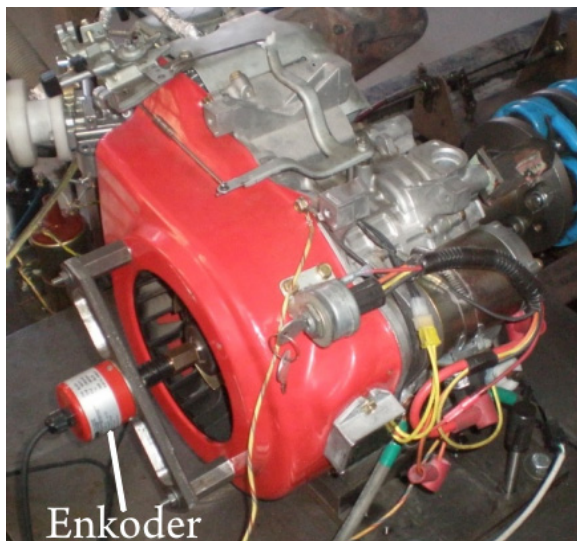
4.2.6. Motor hız sensörü

Deney motorunda hız ölçümü Opkon marka optik artırımli enkoder kullanılarak yapılmıştır. Enkoder motorun çıkış miline esnek bir kaplin yardımıyla bağlanmıştır.

Enkoder, A, B ve Z olmak üzere üç çıkışa sahiptir. Bu çıkışlardan A ve B her turda 360 pals, Z çıkışı ise her turda 1 pals üretmektedir. Enkoderin Z çıkışı ÜÖN işareti olarak kullanılmıştır. Bu amaçla motor ÜÖN'ye hassas bir biçimde ayarlanarak enkoderin Z çıkışı bu noktada pals üretecek şekilde bağlantısı yapılmıştır. Enkoderin A ve Z çıkışları mikrodenetleyicili sürücü devreye bağlanmış, Z çıkışı ayrıca veri toplama kartının zamanlayıcı girişine de bağlanmıştır. Enkoderin teknik özellikleri Çizelge 4.1'de, motora bağlantısı Resim 4.10'da görülmektedir.

Çizelge 4.1. Enkoderin teknik özellikleri

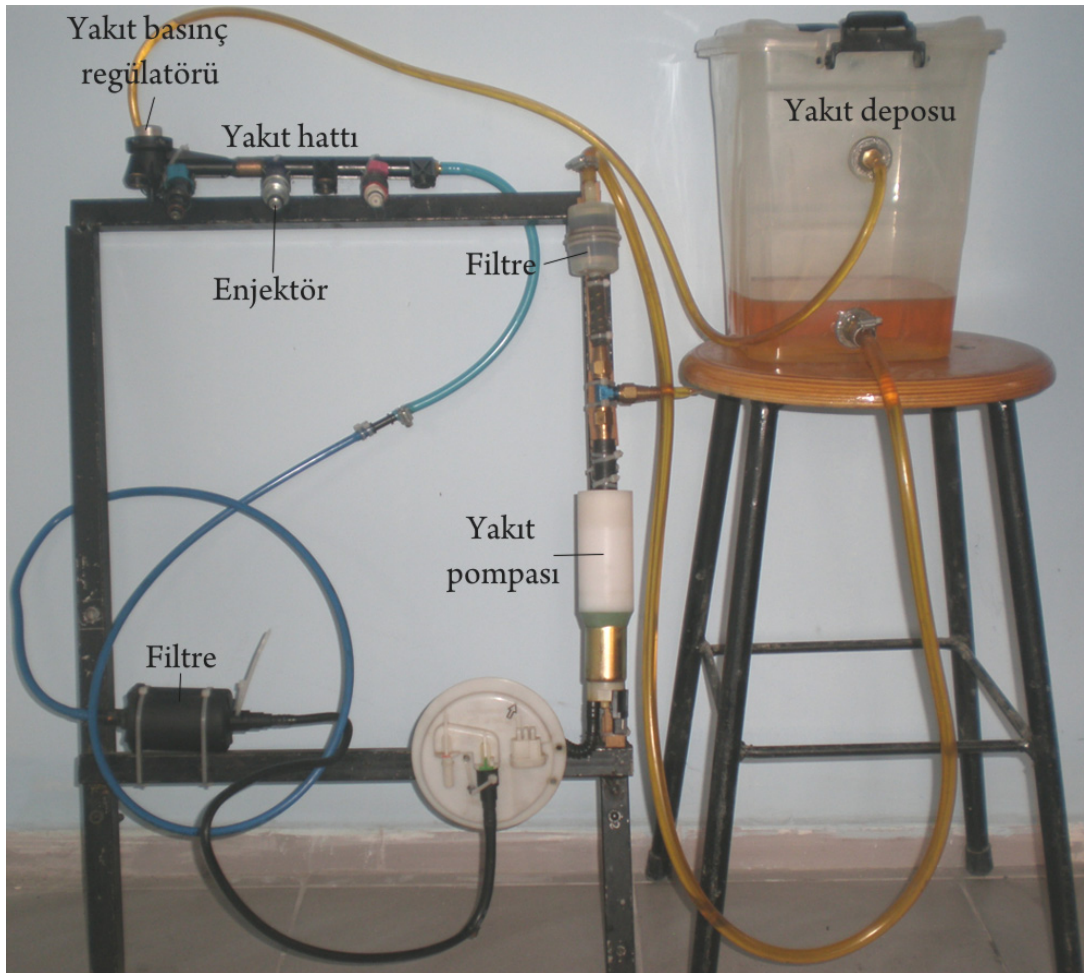
Gövde çapı	50 mm
Mil çapı	8 mm
Mil malzemesi	Paslanmaz çelik
Gövde malzemesi	Alüminyum/çelik
Ölçme sistemi	Optik
Besleme gerilimi	5 V DC
Çıkış	TTL
Maks. çalışma hızı	5000 min ⁻¹
Çalışma sıcaklığı	-20...+80 °C



Resim 4.10. Enkoderin motor üzerindeki bağlantısı

4.2.7. Yakıt sistemi parçaları

Geliştirilen yakıt enjeksiyon sisteminde motora yakıt sağlayan parçalar sırasıyla yakıt deposu, filtre, elektrikli yakıt pompası, filtre, yakıt hattı, enjektör ve yakıt basınç regülatörüdür (Resim 4.11). Elektrikli yakıt pompası yardımıyla depodan çekilen benzin yakıt hattına basılır. Yakıt hattındaki basınç üç bara ulaşınca yakıt hattının geri dönüş yolunu kontrol eden yakıt basınç regülatörü açılarak fazla yakıtı depoya geri gönderir.



Resim 4.11. Yakıt sistemi parçaları

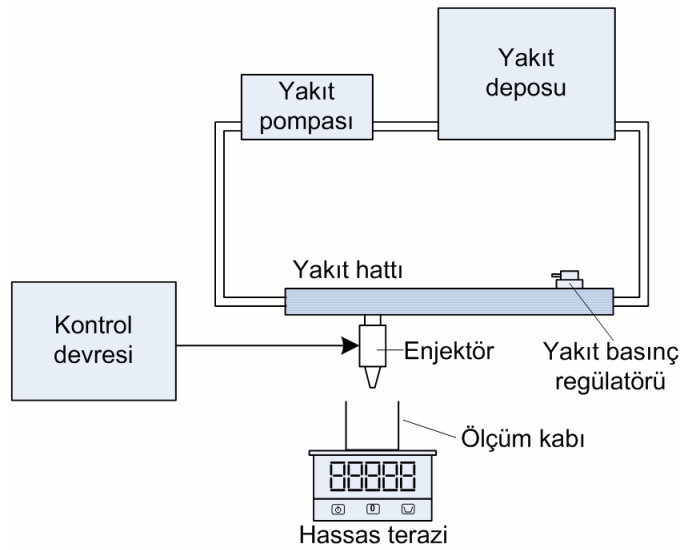
Yakıt basınç regülatörünün emme manifolduna bir bağlantısı bulunmaktadır. Bu bağlantı sayesinde emme manifoldundaki basınç değişmelerine karşı püskürtülen yakıt basıncının sürekli sabit tutulması sağlanmaktadır.

Tasarlanan yakıt enjeksiyon sisteminde 1,6 L hacimli bir motorda kullanılan yakıt enjektörü kullanılmıştır. Yakıt enjektörü Resim 4.12’de görülmektedir.



Resim 4.12. Enjektör

Yakıt enjektörünün debisini ve batarya gerilimine bağlı gecikme sürelerini ölçebilmek için bir deney düzeneği oluşturulmuştur. Söz konusu deney düzeneğinin prensip şeması Şekil 4.13’te görülmektedir.



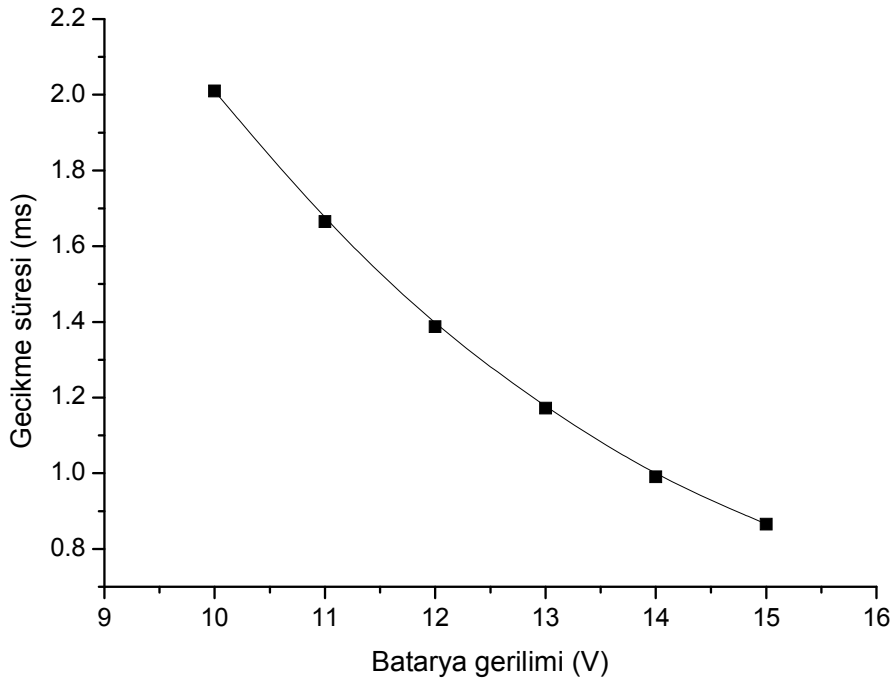
Şekil 4.13. Enjektör test düzeneği

Kullanılan enjektörün debisi, bir dakika boyunca püskürttüğü yakıtın ölçekli bir kaptan toplanmasıyla belirlenmiştir. Yapılan bu ölçüme göre kullanılan enjektörün debisi 3 bar yakıt basıncı altında 137 mL/min’dir. Kullanılan enjektör selenoid tipi bir elemandır. Yani enjektöre enerji verildiğinde, içerisindeki bobin etrafında bir manyetik alan oluşmakta, oluşan bu manyetik alan belli bir değere ulaştıkça yay kuvvetiyle yakıt çıkış deliklerini kapatan iğne çekilerek enjektörün açılması sağlanmaktadır. Enjektörün açılması enerji verilmesinden sonra belli bir gecikmeyle

gerçekleşmektedir. Benzer şekilde enjektörün kapanması da belli bir gecikmeyle gerçekleşmektedir. Enjektörün gecikme süreleri, içerisindeki iğnenin kütlesi, yayın gerginliği, bobinin endüktansı ve omik direnci gibi imalatla belirlenen parametrelerin yanı sıra uygulanan gerilim, çalışma sıcaklığı ve yakıt basıncı gibi çalışma parametrelerine de bağlıdır. Enjektörün sıcaklığının belli bir süre sonunda sabit kaldığı ve yakıt basıncının sabit olduğu göz önünde bulundurularak enjektörün gecikme süreleri çalışma gerilimine göre deneysel olarak blirlenmiştir. Deneyler 10 V, 11 V, 12 V, 13 V, 14 V ve 15 V çalışma gerilimlerinde gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneysel çalışmanın aşamaları şu şekildedir:

- Güç kaynağı deney için belirlenen gerilim değerine ayarlanmıştır.
- Enjektör, kontrol devresi yardımıyla her defasında 10 ms süreyle açık bırakılmak üzere toplam 5000 defa açılıp kapatılmıştır.
- Enjektörden püskürtülen yakıt bir kapta toplanarak kütlesi ölçülmüştür.
- Kütlesi ölçülen yakıtın hacmi $V_y = \frac{m_y}{\rho_y}$ eşitliği yardımıyla hesaplanmıştır.
- Hesaplanan hacim değeri 5000'e bölünerek enjektörün her bir açık kalma süresi boyunca (10 ms) püskürtülen yakıtın hacmi hesaplanmıştır.
- Enjektörün debisinden (137 mL/min) 1 ms'de püskürtülmesi gereken yakıt hacmi hesaplanmıştır.
- 10ms'de püskürtülen yakıt hacmi 1 ms'de püskürtülen yakıt hacmine bölünerek enjektörün gerçek açık kalma süresi bulunmuştur.
- Uygulanan açık kalma süresinden (10 ms) hesaplanan gerçek açık kalma süresi çıkarılarak enjektörün gecikme süresi bulunmuştur.

Enjektör gecikme süreleri tespit edilirken ölçümler kütsel olarak yapılmıştır. Ölçekli kap yardımıyla yapılabilecek hacimsel bir ölçüm yönteminde hata payı daha fazla olacağından kütsel ölçüm yöntemi tercih edilmiştir. Kullanılan enjektörün batarya gerilimine bağlı gecikme süresinin karakteristiği Şekil 4.14'te görülmektedir.



Şekil 4.14. Batarya gerilimine göre enjektör gecikme süreleri

Elde edilen karakteristik yardımıyla gecikme süreleri batarya geriliminin üstel bir fonksiyonu olarak yazılabilmektedir. Gecikme süreleri,

$$t_g = 236,51 \cdot V_b^{-2,0719} \quad (4.4)$$

eşitliği yardımıyla hesaplanmaktadır. Burada t_g , gecikme süresi (ms), V_b , batarya gerilimidir (V).

4.3. Veri toplama kartı

Motor üzerine yerleştirilen sensörlerden alınan verilerin bilgisayara aktarılabilmesi için National Instruments firması tarafından üretilmiş olan NI USB-6259 veri toplama kartı kullanılmıştır. İstenildiğinde farklı bilgisayarlara bağlanabilme esnekliğine sahip olmasından dolayı USB bağlantılı bir veri toplama kartı tercih edilmiştir. Veri toplama kartı Resim 4.13'te görülmektedir. Veri toplama kartının teknik özellikleri Çizelge 4.2'de verilmiştir.



Resim 4.13. NI USB–6259 veri toplama kartı

Çizelge 4.2. Çalışmada kullanılan veri toplama kartının teknik özellikleri

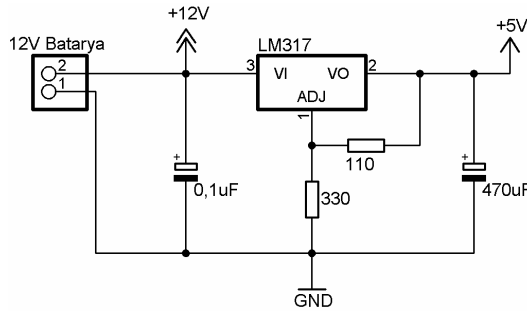
Marka-Model	National Instruments M serisi USB–6259
Analog giriş sayısı	32
Analog/sayısal dönüştürme çözünürlüğü	16 bit
Kanal örnekleme hızı	1,25 MS/s (tek kanal) 1 MS/s (çok kanal)
Sayısal giriş/çıkış sayısı	48
Analog çıkış sayısı	4
Sayısal/analog dönüştürme çözünürlüğü	16 bit
Analog çıkış yenileme hızı	1,25 MS/s
Genel amaçlı sayıcı sayısı	2
Genel amaçlı sayıcı çözünürlüğü	32 bit
Bağlantı tipi	USB
Besleme	12V adaptör

4.4. Sürücü devre

Bilgisayarda hesaplanan yakıt enjeksiyon süresi, ateşleme avansı ve rölanti düzenleyici konumunun motora uygulanması için bir sürücü devre geliştirilmiştir. Geliştirilen sürücü devre isteğe bağlı olarak yakıt enjeksiyon süresi, ateşleme avansı ve rölanti düzenleyici konumunun elle ayarlanabilmesini, veya bilgisayar tarafından gönderilen sonuçların uygulanmasını sağlamaktadır. Yani sürücü devre, bilgisayar bağlantısı olmaksızın üzerindeki butonlar ve potansiyometreler yardımıyla da kontrol

edilebilmektedir. Sürücü devre, besleme katı, mikrodnetleyici katı, rölanti düzenleyici sürücü devresi, RS-232 arabirim devresi ve enjektör sürücü devresini içermektedir.

4.4.1. Besleme katı



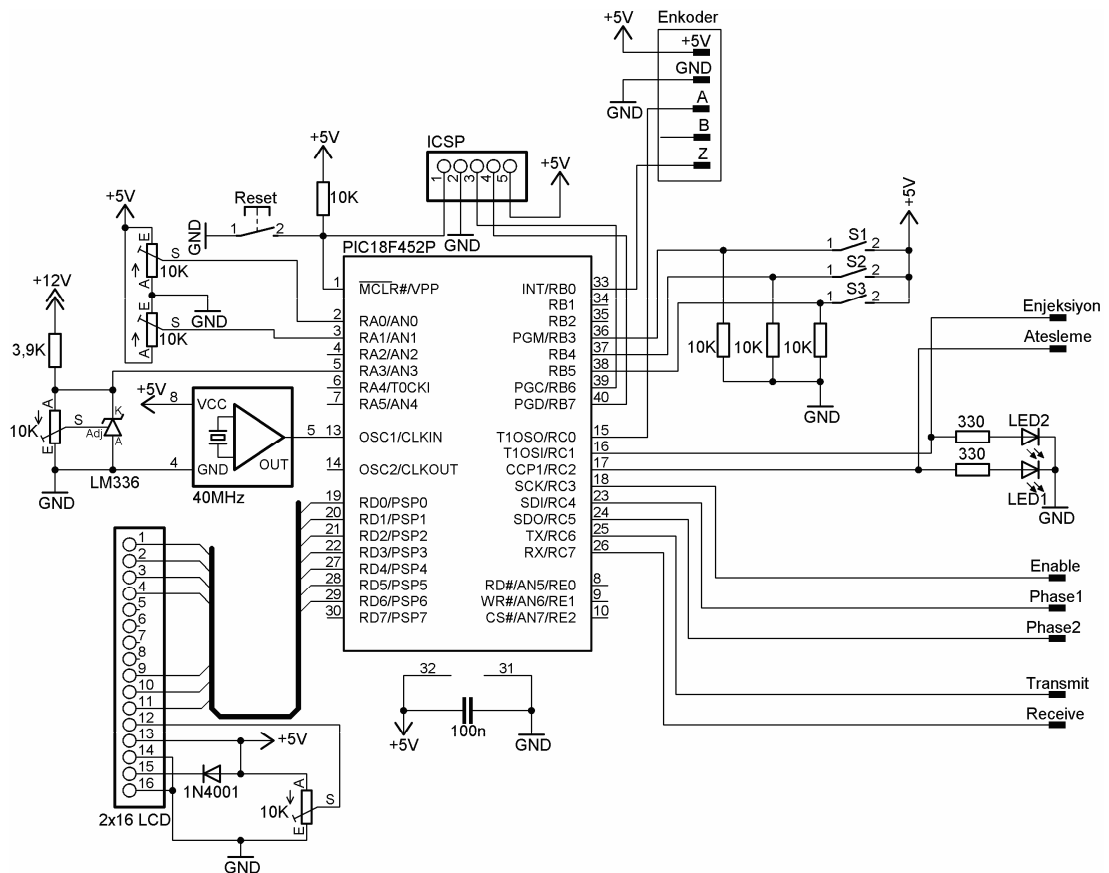
Şekil 4.15. Besleme katı

Şekil 4.15'te besleme katının şeması görülmektedir. Besleme katında LM317 regülatör entegresi kullanılmıştır. LM317'nin çıkışı, sıcaklık, giriş gerilimi ve çekilen akımdaki değişimlere karşı son derece kararlıdır.

4.4.2. Mikrodnetleyici katı

Devrede Microchip firmasının üretmiş olduğu PIC18F452 mikrodnetleyicisi kullanılmıştır. PIC 18F452 8 bit veri yolu genişliğine sahip, 40 MHz frekansında çalışabilen RISC mimarili bir mikrodnetleyicidir. PIC 18F452 mikrodnetleyicisinin programı Microchip MCC18 programlama dilinde yazılmıştır. Sürücü devrede kullanılan potansiyometre ve butonlar, yakıt süresi, ateşleme avansı ve rölanti düzenleme motoru konumunun elle ayarlanabilmesi içindir. Enkoderin A ve Z çıkışları sırasıyla mikrodnetleyicinin RC0 ve RB0 girişlerine bağlanmıştır. Enkoderin Z çıkışı ÜÖN işareti olarak, A çıkışı ise açılı bilgisi olarak kullanılmıştır. Mikrodnetleyicinin RC0 girişi TIMER1 modülünün saat girişi olarak kullanılmıştır. Ateşleme avansı ve enjeksiyon başlangıcı TIMER1 yardımıyla belirlenmiştir. Mikrodnetleyicinin çıkışları ise, bilgilendirme amacıyla kullanılan 2x16 LCD ekran, enjeksiyon çıkışı, ateşleme çıkışı, rölanti düzenleme motor kontrol devresi

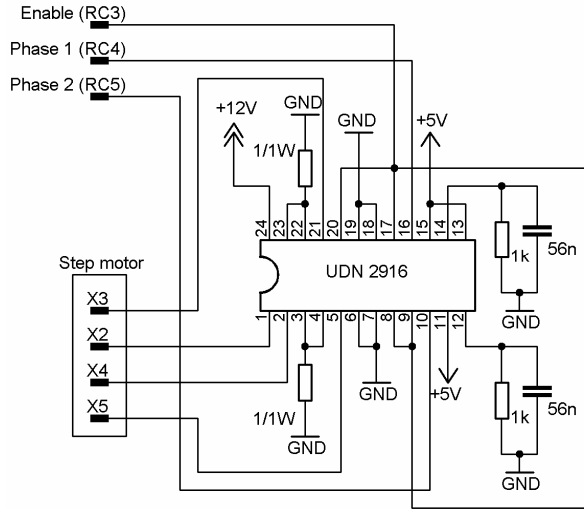
çıkışlarıdır. Mikrodenetleyicinin analog sayısal dönüştürücüsünün referans kaynağı olarak LM336-5 5 V'luk referans entegresi kullanılmıştır. Mikrodenetleyicinin saat palsleri 40 MHz'lik harici bir osilatör devresinden elde edilmiştir. Şekil 4.16'da mikrodenetleyici katının devre şeması görülmektedir.



Şekil 4.16. Mikrodenetleyici katı

4.4.3. Rölanti düzenleyici sürücü devresi

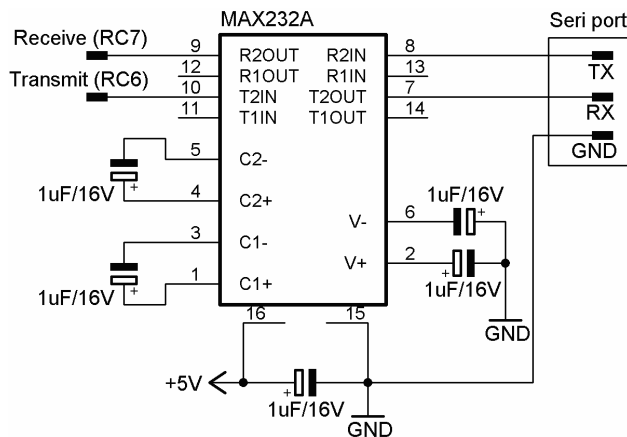
Şekil 4.17’de rölantı düzenleme motoru sürücü devresi görülmektedir. Çalışmada kullanılan rölantı düzenleme motoru bipolar step motordur. UDN2916 içerisinde iki adet tam köprü PWM motor sürücü devresi bulunan bir entegredir [74].



Şekil 4.17. Rölanti düzenleme motoru sürücü devresi

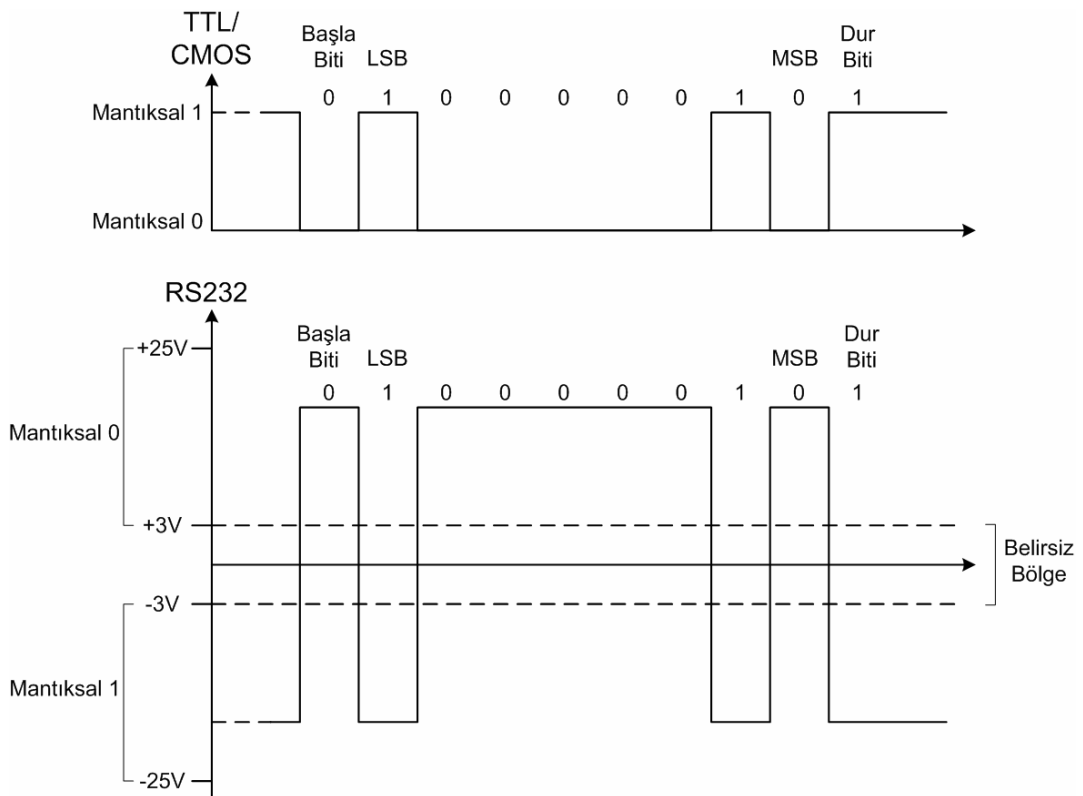
4.4.4. RS-232 arabirim devresi

Şekil 4.18’de RS-232 arabirim devresi görülmektedir. Bilgisayar tarafından hesaplanan yakıt enjeksiyon süresi, ateşleme avansı ve rölanti düzenleyici konumu bilgileri RS-232 üzerinden sürücü devreye gönderilmektedir. Burada bilgisayardan sürücü devreye doğru tek yönlü bir haberleşme söz konusudur. Bilgisayarın yakıt enjeksiyon süresi, ateşleme avansı ve rölanti düzenleyici konumu değerlerini hesaplayabilmesi için gerekli bilgiler veri toplama kartı yardımıyla bilgisayara aktarılmakta, bilgisayarda hesaplanan enjeksiyon süresi, ateşleme avansı ve rölanti düzenleyici konumu sürücü devreye gönderilmektedir.



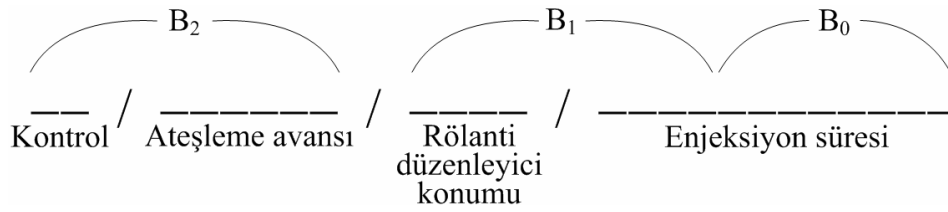
Şekil 4.18. RS-232 bağlantı arabirim devresi

Bilgisayardan sürücü devreye toplam 3 baytlık bilgi gönderilmektedir. Çalışmada RS-232 iletişim hızı 156250 bit/s olarak seçilmiştir. İletişim hızı olarak 156250 bit/s seçilmesinin sebebi bu hızda mikrodenetleyicinin RS-232 iletişim hızı hatasının 0 olması ve MAX232A'nın izin verdiği 200000 bit/s iletişim hızına en yakıt hatasız çalışma hızı olmasıdır. Bu değer RS-232 standart iletişim hızları arasında yer almamaktadır. Yani standart RS-232 bağlantısı olan bir bilgisayarda bu hızda veri gönderilememektedir. Son yıllarda bilgisayarlarda RS-232 portunun bulunmaması nedeniyle alternatif bir çözüm olarak sunulan USB/RS-232 dönüştürücüler 1 Mbps'nin üzerinde veri iletişim hızlarında çalışabilmekte ve standart olmayan hızları desteklemektedirler. Çalışmada bilgisayar ve sürücü devre arasındaki bağlantı bir USB/RS-232 dönüştürücü yardımıyla gerçekleştirilmiştir. RS-232 protokolünde 1 baytlık bir bilgi başla ve dur bitleri eklenerek 10 bit şeklinde gönderilmektedir. Şekil 4.19'da ASCII "A" karakterinin TTL/CMOS ve RS-232 sinyal şekilleri görülmektedir. Şekil 4.19'da bir başla biti ve bir dur biti görülmektedir. Kullanılan RS-232 haberleşme protokolüne göre bu yapı değişiklik gösterebilir.



Şekil 4.19. ASCII "A" karakterinin TTL/CMOS ve RS-232 dalga şekilleri

İletişim hızının 156250 bit/s olduğu, bir başla ve bir dur biti kullanıldığı göz önünde bulundurulduğunda 1 baytlık bir bilginin toplam iletim süresi 64 μ s olarak hesaplanmıştır. 3 baytlık bir bilgi paketinin gönderilme süresi ise 192 μ s olarak hesaplanmıştır. Bilgisayardan sürücü devreye kodlanmış olarak gönderilen bilgilerin yapısı Şekil 4.20’de görülmektedir.

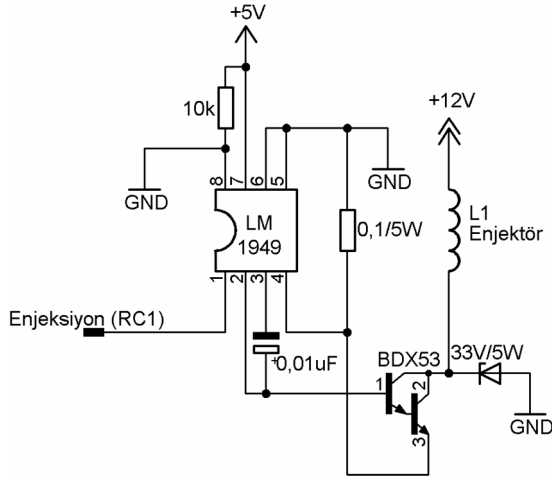


Şekil 4.20. Bilgisayardan sürücü devreye gönderilen 3 baytlık bilginin formatı

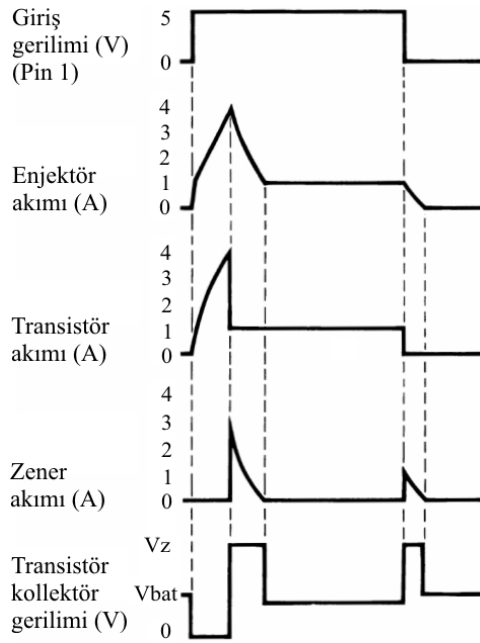
Kontrol bitleri bilgisayardan gönderilen bilgide bir hata olması ihtimaline karşı sürücü devrenin gelen bilgiyi kontrol etmesi amacıyla eklenmiştir. Kontrol bitlerinin 10 olması durumunda gönderilen bilginin doğru olduğu anlaşılmaktadır. Örnek olarak bilgisayardan sürücü devreye “1001 1001 0001 0011 1110 1101” kodlanmış bilgisi gönderildiğinde, ateşleme avansı 011001=25, rölanti düzenleyici konumu 0001=1, enjeksiyon süresi 001111101101=1005 (10,05 ms) olarak kodu çözülmektedir.

4.4.5. Enjektör sürücü devresi

Şekil 4.21’de enjektörün sürülmesinde kullanılan devre görülmektedir. Devrede National firması tarafından üretilen LM1949 enjektör sürücü entegresi kullanılmıştır. Entegre, çıkışına bağlanan darlington transistör ile enjektörden geçen akımı kontrol etmektedir. LM1949 girişten sinyal uygulandığı anda çıkıştaki darlington transistörü doyuma ulaştırarak enjektörden en yüksek akımın geçmesini sağlar. LM1949’un 4 numaralı pini enjektörden geçen akım hakkında geri besleme bilgisi sağlamaktadır. R_s direnci üzerinde düşen gerilim 385 mV’a ulaşınca çıkış transistörü bu gerilimi 94 mV’ta tutacak şekilde sürülür. Yani enjektörden geçen akım azaltılır. R_s direncinin değeri ayarlanarak enjektörden geçen açma ve tutma akımlarının değerleri ayarlanabilmektedir. Şekil 4.22’de LM1949’un devre sinyalleri görülmektedir [75].



Şekil 4.21. Enjektör sürücü devresi



Şekil 4.22. LM1949 enjektör sürücü devresinin sinyalleri

4.5. Elektromanyetik Karışımdan Kaynaklanan Problemler

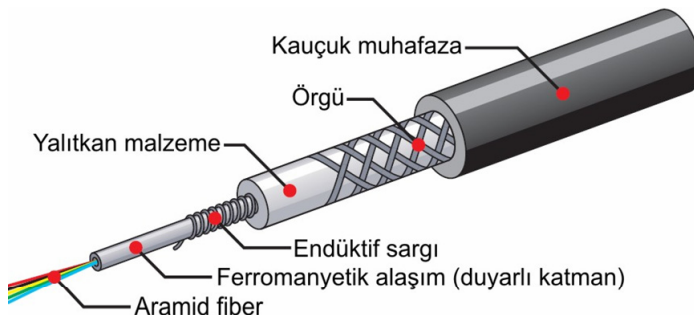
Geliştirilen sistemin ilk denemelerinde bujinin çakması sırasında mikrodenetleyicili devrede kilitlenme, resetlenme gibi problemlerle ve bilgisayar yazılımında hız ölçümünde anlık sapmaların oluşması problemiyle karşılaşmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde bu duruma elektromanyetik karışımın (EMI) neden olduğu belirlenmiştir. Buji ile ateşlemeli motorlarda bujinin çakması sırasında oluşan yüksek

gerilim büyük bir elektromanyetik alana neden olmakta ve oluşan elektromanyetik alan mikroişlemci, mikrodenetleyici gibi duyarlı elemanlar içeren sistemlerin problemli çalışmasına veya kilitlenmesine yol açmaktadır.

Taşıtlarda elektromanyetik karışım kaynakları ateşleme sistemi, şarj sistemi, elektrikli motorlar (marş motoru, silecek motoru, fan motoru vb), röleler ve anahtarlardır [76].

Taşıtlarda elektromanyetik karışımın ana kaynağı ateşleme sistemidir. Ateşleme sisteminin bulunduğu bir ortamda 10 m mesafedeki gürültü alanı yoğunluğu yaklaşık olarak 10000 $\mu\text{V}/\text{m}'\text{dir}$ [76].

Sistemde karşılaşılan kilitlenme, resetlenme gibi problemlerde elektrik bağlantıları çok büyük bir öneme sahiptir. Zayıf bağlantı noktalarındaki temas direnci üzerinde, oluşan yüksek elektromanyetik alan nedeniyle sistemin çalışmasını olumsuz yönde etkileyebilecek bir gerilim düşümü meydana gelmektedir. Bu nedenle problemin çözümü için başta bağlantı noktalarındaki direncin en aza indirilmesine özen gösterilmiştir. Ayrıca mikrodenetleyicili devre metal bir kutu içerisine yerleştirilmiştir. Oluşan elektromanyetik alanı kaynağında azaltmak amacıyla özel olarak üretilmiş buji kablosu ve dirençli tip buji kullanılmıştır. Çalışmada Bougicord 403 marka endüktif tip (endüktif sargılı) buji kablosu ve NGK BKR5E buji kullanılmıştır. Endüktif tip buji kablosunun yapısı Şekil 4.23'te görülmektedir [77]. Yapılan bu düzenlemeler neticesinde elektromanyetik karışımdan kaynaklanan olumsuzluklar ortadan kaldırılmıştır.



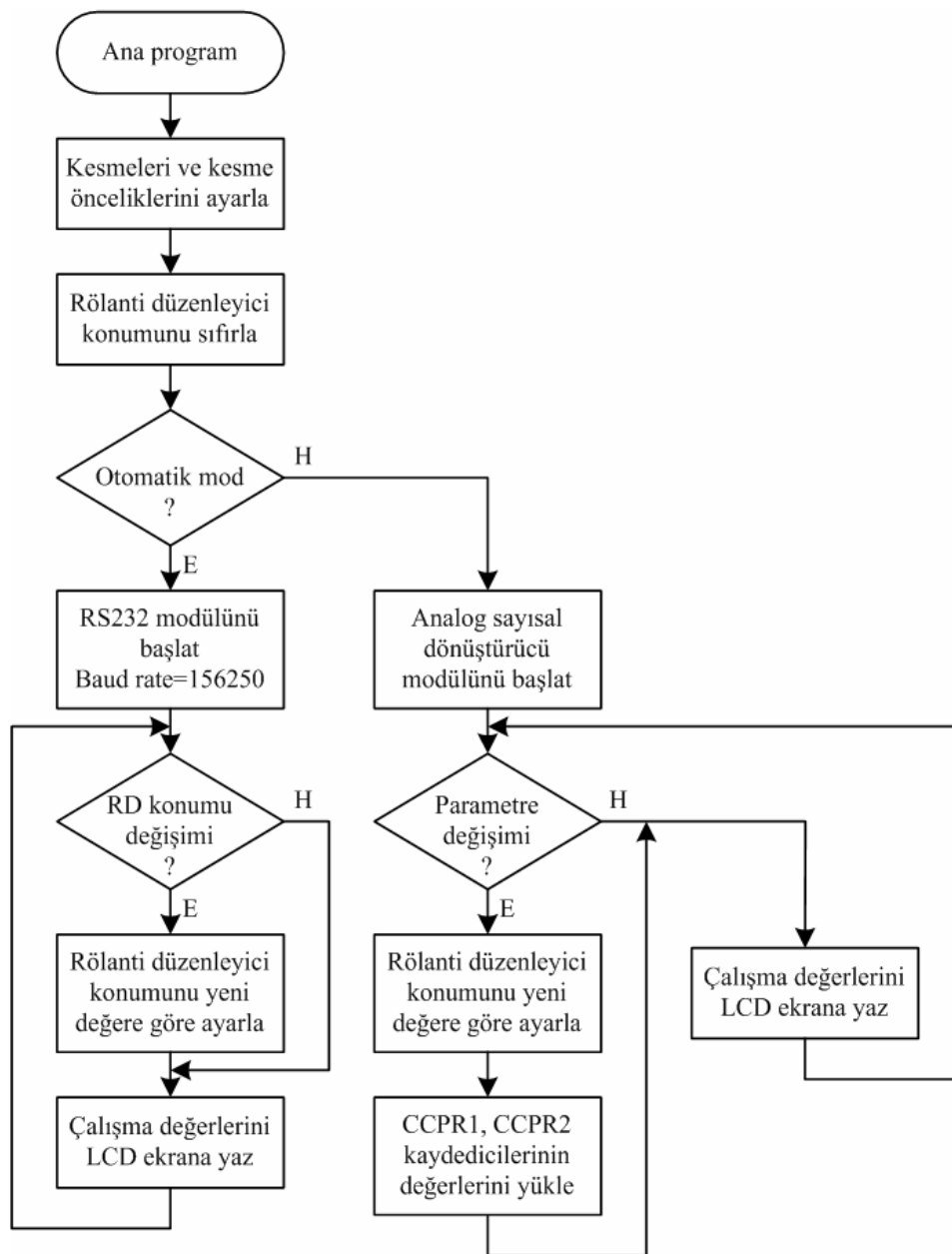
Şekil 4.23. Endüktif tip buji kablosu

4.6. Mikrodenetleyicili Sürücü Devrenin Çalışması

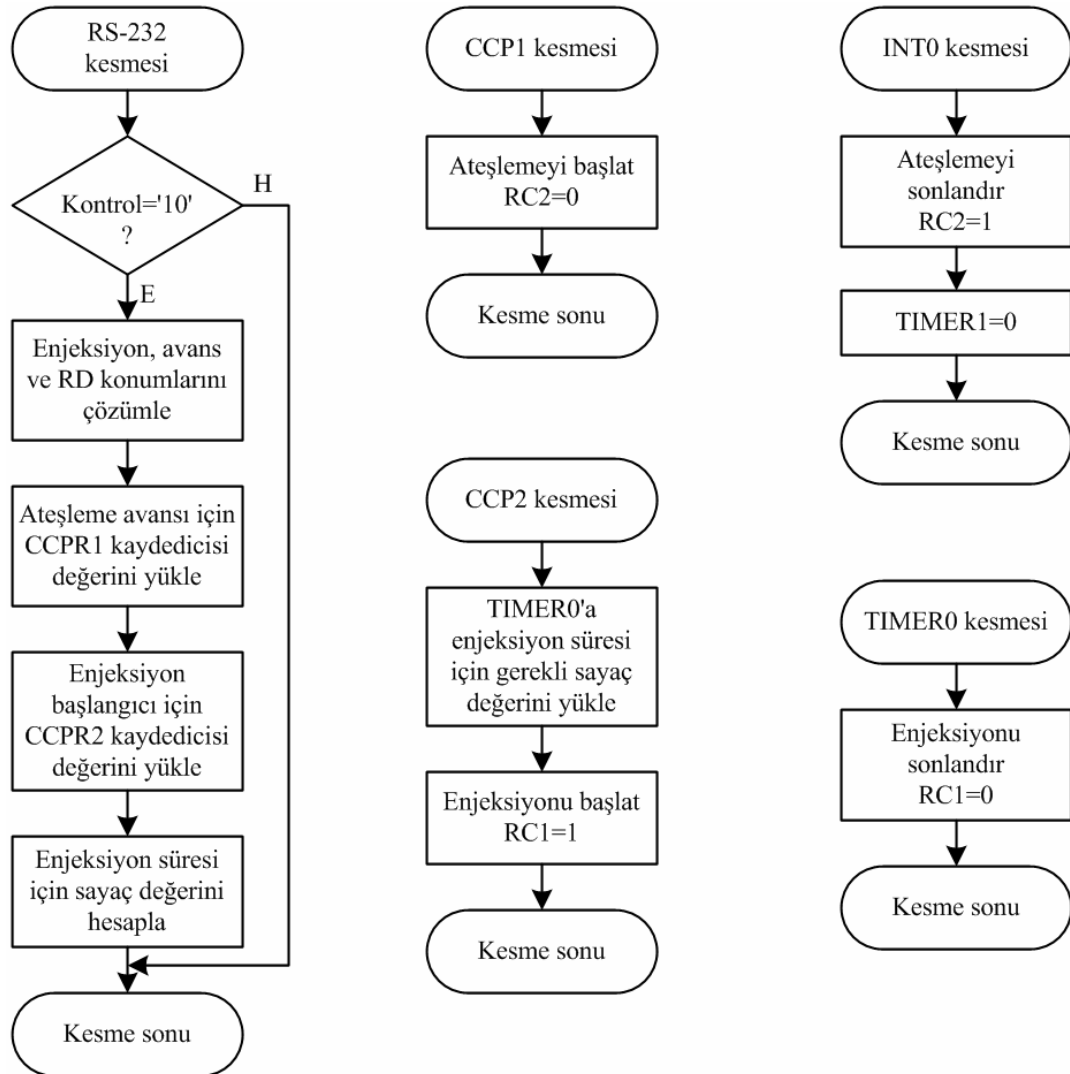
Yakıt enjeksiyon sisteminde enjeksiyon süresi, ateşleme avansı ve rölanti düzenleyici konumunun ayarlanmasını sağlayan mikrodenetleyicili sürücü devre bilgisayar kontrollü ve manüel kontrollü olmak üzere iki şekilde çalıştırılabilmektedir. Sürücü devre üzerinde bulunan B1 butonu basılı tutulup enerji verildiği zaman sistem manüel, B1 butonuna basılmadan enerji verildiğinde ise bilgisayar kontrollü çalışmak üzere açılmaktadır. Manüel kontrollü çalışmada, sürücü devrenin üstünde bulunan P1 ve P2 potansiyometreleri enjeksiyon süresinin ayarlanmasında, B1, B2 ve B3 butonları ise ateşleme avansı ve rölanti düzenleyici konumunun ayarlanmasında kullanılmaktadır. Sürücü devre bilgisayar kontrollü çalıştırılmak üzere açıldığında ise potansiyometre ve butonların herhangi bir işlevi bulunmamakta, sadece RS-232 portundan gelen bilgiler geçerli olmaktadır.

Ateşleme avansının kontrolünde PIC18F452 mikrodenetleyicisinin CCP1 modülü kullanılmıştır. CCP2 modülü ise enjeksiyon başlangıcının belirlenmesinde kullanılmıştır. CCP1 ve CCP2 modülleri karşılaştırıcı olarak çalıştırılmıştır. Karşılaştırıcı olarak çalıştırıldığında CCP1 ve CCP2 modülleri 16 bitlik TIMER1 sayıcısının değeri ile CCPR1 ve CCPR2 kaydedicilerinin değerlerini sürekli olarak karşılaştırmakta ve $TIMER1 = CCPR1$ olduğunda CCP1 kesmesini, $TIMER1 = CCPR2$ olduğunda ise CCP2 kesmesini çalıştırmaktadır. TIMER1 16 bitlik sayıcının saat palsi girişi olarak enkoderin A çıkışı kullanılmıştır. CCP1 kesmesi çalıştığında RC2 çıkışı 1'den 0'a çekilerek ateşlemenin yapılması sağlanır. CCP2 kesmesi çalıştığında ise RC1 çıkışı 0'dan 1'e çekilerek enjeksiyon başlatılır ve enjeksiyon süresinin sonunda kesme üretmesi için 16 bitlik TIMER0 sayıcısına hesaplanan değer yüklenir. TIMER0 kesmesi oluştuğunda RC1 çıkışı 1'den 0'a çekilerek enjeksiyon sonlandırılmış olur. Enkoderin Z çıkışı mikrodenetleyicinin INT0/RB0 girişine bağlanmıştır ve bu girişten pals gelmesi durumunda INT0 kesmesi çalışmaktadır. INT0 kesmesi çalıştığında RC2 çıkışı 0'dan 1'e çekilerek ateşleme palsi sonlandırılmış olur. Ayrıca INT0 kesmesi meydana geldiğinde 16 bitlik TIMER1 sayıcısı sıfırlanmaktadır.

Manüel kontrollü çalışmada yukarıda açıklanan kaydedicilerin değerleri sürücü devrede bulunan potansiyometre ve butonlar yardımıyla ayarlanmaktadır. Bilgisayar kontrollü çalışmada ise bilgisayar tarafından gönderilen 3 baytlık verinin çözülmesiyle bu değerler belirlenmektedir. Ayrıca bilgisayar kontrollü çalışmada RS-232'den gelen veriler de bir kesme yardımıyla alınmaktadır. Mikrodenetleyiciye ait programın akış şemaları Şekil 4.24 ve Şekil 4.25'te görülmektedir. Tasarlanan mikrodenetleyicili sürücü devrenin tamamlanmış hali Resim 4.14'te görülmektedir.



Şekil 4.24. PIC18F452 mikrodenetleyicisi ana programının akış şeması



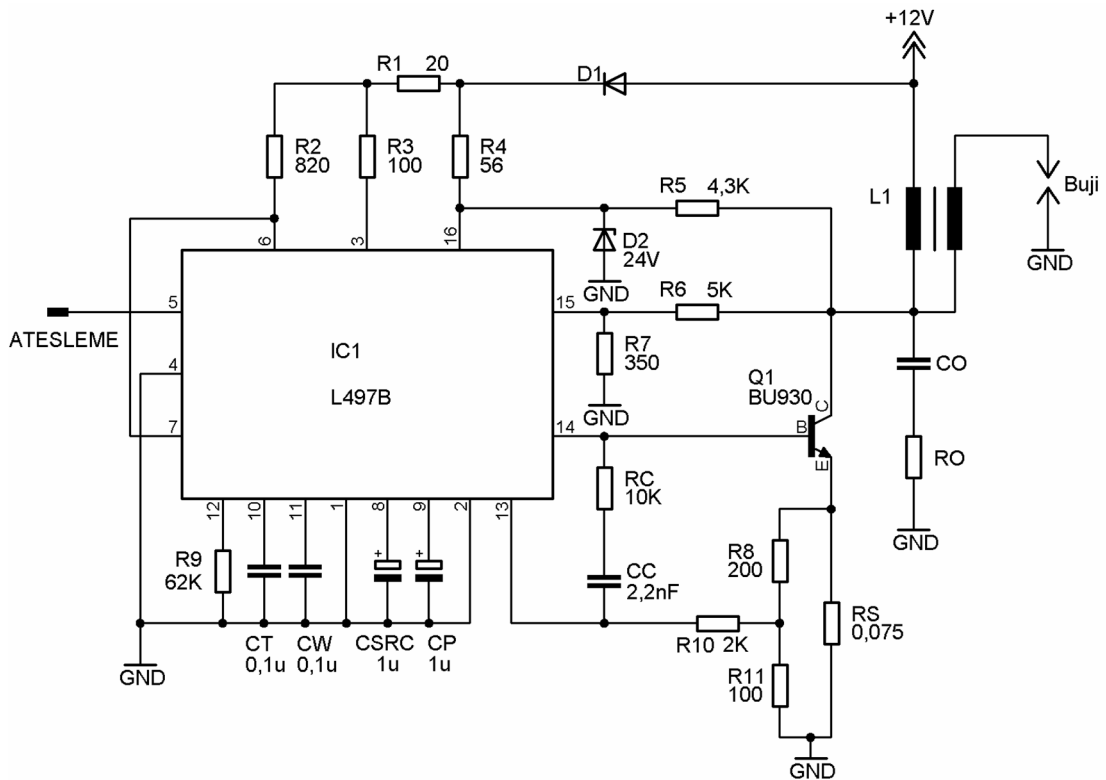
Şekil 4.25. PIC18F452 mikrodnetleyicisi kesme programları akış şemaları



Resim 4.14. Yapılan sürücü devrenin tamamlanmış hali

4.7. Ateşleme Devresi

Çalışmada L497 entegresine sahip elektronik ateşleme devresi kullanılmıştır. L497 Hall kumandalı elektronik ateşleme sistemleri için geliştirilmiş bir entegredir. Hall etkili sensörler manyetik alana maruz kaldığında çıkışındaki transistörü ilettime geçirmekte, tersi durumda ise yalıtımda tutmaktadır. Yani Hall etkili sensörün çıkışı kare dalgadır. Mikrodenetleyici çıkışını kolayca bağlayabilmek için sistemde ateşleme devresi olarak Hall kumandalı bir ateşleme sistemi tercih edilmiştir. Ateşleme devresinin Hall sensör girişi (L497 5 numaralı pin) yerine mikrodenetleyicinin ateşleme çıkışı doğrudan bağlanmıştır. L497 entegresinin 5 numaralı pini 1'den 0'a çekildiği anda ateşleme gerçekleştirilmektedir. Mikrodenetleyicinin yazılımı ateşleme açısı geldiğinde ateşleme çıkışını (RC2) 1'den 0'a çekecek şekilde yazılmıştır. Ateşleme sisteminin devre şeması Şekil 4.26'da görülmektedir [78]. Buji kablosu olarak bir önceki bölümde açıklandığı gibi elektromanyetik karışımı azaltacak özellikte bir kablo kullanılmıştır.



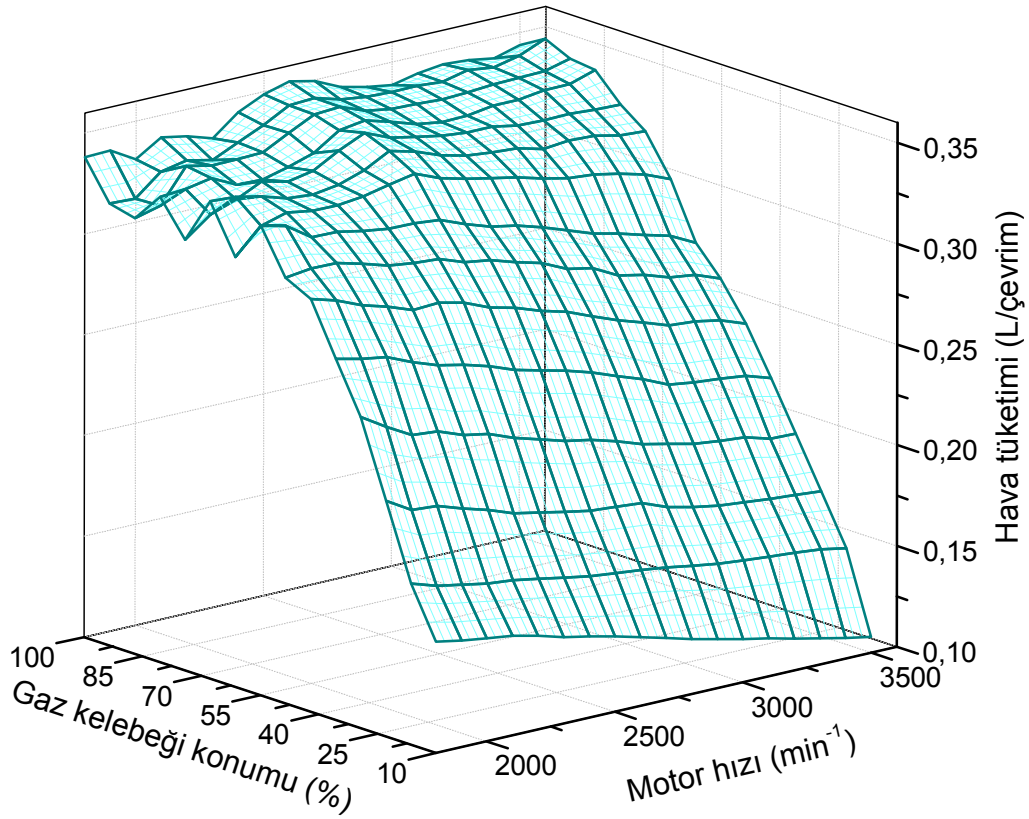
Şekil 4.26. L497B'li elektronik ateşleme devresi

4.8. Hava Tüketimi ve Ateşleme Avans Haritalarının Elde Edilmesi

Yakıt enjeksiyon sisteminin tasarımında, emme manifoldunun yapılması, sistemde kullanılacak sensör, aktüatör, yakıt sistemi elemanları gibi parçaların bağlanması ve sürücü devrenin yapılmasından sonra motorun hava tüketimi ve ateşleme avans haritaları çıkarılmıştır. Bu amaçla dinamometre üzerinde bir dizi deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyler sırasında yakıt enjeksiyon süreleri ve ateşleme avansı elle ayarlanmıştır. Öncelikle motorun ateşleme avansı değiştirilmeksizin kendi ateşleme sistemi kullanılarak hava tüketimi haritası çıkarılmıştır. Daha sonra ateşleme avansı değiştirilerek en yüksek motor momentini sağlayan avans değerleri kaydedilmiştir. Deneylerde hava tüketimi, yakıt tüketimi, emisyonlar, motor moment, motor hızı, UEGO denetleyicinin gösterdiği HYO, atmosfer basıncı, ortam sıcaklığı, motor sıcaklığı, batarya gerilimi, enjeksiyon süreleri ve ateşleme avansları kaydedilmiştir. Hava tüketimi, egzoz emisyon değerleri bilgisayar yardımıyla, diğer değerler ise deney formları yardımıyla kaydedilmiştir. Deneyler dinamometrenin izin verdiği çalışma aralığında ($1800 \text{ min}^{-1} - 3500 \text{ min}^{-1}$) gerçekleştirilmiştir. Deneyler sırasında izlenen aşamalar şu şekildedir.

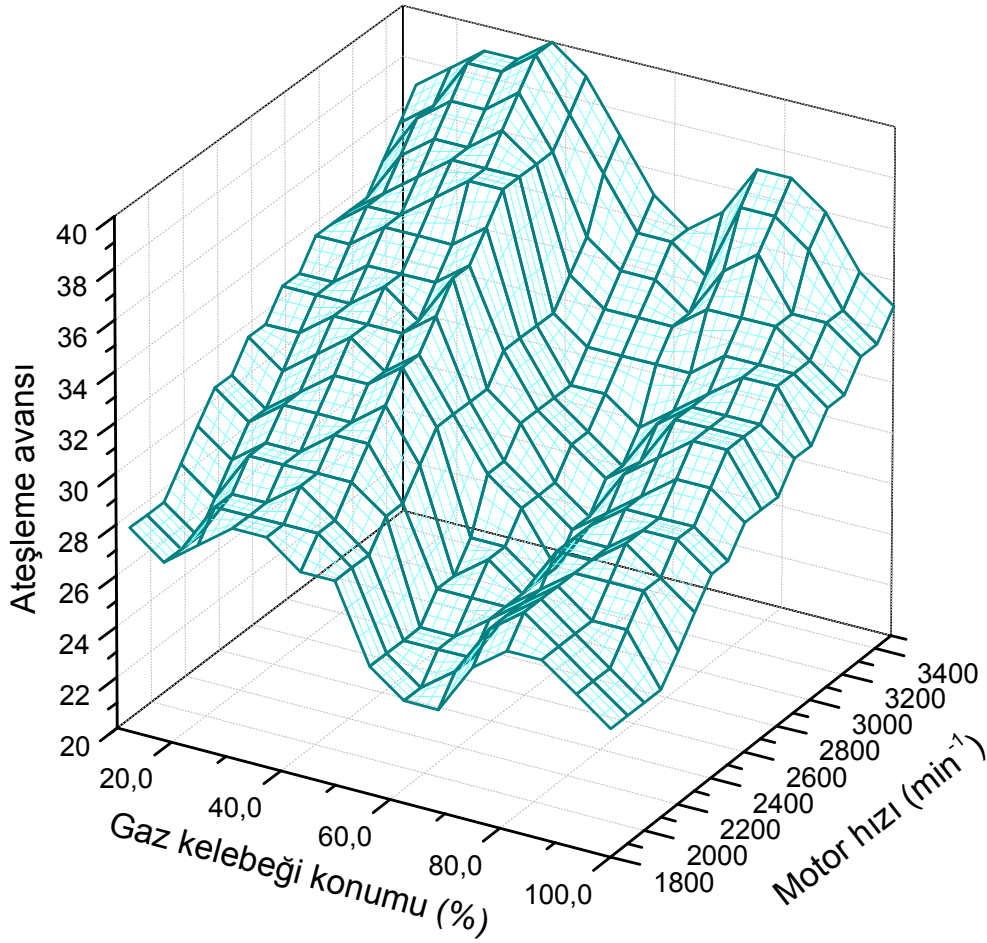
- Deney motoru çalışma sıcaklığına getirilmiştir. Motor hava soğutmalı olduğu için motor sıcaklığı su soğutmalı motorlardaki gibi kararlı değildir. Yüklü durumda uzun süreli çalışmalarda motor parçalarının zarar görebileceği düşünülerek motorun yağ sıcaklığı $80 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye ulaştığında motorun çalışma sıcaklığına ulaştığı kabul edilmiştir. Yapılan her deneyden sonra motorun tekrar soğuması beklenerek bütün deneyler boyunca motor yağ sıcaklığının $80 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $120 \text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında tutulması sağlanmıştır.
- Gaz kelebeği deneyler için önceden belirlenen konumuna ayarlanmıştır.
- Motor hızı dinamometre kontrol paneli yardımıyla 1800 min^{-1} ile 3500 min^{-1} arasında 100 min^{-1} aralıklarla ayarlanarak deneyler gerçekleştirilmiştir.
- Bir sonraki gaz kelebeği konumuna geçilmeden önce motorun tekrar soğuması sağlanmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde Şekil 4.27’de görülen hava tüketimi haritası ve Şekil 4.28’de görülen ateşleme avans haritası elde edilmiştir.



Şekil 4.27. Deney motorunun hava tüketimi haritası

Geliştirilen yakıt enjeksiyon sisteminde enjeksiyon sürelerinin hesaplanmasında deneysel çalışmalarla elde edilen hava tüketimi değerlerinin kullanılması gerekmektedir. Şekil 4.27’deki hava tüketimi haritasının doğrusal olmayan yapısı nedeniyle modellenmesinin çok zor olduğu görülmektedir. Hava tüketimi haritası yazılıma bir tablo halinde eklenebilir. Ancak bu durumda ara değerler için yapılan hesaplamalarda hatalar söz konusu olacaktır. Bu nedenle hava tüketimi haritasının YSA ile modellenerek kullanılmasının daha uygun bir çözüm olduğu düşünülmüştür. Hava tüketimi haritası için bir YSA modeli oluşturularak bilgisayar yazılımına eklenmiştir. Ateşleme avans haritası ise 15 x 18’lik bir tablo (yük x hız) halinde bilgisayar yazılımına eklenmiştir.



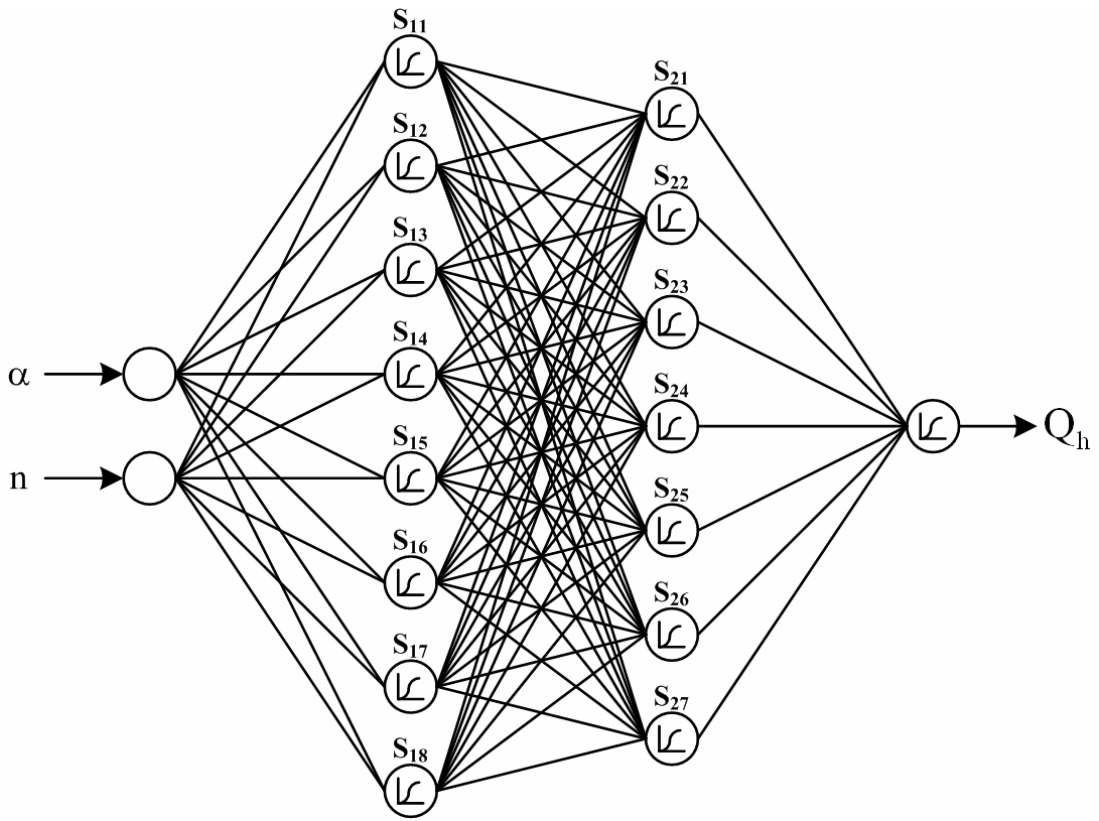
Şekil 4.28. Deney motorunun ateşleme avans haritası

4.9. Motorun Hava Tüketiminin YSA ile Modellenmesi

Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde elde edilen hava tüketimi haritası YSA kullanılarak modellenmiştir. Oluşturulan YSA'nın girişleri, motor hızı ve gaz kelebeği konumu, çıkışı ise hava tüketimidir. Oluşturulan YSA iki gizli katmanlıdır. Birinci gizli katmanda 8, ikinci gizli katmanda ise 7 nöron bulunmaktadır. Gizli katmanlardaki ve çıkış katmanındaki nöronlar sigmoid aktivasyon fonksiyonuna sahiptir. YSA çalışmaları Matlab paket programının YSA araç kutusu yardımıyla yapılmıştır.

Deneysel çalışmalardan elde edilen verilerin %90'ı ağız eğitimi, kalan %10'u ise testinde kullanılmıştır. Gizli katman sayıları, gizli katmanlardaki nöron sayıları, aktivasyon fonksiyonları ve eğitim iterasyon sayıları değiştirilerek en iyi sonucu

veren ağ yapısı elde edilmeye çalışılmıştır. Bilgisayarın işlem yükünü artıracak düşüncesi ile mümkün olan en az gizli katman ve nöron sayısına sahip ağın oluşturulmasına özen gösterilmiştir. Yapılan çalışmalar neticesinde en iyi sonuç birinci gizli katmanında 8, ikinci gizli katmanında 7 nöron bulunan iki gizli katmanlı ağdan elde edilmiştir. Oluşturulan YSA'nın test sonuçlarına göre $R^2 = 0,99998619688241$, $RMS = 0,001038$ ve Ortalama Hata (%) = 0,032016 olarak hesaplanmıştır. Hava tüketimi için oluşturulan YSA Şekil 4.29'da görülmektedir.



Şekil 4.29. Hava tüketimi haritası için oluşturulan YSA

Oluşturulan ağın çıkış ifadesi aşağıda verilmiştir. Burada n normalize edilmiş motor hızını, α normalize edilmiş gaz kelebeği konumunu ve S_{xy} ise x gizli katmanındaki y sinirinin çıkışını göstermektedir.

$$S_{11} = \frac{1}{1 + e^{-(35,7222\alpha + 13,062n + 14,7486)}} \quad (4.5)$$

$$S_{12} = \frac{1}{1 + e^{-(13,6797\alpha + 1,3914n - 9,426)}} \quad (4.6)$$

$$S_{13} = \frac{1}{1 + e^{-(28,7182\alpha - 6,9175n - 14,6481)}} \quad (4.7)$$

$$S_{14} = \frac{1}{1 + e^{-(14,8828\alpha - 26,0178n + 0,88928)}} \quad (4.8)$$

$$S_{15} = \frac{1}{1 + e^{-(16,5303\alpha + 15,8031n + 0,50459)}} \quad (4.9)$$

$$S_{16} = \frac{1}{1 + e^{-(4,2583\alpha - 15,2727n + 8,6539)}} \quad (4.10)$$

$$S_{17} = \frac{1}{1 + e^{-(13,0699\alpha + 12,0977n - 2,4608)}} \quad (4.11)$$

$$S_{18} = \frac{1}{1 + e^{-(7,1461\alpha - 0,2875n + 0,0046856)}} \quad (4.12)$$

$$S_{21} = \frac{1}{1 + e^{-(16,5343S_{11} + 4,4221S_{12} - 17,2645S_{13} + 23,2148S_{14} - 13,9953S_{15} - 7,9316S_{16} + 4,7828S_{17} - 14,5779S_{18} + 1,3775)}} \quad (4.13)$$

$$S_{22} = \frac{1}{1 + e^{-(2,7574S_{11} + 4,3748S_{12} - 1,6883S_{13} - 3,1594S_{14} + 4,5315S_{15} - 0,81107S_{16} + 0,82846S_{17} - 8,8947S_{18} + 5,3586)}} \quad (4.14)$$

$$S_{23} = \frac{1}{1 + e^{-(7,0732S_{11} + 6,6862S_{12} - 9,199S_{13} - 0,84701S_{14} + 5,9358S_{15} + 2,2393S_{16} - 1,3169S_{17} - 2,8695S_{18} + 2,7491)}} \quad (4.15)$$

$$S_{24} = \frac{1}{1 + e^{-(1,5733S_{11} - 20,8608S_{12} + 5,6908S_{13} + 29,7227S_{14} - 10,539S_{15} - 5,6608S_{16} - 16,8195S_{17} + 1,4866S_{18} + 11,0125)}} \quad (4.16)$$

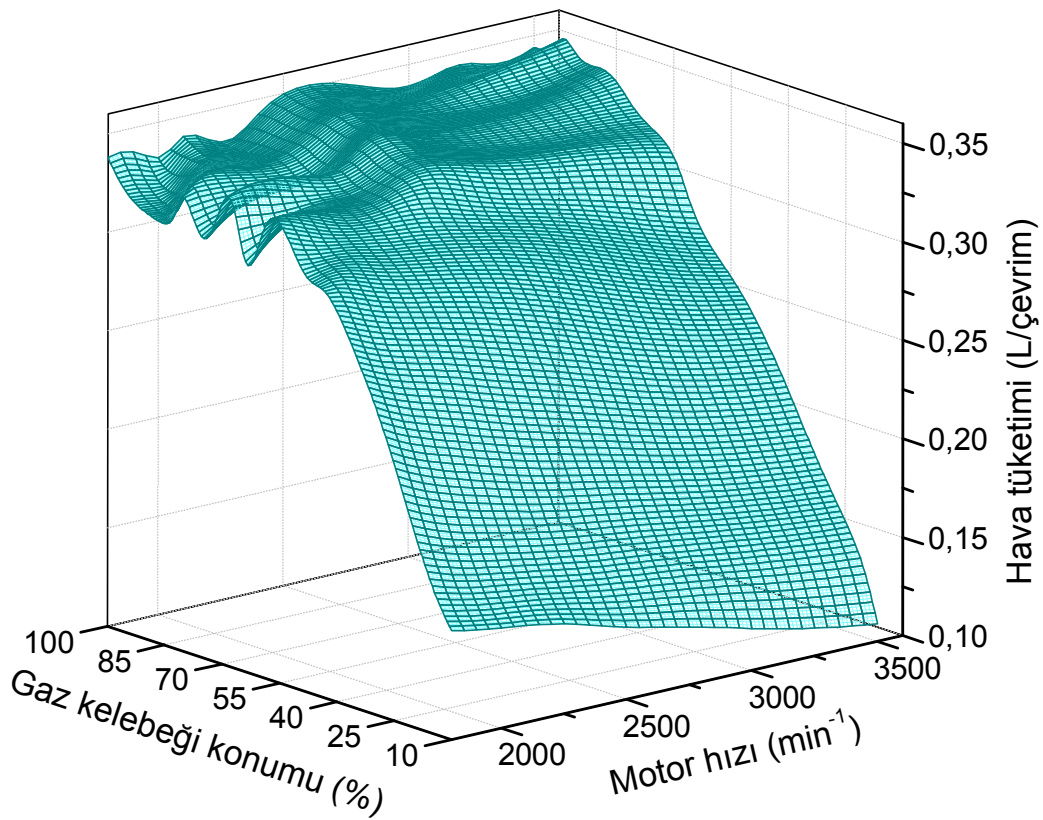
$$S_{25} = \frac{1}{1 + e^{-(3,8164S_{11} - 29,1543S_{12} + 36,9148S_{13} + 21,0851S_{14} + 17,7658S_{15} - 5,2396S_{16} + 0,95446S_{17} - 4,8528S_{18} - 12,5894)}} \quad (4.17)$$

$$S_{26} = \frac{1}{1 + e^{-(6,5872S_{11} + 6,5795S_{12} - 8,301S_{13} - 2,3789S_{14} + 5,8938S_{15} + 1,9086S_{16} - 0,96172S_{17} - 2,7757S_{18} + 2,0269)}} \quad (4.18)$$

$$S_{27} = \frac{1}{1 + e^{-(2,7058S_{11} + 3,6168S_{12} - 2,6268S_{13} + 2,6323S_{14} + 1,7432S_{15} - 8,7493S_{16} + 0,66394S_{17} - 14,6484S_{18} + 9,2133)}} \quad (4.19)$$

$$Q_h = \frac{1}{1 + e^{-(14,5735S_{21} - 1,904S_{22} - 7,329S_{23} - 0,24586S_{24} - 0,1542S_{25} + 8,4025S_{26} + 12,5649S_{27} - 0,28733)}} \quad (4.20)$$

Oluşturulan YSA yardımıyla gaz keleşi konumu ve motor hızına göre çevrim başına silindire alınan hava hacmi hesaplanmaktadır. YSA'dan elde edilen hacim değeri kullanılarak silindire alınan havanın kütlesi hesaplanmaktadır. Kütlesel olarak silindire alınan hava miktarının tespit edilmesiyle püskürtülmesi gereken yakıt miktarı hesaplanabilmekte ve buna bağı olarak enjektörün açık kalma süresi hesaplanabilmektedir. Hava tüketimi için oluşturulan YSA modeliyle elde edilen hava tüketimi haritası Şekil 4.30'da görölmektedir.



Şekil 4.30. YSA ile elde edilen hava tüketimi haritası

4.10. Yakıt Enjeksiyon Süresinin Hesaplanması

Yakıt enjeksiyon süresinin hesaplanması sırasında yapılan hesaplamalar aşağıda eşitliklerle açıklanmıştır. Motorun gerçek hava tüketimi,

$$\dot{m}_h = Q_h \cdot \rho_h \cdot \frac{p_{atm}}{p_{ref}} \cdot \frac{T_{ref}}{T_g} \quad (4.21)$$

eşitliği yardımıyla hesaplanmaktadır. Burada, $\dot{m}_h$, hava kütlesi (g/çevrim), Q_h , YSA modelinden hesaplanan hava debisi (L/çevrim), ρ_h , havanın yoğunluğu (kg/m^3), p_{atm} , ölçülen atmosfer basıncı (kPa), p_{ref} , referans atmosfer basıncı (101,325 kPa), T_{ref} , referans hava sıcaklığı (294,26 K), T_g , giriş havası sıcaklığıdır (K). Hesaplanan hava kütlesinden püskürtülmesi gereken yakıt kütlesi,

$$\dot{m}_y = \frac{\dot{m}_h}{\text{HYO}} \quad (4.22)$$

eşitliği yardımıyla hesaplanmaktadır. Burada $\dot{m}_y$, yakıt kütlesi (g/çevrim), HYO, motorun çalışma şartlarına göre yazılımda belirlenen hava/yakıt oranıdır. Hesaplanan yakıt kütlesinin püskürtülmesi için gereken enjeksiyon süresi,

$$\dot{V}_y = \frac{\dot{m}_y}{\rho_y} \quad (4.23)$$

$$t_y = \frac{\dot{V}_y}{\frac{Q_e}{60000}} \quad (4.24)$$

eşitlikleri yardımıyla hesaplanmaktadır. Burada, $\dot{V}_y$, püskürtülmesi gereken yakıt hacmi (L/çevrim), Q_e , enjektör debisi (L/min), t_y , püskürtülecek yakıt için gereken enjeksiyon süresidir (ms).

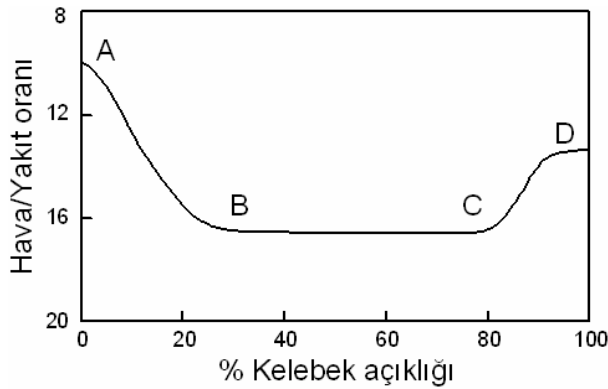
Enjektöre uygulanması gereken toplam pals genişliği ise,

$$t_e = t_y + t_d \quad (4.25)$$

eşitliği yardımıyla hesaplanmaktadır. Burada, t_e , enjektöre uygulanan toplam pals genişliği (ms), t_y , yakıt enjeksiyon süresi (ms), t_d , batarya gerilimine bağlı gecikme süresini, ilk hareket yakıt zenginleştirmesini, soğuk motor yakıt zenginleştirmesini ve ani gaz verme yakıt zenginleştirmesini içeren düzeltme süresidir (ms).

4.11. HYO'nun Belirlenmesi

Motorun çalışacağı HYO belirlenirken çalışma şartları dikkate alınmıştır. Şekil 4.31'de karbüratörlü yakıt sistemine sahip bir motorda HYO'nun gaz kelebeği açıklığına göre değişimi görülmektedir [14]. Karbüratörlü bir motorda rölanti çalışması sırasında içeriye giren hava miktarı az olduğundan ve supap bindirmesi nedeniyle içeride daha fazla yanmış gazlar kalacağından yanma kötüleşmektedir. Karışımın yanma hızını arttırmak için rölanti çalışmasında motora zengin bir karışım verilir. Kısmi gaz kelebeği açıklıklarında ise motorun ekonomi bölgesinde çalışması istenildiğinden karışım biraz fakirleştirilir. Tam yük şartlarında motordan en yüksek gücün alınabilmesi için karışım zenginleştirilir (Şekil 2.1).



Şekil 4.31. Karbüratörlü bir motorun ihtiyaç duyduğu karışım oranları

Yakıt enjeksiyon sistemine sahip bir motorda rölanti çalışması sırasında rölanti düzenleme motoru yardımıyla silindirlere yeterli miktarda hava alınabildiği için ve karbüratörlü bir yakıt sistemine göre daha homojen bir karışım oluşturulabildiği için HYO stokiyometrik oranda (14,7) tutulabilmektedir. Kısmi yüklerde de motorun hem ekonomik çalışması hem de emisyonların azaltılabilmesi için karışım stokiyometrik oranda tutulur. Katalitik dönüştürücülerin dönüştürme verimi 0,995–1,005 HFK

değerleri arasında en yüksektir. Bu nedenle yakıt enjeksiyon sistemlerinde kısmi yük çalışmasında lamda kontrolüyle hassas olarak stokiyometrik HYO ayarlanabilmektedir. Tam yük şartlarında ise motordan en yüksek gücün alınabilmesi için karışım zenginleştirilir. Topgül ve arkadaşları katalitik dönüştürücülerin verimleri üzerine yaptıkları bir çalışmada, kullandıkları Renault Megane marka aracın şasi dinamometresi testlerinde tam yükte motorun 0,9 HFK ile çalıştığını belirlemişlerdir [79].

Bu çalışmada ise yapılan deneylerde motorun rölanti şartlarında stokiyometrik oranda çalıştırılmaya uygun olmadığı anlaşılmıştır. HYO 14,7'ye ayarlanmak istenildiğinde motor kararsız bir çalışma sergilemiş ve durmuştur. Bu durumun motorun tek silindirli olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Karışım HYO'su 13,5 civarına ayarlandığında daha kararlı bir rölanti çalışması elde edilmiştir. Kısmi yük çalışmasında ise motorun stokiyometrik HYO ile çalıştırılması lamda kontrolüyle sağlanmıştır. Gaz kelebeği konumu %80'e ulaştığında tam yük çalışma şartlarına ulaşıldığı kabul edilmiş ve karışımın HYO'su 13,2–14 (HFK cinsinden 0,9–0,95) arasında olacak şekilde ayarlanmıştır.

4.12. Rölanti Düzenleyici Konumunun Belirlenmesi

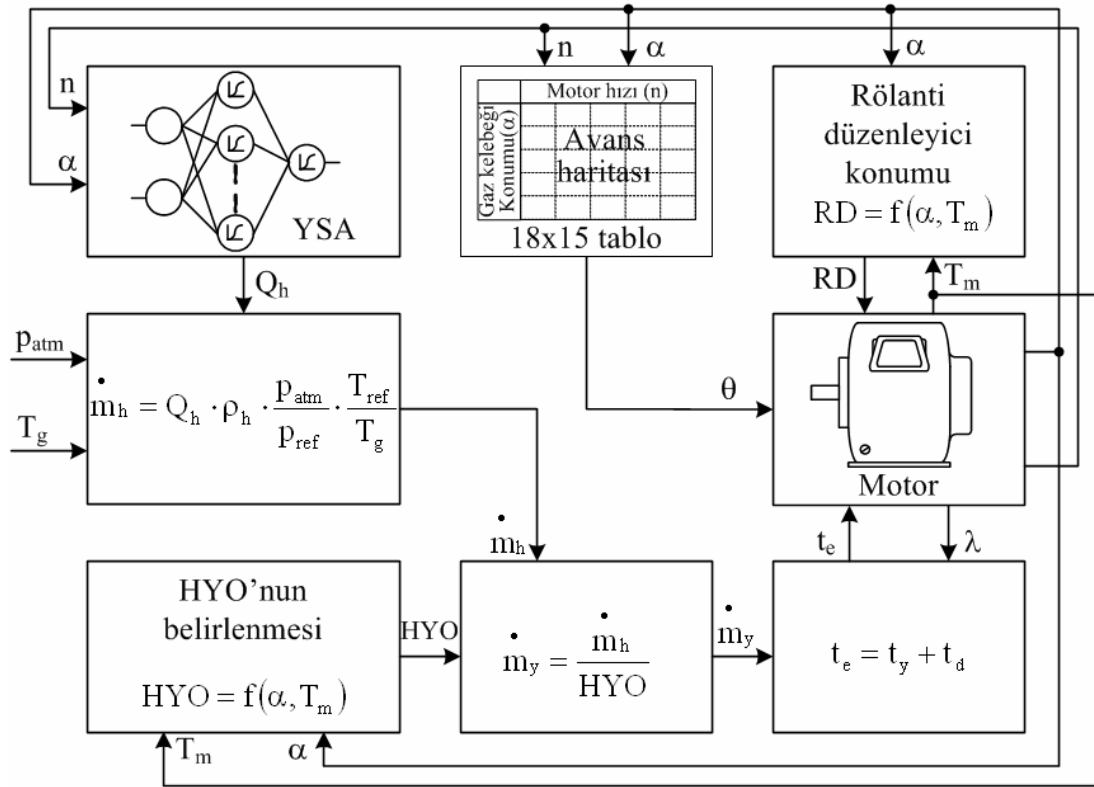
Yakıt enjeksiyon sistemli motorlarda, karbüratörlü sistemlerden farklı olarak gaz kelebeği kapalı konumda iken hava geçişini tamamen engeller. Karbüratörlü yakıt sistemlerinde ise gaz kelebeği kapalı konumda iken rölanti çalışmasını sağlayacak havanın alınabileceği bir boşluk bulunmaktadır. Yakıt enjeksiyonlu sistemlerde motorun rölanti çalışması sırasında ihtiyaç duyduğu hava miktarı, gaz kelebeğinin her iki tarafını birbirine bağlayan bir kanal ve bu kanalın açıklığını ayarlayan bir step motordan oluşan rölanti düzenleyici yardımıyla sağlanır. Bazı modellerde step motor yerine sadece açma kapama işlemi yapan bir selenoid bulunmaktadır. Bazı modellerde ise gaz kelebeğinin her iki tarafını birleştiren bir kanal bulunmayıp gaz kelebeğine müdahale eden bir selenoid bulunmaktadır. Ancak yaygın olarak kullanılan sistem step motorlu olandır.

Çalışmada rölanti düzenleyici step motorunun konumunun ayarlanmasında temel bir yaklaşım düşünülmüştür. Buna göre motor çalışma sıcaklığındayken ihtiyaç duyduğu hava miktarını sağlayan step motor konumu, step motorunun manüel ayarlanmasıyla deneysel olarak belirlenmiştir. Daha sonra motor sıcaklığı ve gaz kelebeği konumuna bağlı olarak oluşturulan temel bir fonksiyonla step motorunun konumu ayarlanmıştır. Step motorunun konumu motorun yağ sıcaklığı ve gaz kelebeğinin konumuyla ters orantılı değişecek şekilde ayarlanmıştır. Araçlarda bulunan elektronik kontrol üniteleri rölanti düzenleyicinin konumunun belirlenmesinde motor hız bilgisini de kullanmaktadır. Bu çalışmada rölanti düzenleyici konumunun belirlenmesinde motor hız bilgisi kullanılmamıştır. Kontrol yazılımında gerekli düzenlemeler yapılarak hız bilgisinin de hesaba katılması mümkündür.

4.13. Bilgisayar Yazılımı

Yakıt enjeksiyon sisteminin kontrolü için geliştirilen bilgisayar programı Microsoft Visual C# 2005 programlama dilinde yazılmıştır. Yazılımda National Instruments firmasının veri toplama kartı için sağlamış olduğu sürücüler kullanılmıştır.

Geliştirilen bilgisayar yazılımı temel olarak, yakıt enjeksiyon süresi, ateşleme avansı ve rölanti düzenleyicinin konumunu hesaplamaktadır. Ayrıca sensörlerden alınan bilgilerin gerçek zamanlı olarak görüntülenmesini sağlamaktadır. Yakıt enjeksiyon süresinin hesaplanmasında, motor hızı ve yüküne bağlı olarak YSA'dan hesaplanan hava tüketimi, giriş havası sıcaklığı ve atmosfer basıncı bilgileri kullanılmaktadır. Ateşleme avansı 15 x 18'lik bir tablo halinde bilgisayarda kayıtlı olan avans haritasından hesaplanmaktadır. Rölanti düzenleyici konumu ise motor sıcaklığı ve gaz kelebeği konumunun bir fonksiyonu olarak hesaplanmaktadır. Geliştirilen yakıt enjeksiyon sisteminin fonksiyonel blok diyagramı Şekil 4.32'de görülmektedir.

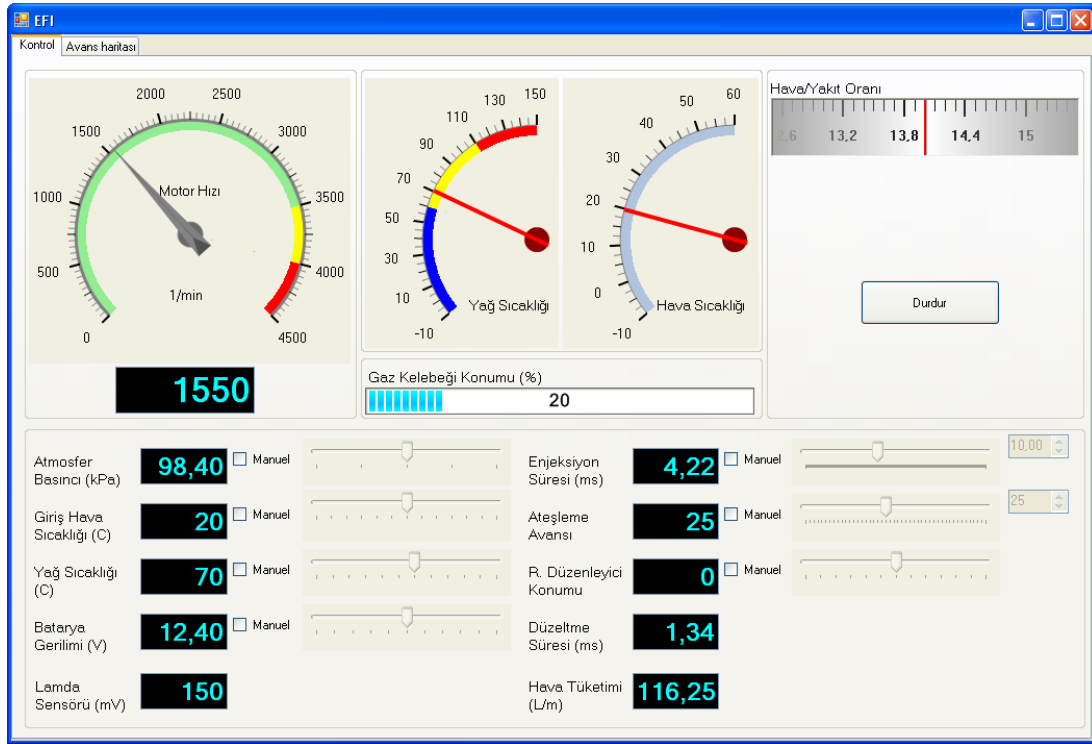


n : Motor hızı	p_{ref} : Referans basınç	t_y : Temel enjeksiyon süresi
α : Gaz kelebeği konumu	Q_h : Hava debisi	t_d : Düzeltme süresi
T_m : Motor sıcaklığı	ρ_h : Hava yoğunluğu	λ : HFK
T_g : Giriş havası sıcaklığı	$\dot{m}_h$: Hava kütlesi	RD : Rölanti düzenleyici konumu
p_{atm} : Atmosfer basıncı	$\dot{m}_y$: Yakıt kütlesi	θ : Ateşleme avansı
T_{ref} : Referans sıcaklık	t_e : Toplam enjeksiyon süresi	

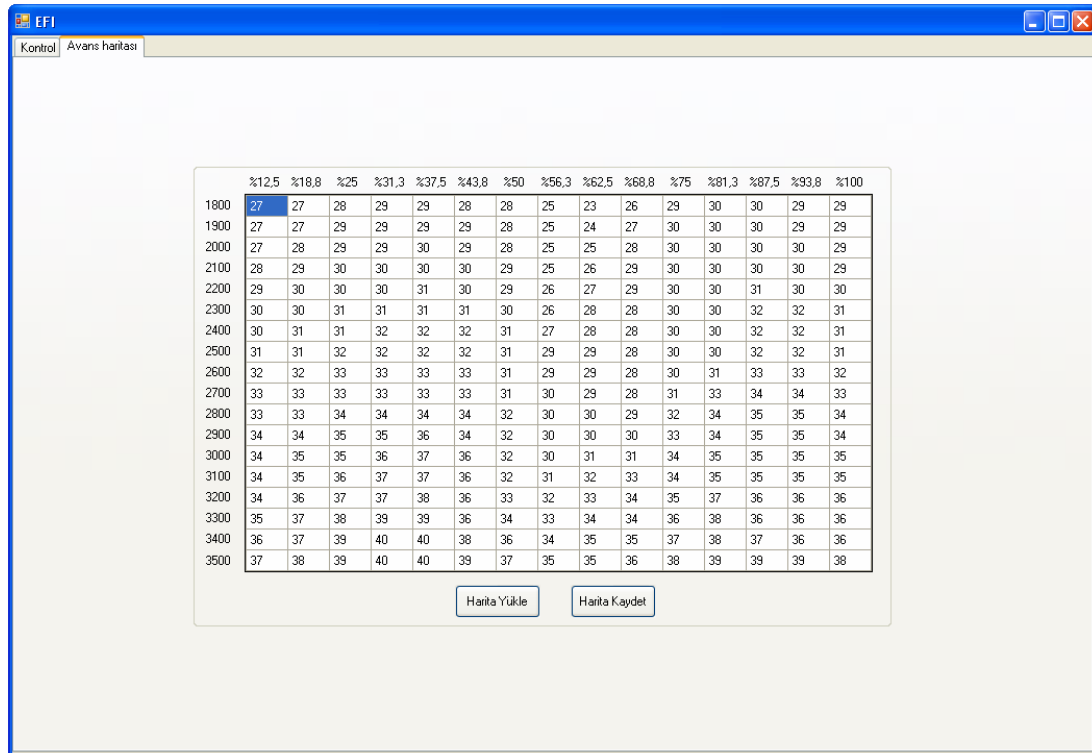
Şekil 4.32. Geliştirilen yakıt enjeksiyon sisteminin fonksiyonel blok diyagramı

Yazılımda, yakıt enjeksiyon süresi, ateşleme avansı ve rölanti düzenleyici konumunun hesaplanması her ÜÖN sinyalinin alınmasından sonra yapılmaktadır. Enkoder tarafından ÜÖN sinyalinin üretilmesinden sonra yazılımda gerekli hesaplamaların yapılması ve sonuçların sürücü devreye gönderilmesi yaklaşık olarak 3,5 – 4 ms zaman almaktadır. Bu değer osiloskop yardımıyla ölçülmüştür. Bu sonuç geliştirilen bilgisayar kontrollü yakıt enjeksiyon sisteminin çalışma için ihtiyaç duyulandan daha kısa bir tepki süresine sahip olduğunu göstermektedir. Ölçülen bu süre üzerinde kullanılan bilgisayarın donanım özellikleri, performansı ve bilgisayar ile sürücü devre arasındaki iletişim hızı etkilidir.

Resim 4.15 ve Resim 4.16’da geliştirilen bilgisayar yazılımının çalışma ekranları görülmektedir.

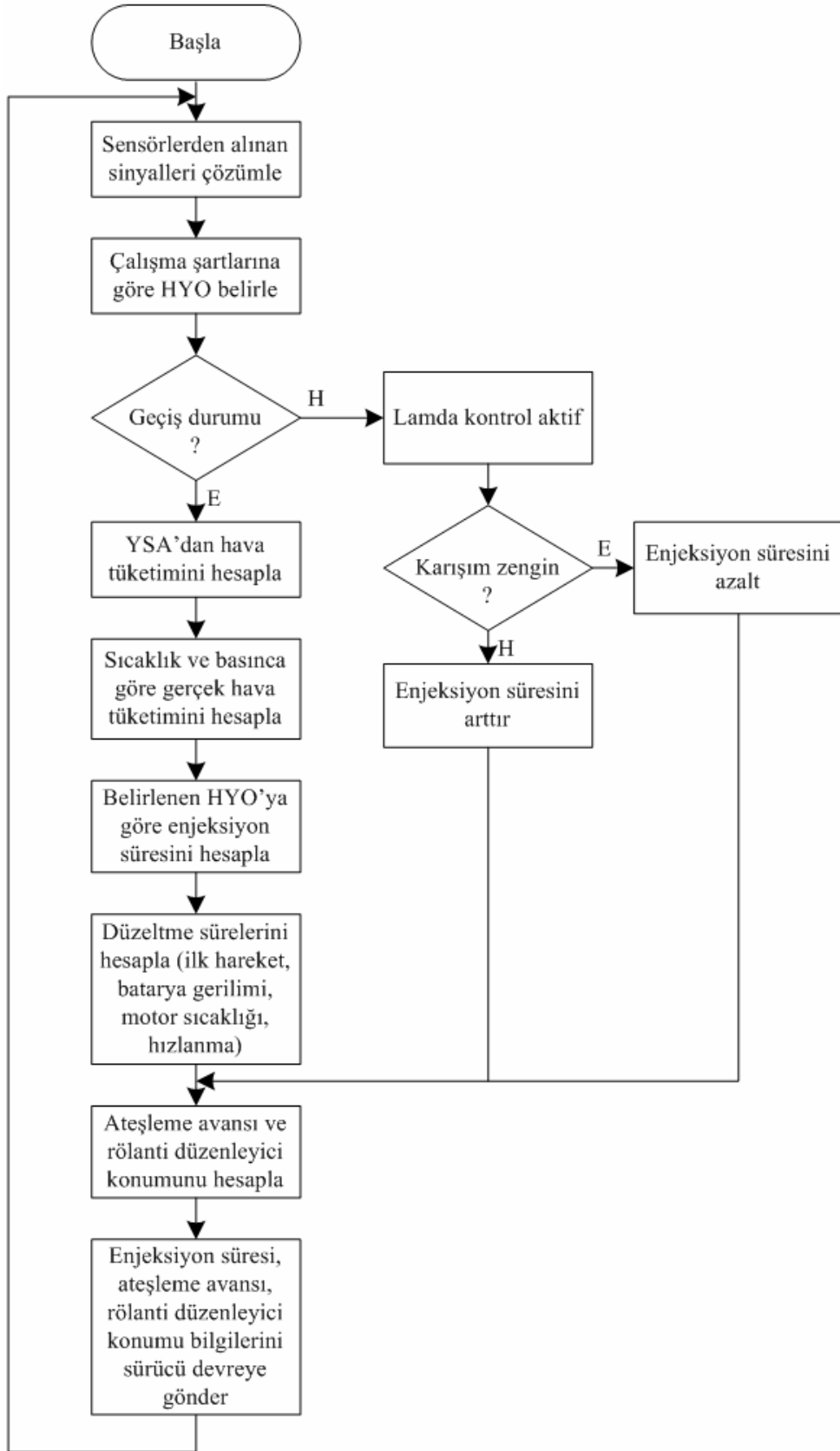


Resim 4.15. Bilgisayar yazılımı kontrol ekranı



Resim 4.16. Bilgisayar yazılımı avans haritası ekranı

Geliştirilen yazılımın eğitim amaçlı olarak kullanılabilmesi için sensörlerden alınan bilgilerin dışında istenildiğinde elle ayarlanan değerlerin kullanılması da sağlanmıştır. Yazılımın bu özelliği sayesinde yakıt enjeksiyon süresi üzerinde hangi parametrenin ne tür bir etkiye sahip olduğu incelenebilmektedir. Örneğin batarya gerilimi enjektörün gecikme süresini etkilediği için enjeksiyon süresi üzerinde doğrudan bir etkisi vardır. Batarya gerilimini değiştirmenin nasıl bir etkisinin olduğu bu değerin elle ayarlanması ile rahatlıkla gözlenebilir. Yazılımda hangi parametre elle ayarlanmak isteniyorsa yanında bulunan “Manüel” kutucuğu işaretlendiğinde artık o sensörden gelen bilgiler değil elle girilen sayısal değer geçerli olacaktır. Yazılımda bu şekilde elle ayarlanabilen parametreler, atmosfer basıncı, giriş hava sıcaklığı, yağ sıcaklığı, batarya gerilimi, enjeksiyon süresi ve ateşleme avansıdır. Geliştirilen bilgisayar yazılımına ait akış şeması Şekil 4.33’te görülmektedir.



Şekil 4.33. Bilgisayar yazılımının akış şeması

4.14. Geliştirilen Yakıt Enjeksiyon Sistemiyle Yapılan Deneysel Çalışmalar

Geliştirilen yakıt enjeksiyon sisteminin motor performansı, yakıt tüketimi ve emisyonlar üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla içten yanmalı motorlar laboratuvarında tam yük ve kısmi yük deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca deney motorunun avans ayar karakteristikleri de çıkarılmıştır. Deneyler motor çalışma sıcaklığına ulaştıktan sonra gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar deney motorunun karbüratörlü yakıt sistemiyle yapılan tam yük ve kısmi yük deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

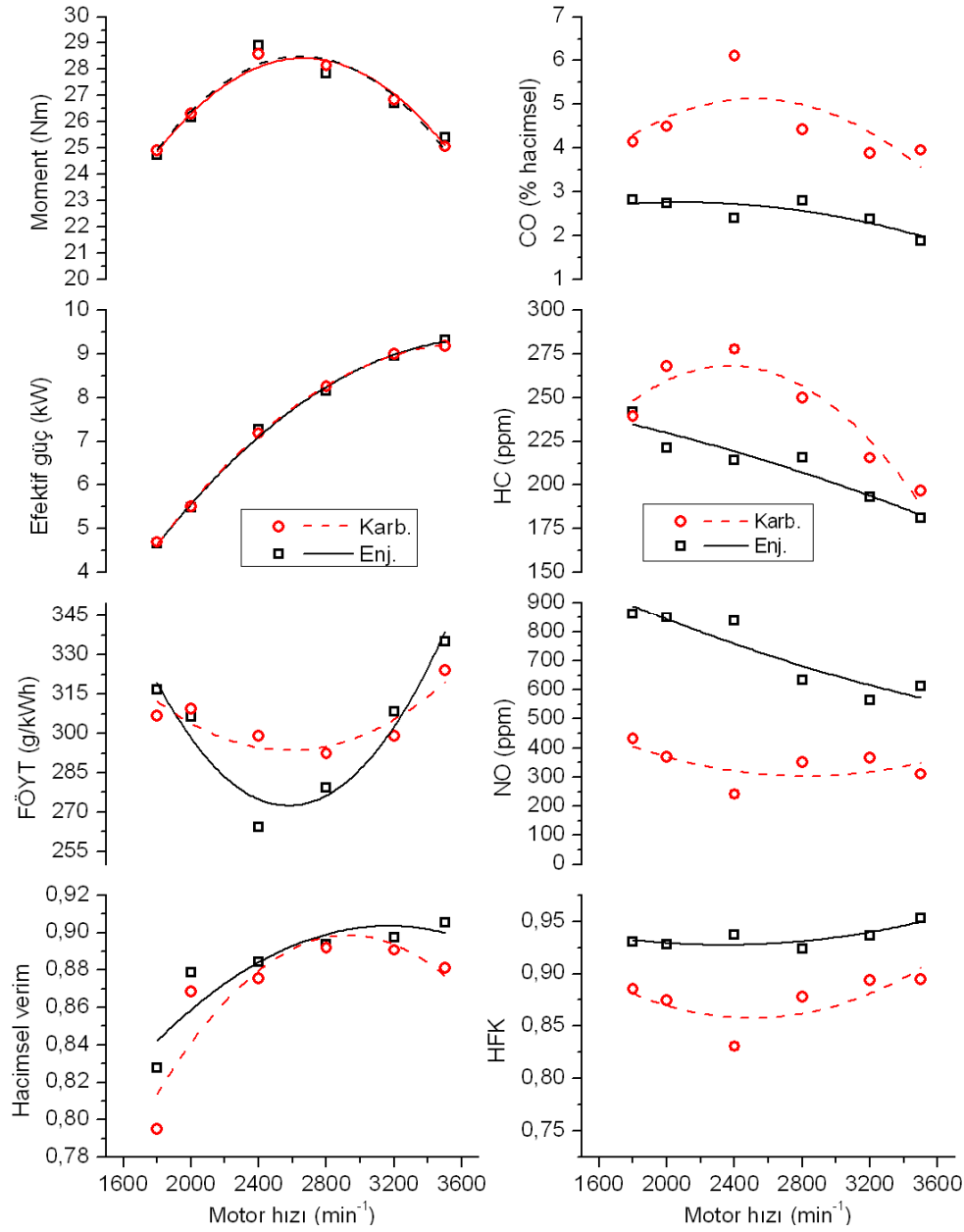
4.14.1. Tam yük deneyleri

Deney motorunun karbüratörlü yakıt sistemi ve geliştirilen yakıt enjeksiyon sistemiyle yapılan tam yük deneylerinin sonuçları grafikler halinde Şekil 4.34'te görülmektedir. Deney motorunun moment ve gücünde yakıt enjeksiyonlu sistem ve karbüratörlü sistem arasında önemli bir fark gözlenmemiştir. Bu sonuçlar emisyon değerleriyle birlikte incelendiğinde yakıt enjeksiyon sistemiyle yapılan deneylerde herhangi bir performans kaybı olmadan daha fakir bir karışımla çalışma yapılabildiği görülmektedir. Tam yük çalışmasında motordan daha fazla güç alınabilmesi için yakıt enjeksiyon sisteminin HFK değerini 0,9–0,95 arasında tutması sağlanmıştır.

CO ve HC emisyonlarında önemli oranda iyileşme sağlanmıştır. NO emisyonu ise yakıt enjeksiyonlu sistemde daha yüksek çıktığı görülmektedir. Bu durum yakıt enjeksiyon sistemli çalışmada HFK'nın 1'e daha yakın değerlerde tutulmasından kaynaklanmaktadır. HFK'nın 1'e yaklaşması sonucu yanma sonu oluşan sıcaklığın ve O₂ miktarının artmasına bağlı olarak NO emisyonunun artması beklenen bir sonuçtur. Bu durum HFK'nın emisyonlara etkisinin gösteren Şekil 2.2'deki grafikte de görülmektedir.

Şekil 4.34'te volümetrik verim grafikleri incelendiğinde yakıt enjeksiyon sistemli deneylerde volümetrik verimin daha yüksek çıktığı görülmektedir. Manifold kesiti volümetrik verime etki eden önemli bir parametredir. Yakıt enjeksiyon sistemlerinde

karbüratörlü sistemlerdeki gibi bir ventüriye ihtiyaç olmadığından manifold kesiti daha büyük yapılabilmekte ve verim artmaktadır.



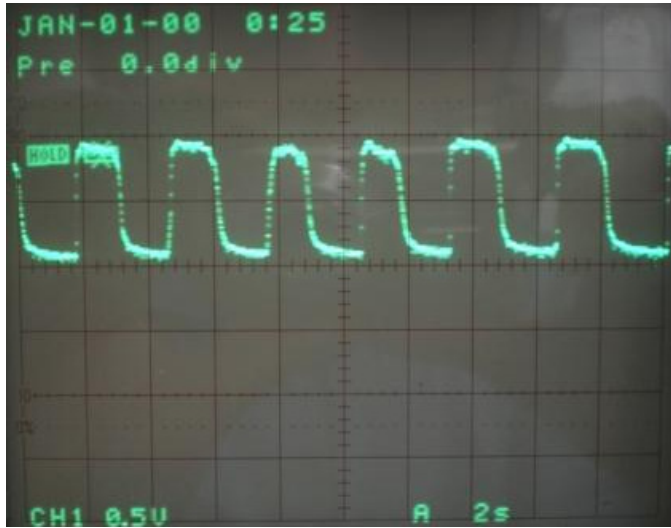
Şekil 4.34. Tam yük performans ve emisyon grafikleri

Yakıt tüketimi grafikleri karşılaştırıldığında yakıt enjeksiyon sistemli çalışmada motorun özgül yakıt tüketiminin genel olarak daha düşük olduğu yani motorun yakıt ekonomisinin iyileştiği görülmektedir. Motorun moment ve gücünde yakıt enjeksiyonlu sistem ile karbüratörlü sistem arasında önemli bir fark olmaması ve

yakıt enjeksiyonlu sistemde HFK' nin stokiyometrik orana daha yakın olması motorun yakıt ekonomisini iyileştirmiştir.

4.14.2. Kısmi yük deneyleri

Şekil 4.35, Şekil 4.36, Şekil 4.37, Şekil 4.38 ve Şekil 4.39'da sırasıyla 2000 min⁻¹, 2400 min⁻¹, 2800 min⁻¹, 3200 min⁻¹ ve 3500 min⁻¹ sabit motor hızlarında gerçekleştirilen kısmi yük deney sonuçları görülmektedir. Kısmi yüklerde motorun daha iyi bir yakıt ekonomisi sağlaması istenildiğinden HFK'nın 1'de tutulması sağlanmıştır. HFK'nın 1'de tutulması aktif lamda kontrolüyle gerçekleştirilmiştir. Yakıt enjeksiyon sistemli deneylerde kısmi yüklerde lamda kontrolü devrede olduğundan HFK'nın hassas bir şekilde stokiyometrik oranda tutulabildiği kısmi yük deney sonuçlarından da anlaşılmaktadır. Resim 4.17'de kısmi yük deneyleri sırasında lamda sensörü çıkışından alınan osiloskop görüntüsü görülmektedir.



Resim 4.17. Kısmi yük çalışması sırasında lamda sensör çıkışı

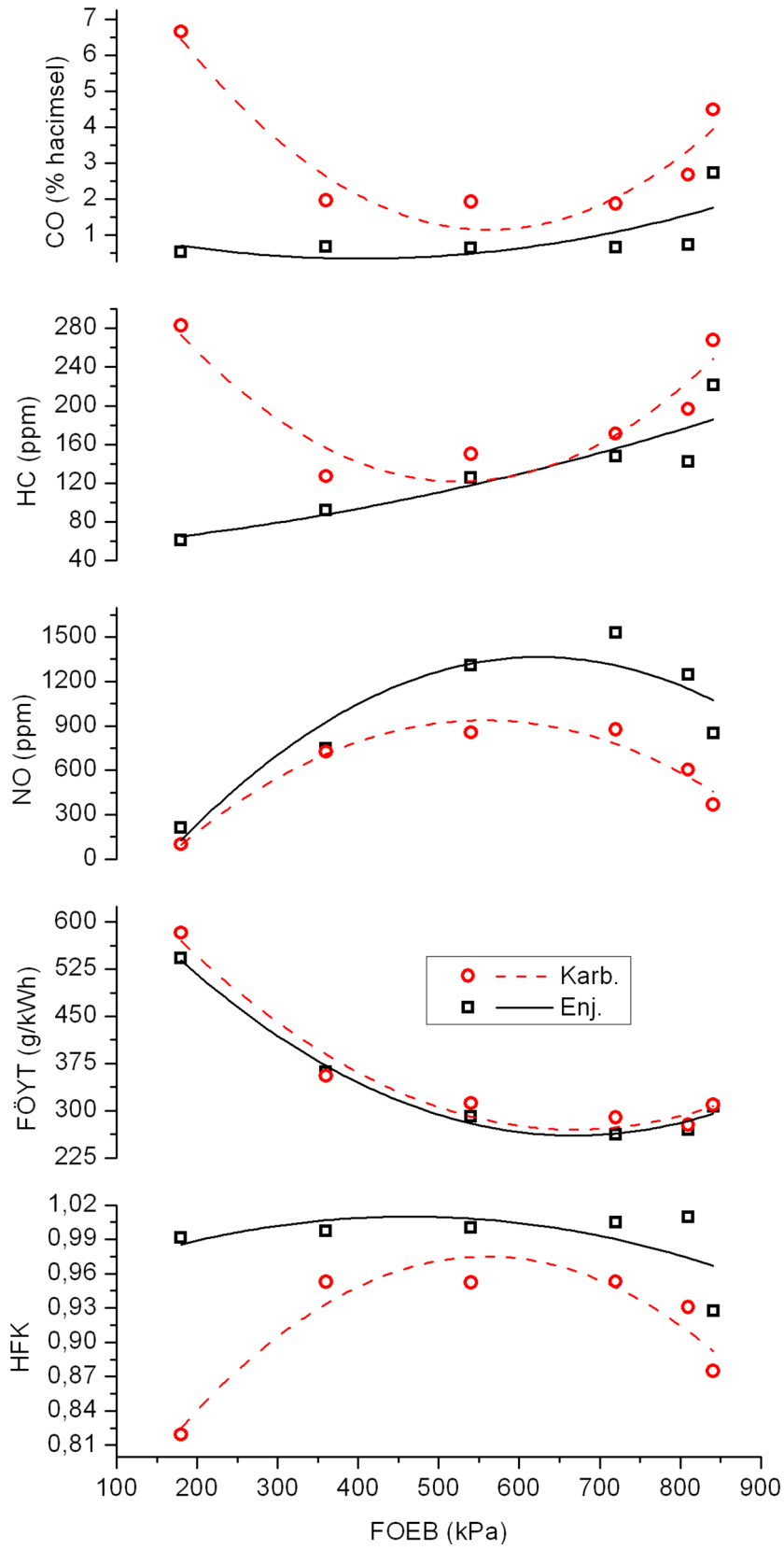
Tam yük çalışmasında motordan daha fazla güç elde edebilmek için silindire alınan hava-yakıt karışımının zengin olması sağlanmıştır. Kısmi yük çalışmasındaki tüm motor hızlarında yaklaşık 900 kPa FOEB değerlerinde HFK'nın yaklaşık 0,9 bölgesinde olduğu grafiklerden görülmektedir. Çünkü bu noktada motordan en yüksek gücün alınabilmesi için HFK yazılım tarafından 0,9'a ayarlanmıştır.

Kısmi yük deney sonuçları incelendiğinde CO emisyonunun daha çok HFK'ya bağımlı olduğu görülmektedir. Karışımın zenginleşmesi yani HFK'nın 1'den küçük olması durumunda CO emisyonu artmaktadır. Bu durum karışımın zengin olması durumunda yanma odasında tam yanmanın gerçekleşmesi için yeterli miktarda O₂ bulunmamasından kaynaklanmaktadır. HC emisyonunun hem yüke hem de HFK'ya bağlı olarak değiştiği görülmektedir. HC emisyonu yükün artmasına ve karışımın zenginleşmesine bağlı olarak artmıştır. NO emisyonu da yük ve HFK'ya bağlı olarak değişmiştir. NO emisyonu HFK'nın 1'e yaklaşmasıyla artış göstermiştir. Ayrıca motor yükünün yaklaşık 800 kPa olduğu bölgede NO emisyonu en yüksek değerine ulaşmıştır. Daha yüksek FOEB değerlerinde karışım zenginleştirildiği için NO emisyonu azalma eğilimi göstermiştir.

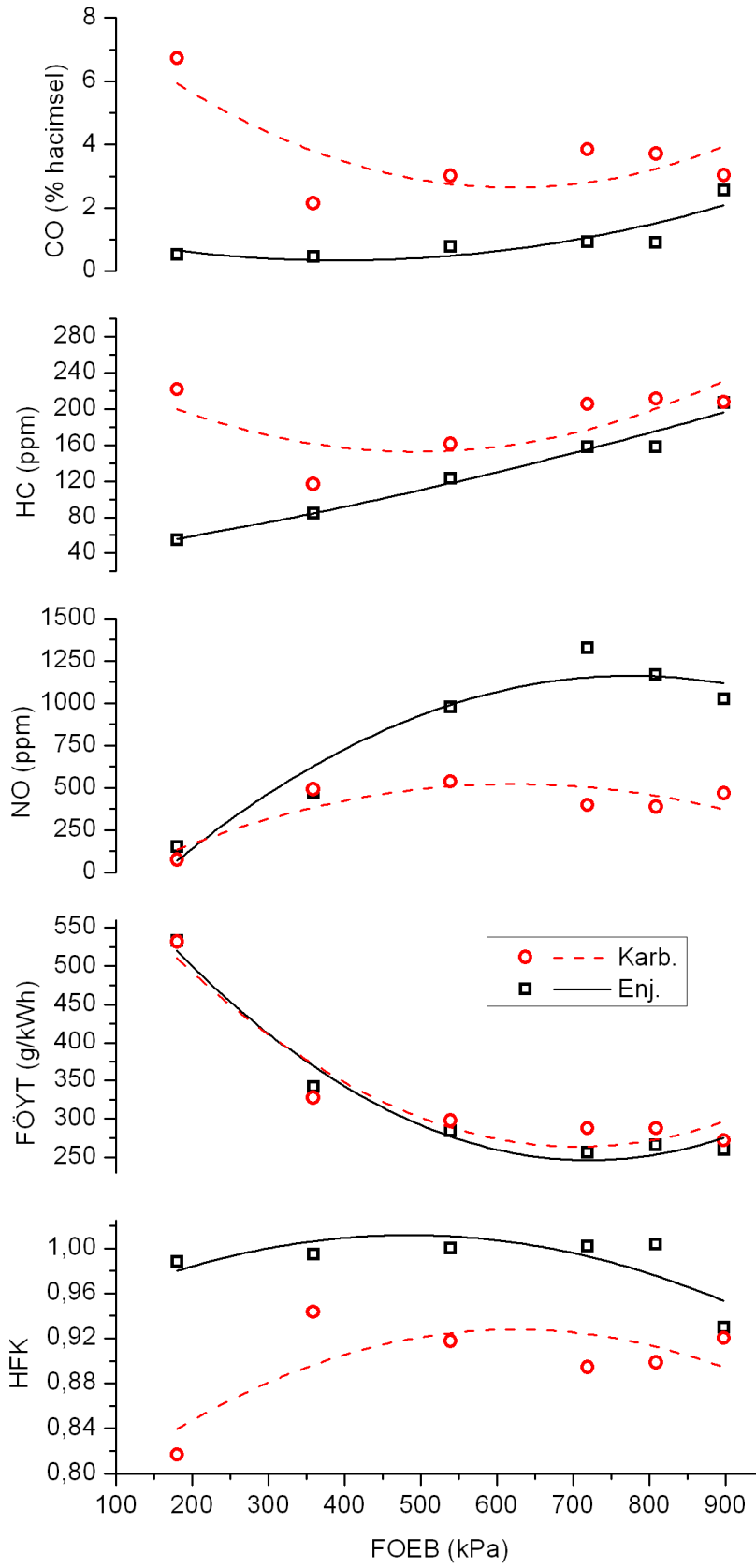
Çizelge 4.3'te karbüratörlü ve yakıt enjeksiyon sistemli kısmi yük deneylerinden elde edilen sonuçların ortalama değişimleri görülmektedir. Çizelge 4.3'te negatif değerler yüzde olarak azalmayı, pozitif değerler ise yüzde olarak artışı ifade etmektedir. Kısmi yük deney sonuçlarına göre CO ve HC emisyonlarında önemli ölçüde iyileşme sağlanmış, NO emisyonunda ise HFK'nın 1'de tutulması nedeniyle artış görülmüştür. CO emisyonunda en çok azalmanın 3500 min⁻¹ kısmi yükte, HC emisyonunda en çok azalmanın 2000 min⁻¹ kısmi yükte, NO emisyonundaki en çok artışın ise 3500 min⁻¹ kısmi yükte gerçekleştiği görülmektedir. Fren özgül yakıt tüketimi grafikleri incelendiğinde yakıt enjeksiyonlu sistemin karbüratörlü sistemden daha ekonomik çalıştığı anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.3. Kısmi yük çalışmalarında enjeksiyon sisteminin karbüratörlü sisteme göre sağladığı değişimler

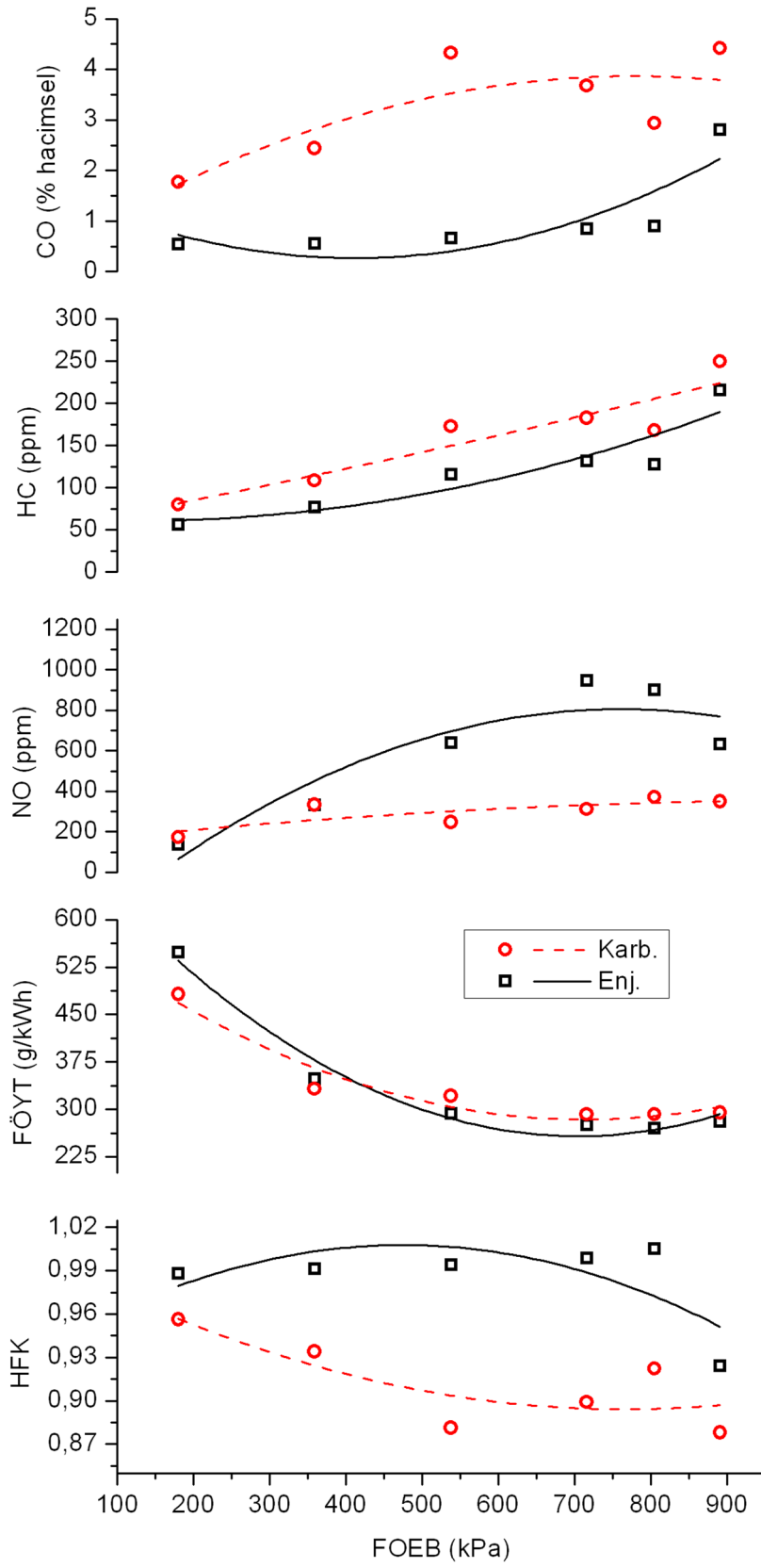
	2000 min ⁻¹	2400 min ⁻¹	2800 min ⁻¹	3200 min ⁻¹	3500 min ⁻¹
CO (% vol.)	- % 67,1	- % 68,7	- % 69,1	- % 66	- % 75,6
HC (ppm)	- % 30,2	- % 29,1	- % 26,3	- % 17,3	- % 25,1
NO (ppm)	% 80	% 122,6	% 93,8	% 85,2	% 129,4



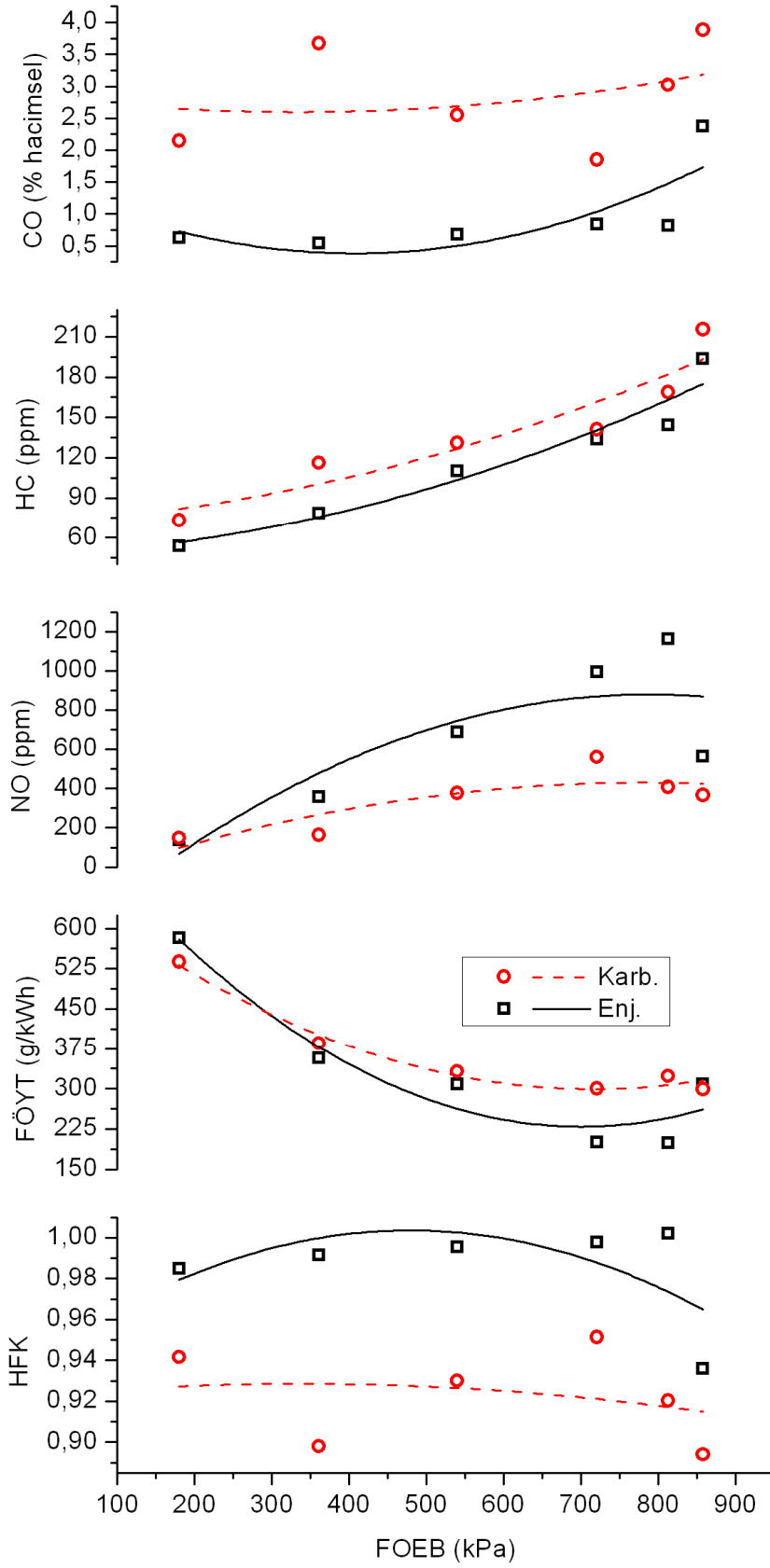
Şekil 4.35. 2000 min⁻¹ sabit hızda yüke bağlı emisyon ve FÖYT grafikleri



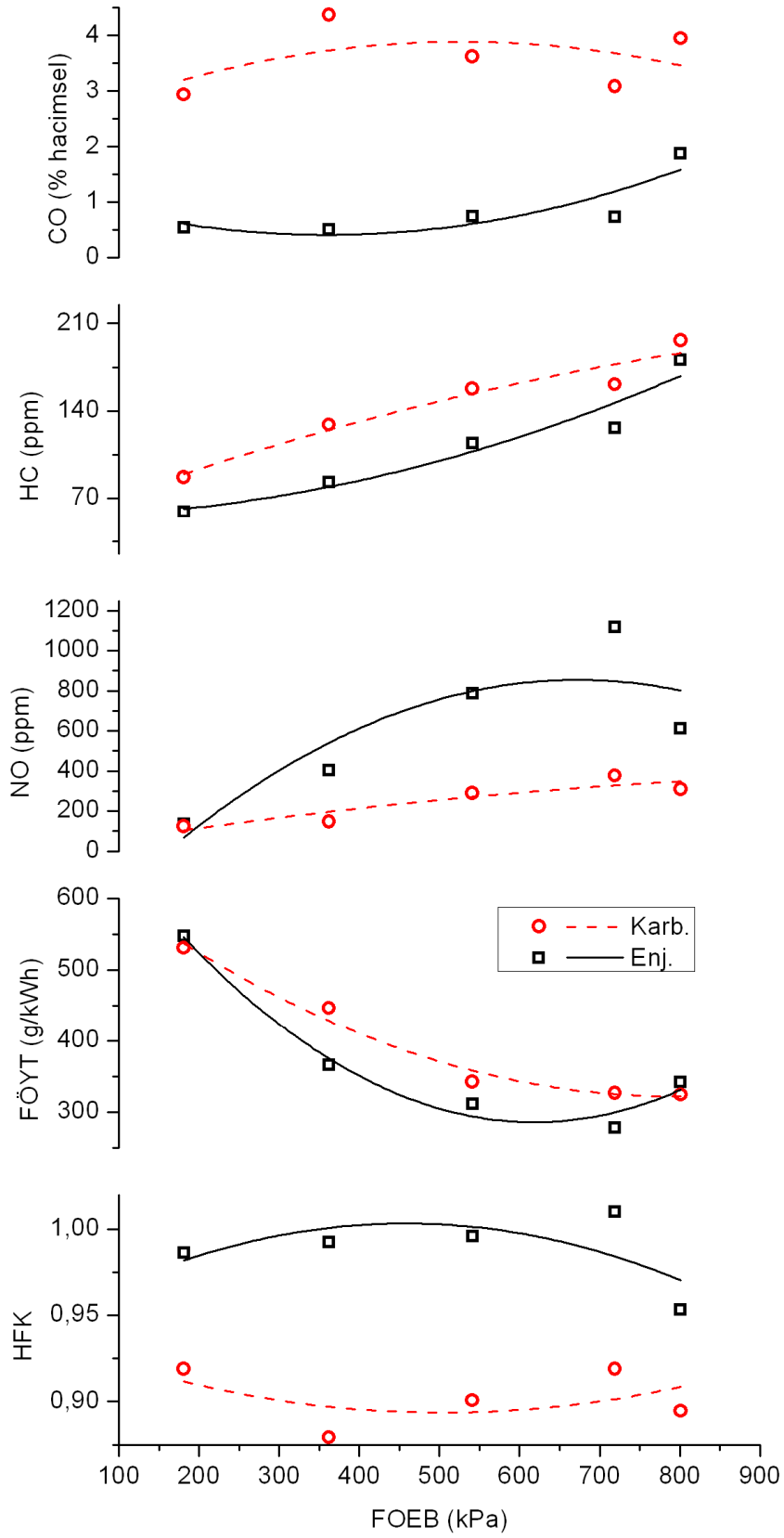
Şekil 4.36. 2400 min⁻¹ sabit hızda yüke bağlı emisyon ve FÖYT grafikleri



Şekil 4.37. 2800 min⁻¹ sabit hızda yüke bağlı emisyon ve FÖYT grafikleri



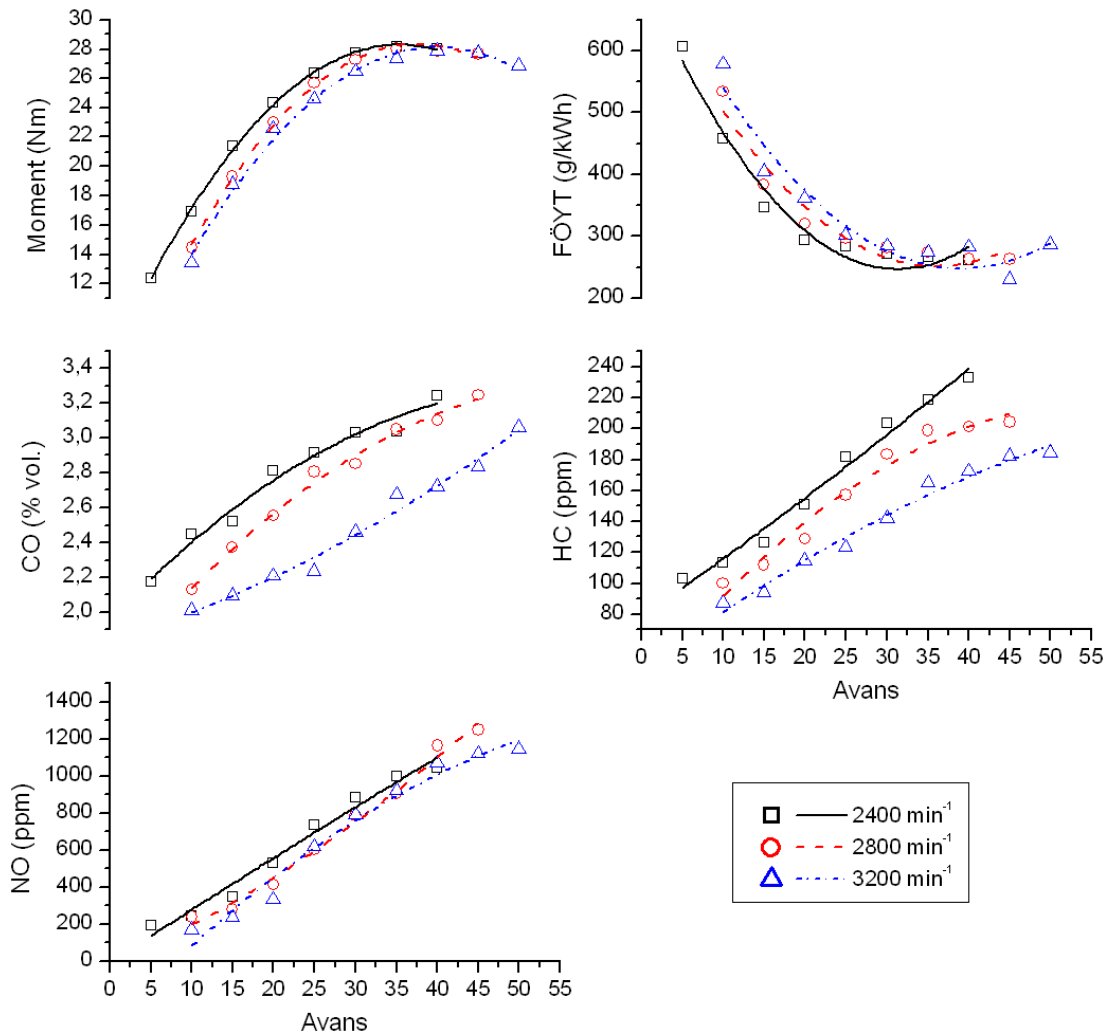
Şekil 4.38. 3200 min⁻¹ sabit hızda yüke bağlı emisyon ve FÖYT grafikleri



Şekil 4.39. 3500 min⁻¹ sabit hızda yüke bağlı emisyon ve FÖYT grafikleri

4.14.3. Avans ayar karakteristikleri

Deney motorunun tam yükte, 2400 min^{-1} , 2800 min^{-1} ve 3200 min^{-1} sabit hızlarda avans ayar karakteristikleri çıkarılmıştır. Şekil 4.40'da elde edilen avans ayar karakteristikleri görülmektedir.



Şekil 4.40. 2400 min^{-1} , 2800 min^{-1} , 3200 min^{-1} sabit hızlarda ateşleme avansının performans, emisyonlar ve FÖYT üzerine etkileri

Motor momenti belli bir avans değerine kadar artış göstermekte daha sonra düşüşe geçmektedir. Momentin en yüksek olduğu değerde belli bir avans aralığında (bu noktadan itibaren birkaç derecelik avans artışında) çok ciddi bir değişim olmadığı görülmektedir. Bu durum literatürde en yüksek momenti sağlayan en düşük ateşleme

avansı ifadesi ile açıklanmaktadır. Ateşleme avansının motor momenti belli bir değere ulaştıktan sonra artırılmaya devam edilmesi momentte önemli bir artışa neden olmazken vuruntulu çalışma eğilimini arttırmaktadır. Bu nedenle en iyi momenti sağlayan en düşük ateşleme avansı o şartlar için uygun ateşleme avansı olarak kabul edilir. En yüksek momentin elde edildiği ateşleme avansının motor hızına bağlı olarak artış gösterdiği de grafiklerden görülmektedir. FÖYT ise momentin en iyi olduğu ateşleme avansı değerinde en düşük değerine ulaşmıştır. Motorun çalışma şartlarında herhangi bir değişiklik olmaması nedeniyle yakıt tüketimi aynı kalmakta ve FÖYT motor momentinin ve gücünün artmasıyla azalmaktadır. CO, HC ve NO emisyonlarında ateşleme avansına bağlı olarak artışın olduğu görülmektedir. CO ve HC emisyonları motor hızına bağlı olarak azalma göstermiş, NO emisyonunda ise önemli bir değişim gözlenmemiştir.

5. GELİŞTİRİLEN SİSTEMİN EĞİTİM AMAÇLI KULLANILMASI

Bu bölümde geliştirilen yakıt enjeksiyon sisteminin, konunun öğretiminde başarı ve kalıcılık üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yapılan deneysel çalışma açıklanmıştır.

5.1. Simülasyonlar

5.1.1. Simülasyonun tanımı

Genel anlamıyla simülasyon, gerçek sistemin yeteri kadar detaylarını içeren, parametrelerine müdahale edilebilir bir modelidir. Burada model, sistemin matematiksel eşdeğeri olabileceği gibi gerçeğine çok yakın bir benzeri de olabilir. Bu çalışmada geliştirilen sistem; gerçeğine çok yakın olması, gerçek sistemin çalışmasını açıklayan gerekli detayları içermesi ve çalışma parametrelerine müdahale edilebilir olması nedeniyle bir simülatördür. Simülasyon kavramıyla ilgili literatürde çok çeşitli tanımlamalar bulunmaktadır.

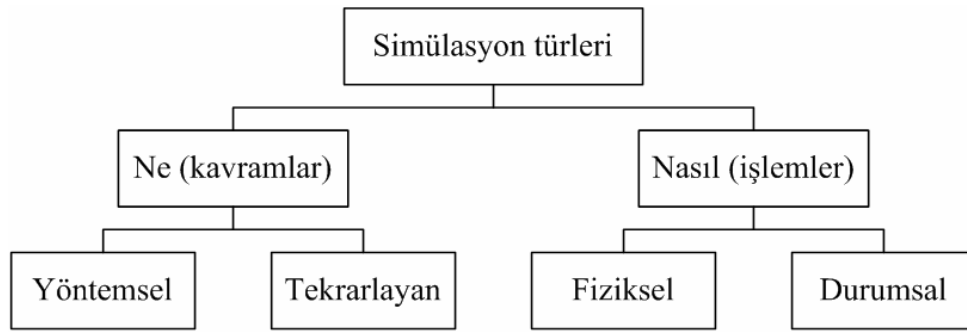
Halaç'a göre simülasyon, gerçek bir sistemin modelini tasarlama süreci ve bu model üzerinde sistemin işleyişini anlama veya değişik stratejileri değerlendirmek amacı ile denemeler yapmaktır [80].

Erkut simülasyonu iki farklı şekilde tanımlamıştır. Erkut'un birinci tanımına göre bir sistemin simülasyonu, bu sistemi temsil edebilecek bir model oluşturma işlemidir. Bu model temsil ettiği sistem üzerinde yapılması çok pahalı olan veya mümkün olmayan işlemlerin yapılmasına olanak verir ve bu işlemlerin etkisi altındaki model incelenir. Bundan gerçek sistemin veya ona ait alt sistemlerin davranışları ile ilgili özellikler, tepkiler öngörülür. Erkut'un ikinci tanımına göre ise simülasyon, gerçek sistemin modelinin tasarlanması ve model ile sistemin işletilmesi amacına yönelik olarak, sistemin davranışını anlayabilmek veya değişik stratejileri değerlendirebilmek için deneyler yürütülmesi sürecidir [81].

Heinich ve arkadaşlarına göre simülasyon, bazı gerçek hayat koşulları veya süreçlerinin basitleştirilmesi veya soyutlaştırılmasıdır. Katılımcılar, simülasyonlarda genellikle simüle edilen ortamın elemanları veya diğer insanlarla kendilerini ilişkilendiren bir rol oynarlar [82].

5.1.2. Simülasyon türleri

Alessi ve Trollip simülasyonları yapılacak eğitimin amacına göre ne ve nasıl şeklinde iki kategoriye ayırmışlardır. Ne kategorisi fiziksel ve tekrarlayan simülasyonları, nasıl kategorisi ise yöntemsel ve durumsal simülasyonları kapsar. Şekil 5.1’de Alessi ve Trollip’e göre simülasyon türlerinin sınıflandırılması görülmektedir [83].



Şekil 5.1. Alessi ve Trollip’e göre simülasyon türleri

Fiziksel simülasyonlar, fiziksel bir nesne veya olayı temsil ederler. Fizik, biyoloji, mühendislik ve sosyal bilimler alanlarında uygulamaları vardır. İçten yanmalı motorlar, elektriğin iletilmesi, mantık devreleri mühendislik alanındaki uygulamalara örnek olarak verilebilir [83].

Tekrarlayan simülasyonlar, kullanıcının belli parametreleri değiştirerek tekrar çalıştırabildiği simülasyonlardır. Bu simülasyonların özelliği kullanıcının sisteme müdahale edip sonucunu gözleyebilmesidir. Örnek olarak bir elektrik devresinin bilgisayar simülasyonu düşünüldüğünde kullanıcı devre elemanlarının değerlerini değiştirip simülasyonu tekrar tekrar çalıştırabilir ve sistemin çalışmasına etkilerini inceleyebilir [83].

Yöntemsel simülasyonların amacı ise belli bir hedefi başarabilmek için yapılması gereken adımları öğretmektir. Yöntemsel simülasyonlara uçuş simülatörleri ve sürüş simülatörleri örnek verilebilir. Bir uçuş simülatöründe hedef simülasyonu yapılan uçak veya helikopterin uçurulmasıdır. Bu amaca belli işlem basamaklarının takip edilmesi ile ulaşılabilir [83].

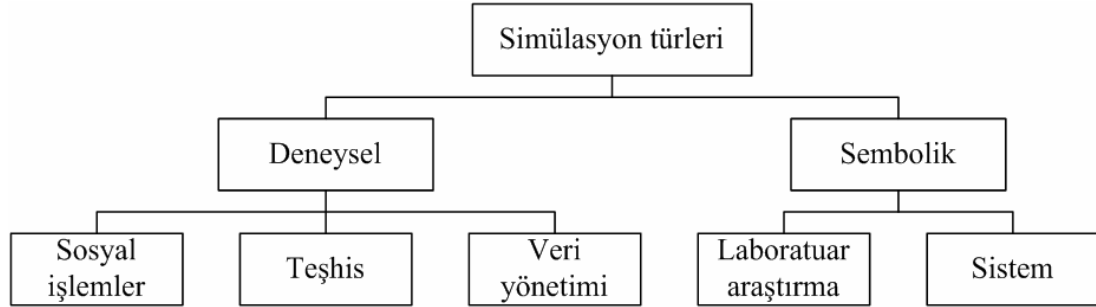
Durumsal simülasyonlar insan veya kuruluşların davranış ve tutumları ile ilgilidir. Yöntemsel simülasyonlardan farkı bu simülasyonlarda makine veya fiziksel sistemlerin davranışlarının değil insan veya kuruluşların davranışlarının esas alınmasıdır. Yani yöntemsel simülasyonlarda temsil edilen sistemin parametrelerine müdahale edilip etkileri incelenirken durumsal simülasyonlarda insanların veya kuruluşların maruz kaldıkları farklı durumlardaki davranış ve tepkileri incelenir. Anne baba eğitimi, yönetici eğitimi, öğretmen eğitimi örnek uygulama alanları arasında sıralanabilir [83].

Gredler simülasyonları katılımcıların rolü ve durumla karşılaşmasına bağlı olarak iki kategoriye ayırmıştır. Bunlar deneysel ve sembolik simülasyonlardır [84].

Deneysel simülasyonlar mesleki rol türü ve nedensel modelin doğasına göre üçe ayrılmıştır. Bunlar, sosyal işlemler, teşhis ve veri yönetim simülasyonlarıdır. Sosyal işlemlerde farklı eylemler için ihtimaller senaryo ve rol tanımlamalarının içine yerleştirilmiştir. Teşhis veya hasta yönetim simülasyonu gerçek dünyada yapılması beklenen uygun kararlar desenidir. Veri yönetim simülasyonlarında ise takımlar iş veya finans kuruluşlarını yönetirler [84].

Sembolik simülasyonların en önemli karakteristiği, öğrencinin bir araştırmacı veya keşfedici görevini gerçekleştirmesi ve sistemin değişkenleri arasında kendi kavramsal modelini test edebilmesidir. Sembolik benzetimde öğrenci sistemin bir elemanı değildir. Sembolik simülasyonlar laboratuvar araştırma simülasyonu ve sistem simülasyonu olmak üzere ikiye ayrılır. Laboratuvar araştırma simülasyonunda öğrenci araştırmacı görevini yerine getirir. Sistem simülasyonunda ise öğrencinin vazifesi hata çözücü olmaktır. Bu amaçla öğrenci sistemdeki hataları analiz eder,

teşhis eder ve giderir. Şekil 5.2’de Gredler’e göre simülasyon türlerinin sınıflandırılması görülmektedir [84].



Şekil 5.2. Gredler’e göre simülasyon türleri

5.1.3. Simülasyonların avantajları

Simülasyonlar gerçek sistemlerle kıyaslandığında, güvenliği arttırması, gerçekte kazanılması kolay olmayan deneyimleri kazandırabilmesi, zamanı hızlandırıp yavaşlatabilmesi, nadiren görülen olayları sıklaştırabilmesi, öğrenim durumunun karmaşıklığını kontrol edebilmesi ve tasarruf sağlaması gibi avantajları vardır. Simülasyonlar diğer yöntemlere göre ise, isteği arttırma, bilgiyi transfer etme, verimlilik ve esneklik açılarından daha avantajlıdır [83].

Bir simülasyonun gereğinden fazla detaylar içermesi katılımcıların anlamasını güçleştireceği gibi sistemin anlaşılması için gerekli zamanı arttıracaktır. Tersi durumda oluşturulan model aşırı derecede basitleştirilmişse amacını yerine getirmede başarısız olabilir. İyi tasarlanmış bir simülasyon, sistemin amaçlarına doğrudan hitap eden unsurların güvenilir bir modelini oluşturur, basitleştirilen veya modellenen sistem hakkında öğretmen ve öğrencileri bilgilendirir [82].

5.1.4. Simülasyonlarla ilgili çalışmalar

Mühendislik eğitiminde, özellikle elektrik, elektronik ve makine alanlarında simülasyonların kullanılmasıyla ilgili çeşitli akademik çalışmalar bulunmaktadır.

Konuyla ilgili temel bir fikir vermesi bakımından söz konusu çalışmalardan bazıları aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Karakaş ve arkadaşı (2008), yaptıkları çalışmada, daimi mıknatıslı senkron motorlarının öğretimi için bilgisayar destekli bir eğitim sistemi geliştirmişlerdir. Sistem Matlab/Simulink'te oluşturulmuş bir simülasyon programından oluşmaktadır. Yapılan çalışma 16 kişilik bir test grubu üzerinde uygulanmış ve sonuçlar 15 öğrenciden oluşan bir kontrol grubuyla kıyaslanmıştır. Katılımcılar Kocaeli Teknik Eğitim Fakültesi son sınıf öğrencilerinden seçilmiştir. Her iki öğrenci grubu 7 haftalık bir eğitim programına tabi tutulmuştur. Öğrencilerin başarı durumunu ölçmek için çoktan seçmeli 23 sorudan oluşan bir test kullanılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre bilgisayar destekli eğitim metodu klasik metoda göre daha başarılı bulunmuştur [85].

Akçayol ve arkadaşları (2002), yaptıkları çalışmada fırçasız DC motorların bulanık mantık kontrolünün eğitimine yönelik bir eğitim aracı geliştirmişlerdir. Yapılan çalışmada fırçasız DC motorların matematiksel metodu kullanılarak bir simülasyon yazılımı geliştirilmiştir. Geliştirilen simülasyon yazılımında motor parametreleri ve bulanık mantık denetleyicisinin parametreleri değiştirilebilmektedir. Yapılan değişikliklerin sistem üzerindeki etkileri programdaki grafik pencerelerinden izlenebilmektedir [86].

Akdoğan ve arkadaşları (2004), yaptıkları çalışmada mekatronik eğitiminde kullanmak amacıyla mikrodenetleyicili bir adım motoru sürücü devresinin bilgisayarlı kontrolünü gerçekleştirmişlerdir. Yapılan sistem bilgisayar yazılımı ve sürücü devreden oluşmaktadır. Adım motorlarının yapısı ve kontrolünde kullanılan farklı tekniklerin etkileşimli eğitimi yapılan sistemle mümkün hale getirilmiştir [87].

Mills ve arkadaşı (1998), yaptıkları çalışmada eğitim amaçlı mikrodenetleyici kontrollü 3 fazlı bir konvertör devresi tasarlamışlardır. Tasarlanan mikrodenetleyicili devrenin RS-232 bağlantısı, LCD ekranı ve parametre ayarları için bir tuş takımı bulunmaktadır. Devrede 80C552 mikrodenetleyicisi kullanılmıştır [88].

Horn ve arkadaşı (2007), yaptıkları çalışmada araştırma ve eğitim amaçlı kullanılmak üzere programlanabilir bir fren test sistemi geliştirmişlerdir. Oluşturulan sistemde Volkswagen Golf II araçlardaki fren sistemi kullanılmıştır. Fren sisteminin kontrol ünitesi dSpace firmasının üretmiş olduğu MicroAutoBox PC tabanlı esnek prototip kontrol ünitesiyle değiştirilmiştir. Çalışmada bu kontrol ünitesinin en önemli avantajının uygulamalarının doğrudan Matlab/Simulink ortamından oluşturulabilir olduğu belirtilmiştir. Yapılan bu sistemle taşıt fren sistemiyle ilgili bütün parametrelerin ayarlanması mümkün olmuştur. Ayrıca farklı kontrol tekniklerinin uygulanması ve parametrelerin fren performansı üzerindeki etkilerinin deneysel olarak incelenmesi sağlanmıştır [89].

Kostov ve arkadaşları (2007), yaptıkları çalışmada anahtarlama mod güç kaynaklarının laboratuvar eğitiminde kullanılmak üzere bir araç geliştirmişlerdir. Yapılan sistem IGBT modülü, denetleyici kart ve kullanıcı arabiriminden oluşturulmuştur. Yapılan laboratuvar çalışması, hazırlık, deneysel çalışmalar ve sonuç raporu bölümlerini içermiştir. İlk aşamada öğrenciler konuyla ilgili araştırmalar yaparak bir ön rapor yazmakta ve bu şekilde kendilerini hazırlamışlardır. İkinci aşamada danışman gözetiminde yapılan deneysel çalışmalarda öğrenciler konvertör topolojilerini farklı çalışma frekansı ve modlarında uygulamış ve birtakım ölçümler almışlardır. Çalışmanın son aşamasında deneysel çalışma sırasında elde ettikleri sonuçları, hazırlık safhasındaki teorik bilgilerle kıyaslayarak bir sonuç raporu yazmışlardır. Yapılan bu eğitim aracı Helsinki Teknoloji Üniversitesinde 2006 güz döneminde Güç Elektroniği dersini alan öğrencilere uygulanmıştır. Yapılan laboratuvar sınavı sonuçları çalışmanın başarılı olduğunu göstermiştir. Ayrıca öğrencilerden alınan geri bildirimler sistemin konunun teorisinin anlaşılmasında faydalı olduğu yönünde olmuştur [90].

Garip (2008), yaptığı çalışmada elektrik üretmek amacıyla kullanılan alternatörlerin paralel bağlantısını gerçekleştirecek mikrodenetleyici tabanlı eğitim amaçlı bir sistem geliştirmiştir. Sistem laboratuvar ortamında bulunan iki alternatör ve bu alternatörlerin paralel bağlantısını gerçekleştirmek üzere geliştirilmiş olan donanımdan oluşmaktadır. Geliştirilen deney seti bağlantı için gerekli şartları

sağladıktan sonra paralel bağlantıyı gerçekleştirmektedir. Geliştirilen sistemle öğrenciler alternatörlerin paralel bağlantısını adım adım takip edebilmekte ve sistemde meydana gelebilecek muhtemel hataları izleyebilmektedirler. Sistemin eğitimde kullanılması durumunda etkilerini belirlemek amacıyla 83 kişilik bir öğrenci grubuna geleneksel paralel bağlanma deney seti ve geliştirilen sistem üzerinde eğitim verilmiş ve deneyler yaptırılmıştır. Eğitim uygulamasından sonra öğrencilere 14 çoktan seçmeli sorudan oluşan bir anket uygulanarak sonuçları değerlendirilmiştir. Anket sonuçlarına göre geliştirilen sistemin konunun öğretiminde kullanılması halinde önemli katkıları olacağı yönünde sonuca ulaşılmıştır [91].

Taşkın (2007), yaptığı çalışmada MPS modüler üretim sisteminin bilgisayar destekli gerçek zamanlı kontrolünü gerçekleştirmiş ve teknik eğitime uygulamıştır. MPS, endüstriyel otomasyon sistemlerinin eğitimine yönelik modüler bir üretim sistemidir. Yapılan çalışmada MPS’de bulunan elemanların işleyiş ve çalışma mantığını ortaya koyacak görsel kullanıcı ara yüzleri oluşturulmuştur. Oluşturulan ara yüzler ve gerçek zamanlı kontrol yazılımı LabVIEW programında geliştirilmiştir. Geliştirilen kontrol sistemi ile Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Mekatronik Eğitimi Bölümü 2005–2006 öğretim yılı 3. sınıf öğrencilerinden oluşturulan deney grubuna eğitim verilmiştir. Aynı dönem öğrencilerinden oluşturulan kontrol grubuna da mevcut MPS sistemiyle eğitim verilmiştir. Yapılan çalışmada öğrencilere ön test, son test ve kalıcılık testi uygulanmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre geliştirilen MPS modeliyle öğretimin uygulandığı deney grubu öğrencileri mevcut MPS ile öğretimin uygulandığı kontrol grubundan %33 oranında daha başarılı bulunmuştur [92].

Şen (2007), yaptığı çalışmada endüstri meslek liselerinin elektronik bölümlerinde Atölye ve Laboratuvar Uygulamaları dersinde “Temel Lojik Kapılar” konusunun eğitiminde PROTEUS benzetim yazılımı kullanılmasının akademik başarı üzerindeki etkilerini ve öğrencilerin yazılımla ilgili görüşlerini tespit etmiştir. Çalışma Bolu Mudurnu Çok Programlı Lisesi 10. sınıfta öğrenim görmekte olan 16 kişilik öğrenci grubu üzerinde gerçekleştirilmiştir. 16 kişilik öğrenci grubundan 8’er öğrenciden oluşan deney ve kontrol grupları oluşturulmuştur. Deney grubuna PROTEUS benzetim yazılımı kullanılarak, kontrol grubuna ise geleneksel deney yöntemiyle

haftada dört saat olmak üzere dört hafta süreyle eğitim uygulanmıştır. Çalışmanın sonunda uygulanan başarı testi sonuçlarına göre deney grubu kontrol grubundan daha başarılı bulunmuştur. Ayrıca öğrencilerin çalışmanın sonunda sorulan görüşme sorularına verdikleri cevaplar yorumlanmıştır. Buna göre öğrenciler bilgisayar ortamında yapılan öğretim ile hatalarını daha kolay anlayıp düzeltebildiklerini, özgüvenlerinin arttığını, deneyleri daha kısa sürede yapılabildiklerini, özellikle yüksek gerilim uygulamalarında çarpılma riskinin olmadığını, maliyetin daha düşük olduğunu ve geleneksel laboratuvar ortamında karşılaşılmaması muhtemel olan eksik malzeme probleminin bulunmadığını belirtmişlerdir [93].

5.2. Problem Cümlesi

Bu çalışmada geliştirilen bilgisayar kontrollü yakıt enjeksiyon sisteminin, yakıt enjeksiyon sistemleri konusunun öğretiminde öğrencilerin başarısını etkileme ve öğrenilenlerin kalıcılığını sağlama bakımından anlamlı bir farka sebep olup olmadığı bu araştırmanın temel problemidir.

5.3. Çalışmanın Amacı

Bu araştırmanın amacı uygulama ağırlıklı eğitim veren Teknik Eğitim Fakültelerinin Otomotiv Anabilim Dallarında Motor Bakım ve Ayarları dersinde yakıt enjeksiyon sistemleri konusunun öğretiminde; geliştirilen bilgisayar kontrollü yakıt enjeksiyon sisteminin kullanılmasının öğrenci başarısı ve öğrenilenlerin kalıcılığı üzerindeki etkisini belirlemektir. Bu amaçla aşağıdaki hipotezler test edilecektir;

Hipotez 1: Geliştirilen yakıt enjeksiyon sistemi kullanılarak öğretimin uygulandığı deney grubu ile geleneksel öğretimin uygulandığı kontrol grubunun başarı testi puanları arasında anlamlı bir fark yoktur.

Hipotez 2: Geliştirilen yakıt enjeksiyon sistemi kullanılarak öğretimin uygulandığı deney grubu ile geleneksel öğretimin uygulandığı kontrol grubunun kalıcılık testi puanları arasında anlamlı bir fark yoktur.

5.4. Çalışmanın Önemi

Bu çalışma, geliştirilen bilgisayar kontrollü yakıt enjeksiyon sisteminin konunun öğretiminde kullanılması halinde öğrenci başarısı ve kalıcılık üzerine etkilerini ortaya koymaktadır.

Ayrıca bu çalışma bir öğretim yöntemi olarak simülasyonun geleneksel yöntemle kıyasla öğrenci başarısı ve kalıcılık üzerine etkilerini ortaya koyan bir çalışmadır.

Yapılan bu çalışma ile mühendislik eğitiminde simülasyonların kullanılmasının önemine ve sağladığı katkılara dikkat çekilmektedir.

Çalışmada elde edilen sonuçlar bu alanda eğitim veren öğretim elemanlarına ve öğretmenlere yol gösterici nitelikte olacaktır. Ayrıca çalışma konuyla ilgili kısıtlı miktardaki literatüre de katkı sağlayacaktır.

5.5. Varsayımlar

Çalışmaların yapıldığı kontrol ve deney grubu öğrencilerinin eşit düzeyde giriş yeterliliklerine sahip oldukları varsayılmaktadır. Ayrıca kontrol altına alınamayan dış etkenlerin deney ve kontrol gruplarını aynı ölçüde etkilediği varsayılmaktadır.

5.6. Sınırlılıklar

Yapılan çalışma 2008–2009 eğitim öğretim yılı bahar döneminde Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Anabilim Dalı dördüncü sınıf sekizinci yarıyıl Motor Bakım ve Ayarları dersini alan öğrenciler ile sınırlıdır. Araştırma kapsamında hazırlanan başarı testi, izleme testi olarak da kullanılmıştır.

5.7. Yöntem

5.7.1. Araştırmanın modeli

Geliştirilen bilgisayar kontrollü yakıt enjeksiyon sisteminin öğrencilerin akademik başarısına ve öğrenilenlerin kalıcılığına etkisini incelemek amacıyla deneysel araştırma yöntemi kullanılmıştır.

Çalışmada, başarı testi ve kalıcılık testi kontrol gruplu deneysel model uygulanmıştır. Araştırma deseni bir deney ve bir kontrol grubundan oluşturulmuştur. Grupların seçimi rastgele atama yoluyla yapılmıştır. Deney grubu (G_1) öğrencilerine geliştirilen bilgisayar kontrollü yakıt enjeksiyon sistemi kullanılarak öğretim uygulanmış, kontrol grubuna (G_2) ise geleneksel yöntem kullanılarak öğretim uygulanmıştır. Yapılan uygulamalardan sonra deney ve kontrol grubuna son test (O) uygulanarak öğrencilerin başarıları ölçülmüştür. Son testten üç hafta sonra kalıcılığın ölçülmesi amacıyla aynı test izleme testi (O) olarak öğrencilere uygulanmıştır. Araştırma deseni Şekil 5.2’de görülmektedir.

			Başarı testi	İzleme testi
G_1	R	X_1	O	O
G_2	R	X_2	O	O

Şekil 5.3. Çalışmada kullanılan araştırma deseninin simgesel görünümü

Modelde kullanılan semboller:

G_1 : Bilgisayar kontrollü yakıt enjeksiyon sistemi ile öğretim yapılan deney grubu

G_2 : Bilgisayar kontrollü yakıt enjeksiyon sistemi kullanılmadan öğretim yapılan kontrol grubu

R: Grupların yansız bir biçimde oluşturulması (Rastgele seçim)

X_1 : Bilgisayar kontrollü yakıt enjeksiyon sisteminin kullanıldığı öğretim

X₂: Bilgisayar kontrollü yakıt enjeksiyon sisteminin kullanılmadığı öğretim (geleneksel öğretim)

O: Başarı ve izleme (kalıcılık) testi

5.7.2. Çalışmanın evren ve örnekleme

Çalışmanın evrenini Teknik Eğitim Fakültelerinin Otomotiv Anabilim Dallarında öğrenim görmekte olan dördüncü sınıf öğrencileri oluşturmaktadır. Örneklem ise Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Anabilim Dalı, 2008 – 2009 eğitim öğretim yılı bahar döneminde Motor Bakım ve Ayarları dersini alan iki ayrı öğrenci grubudur. Söz konusu dersi alan gruplardan biri 20 diğeri 25 öğrenciden oluşmaktadır. Mevcut bu iki gruptan rastgele seçim yapılmak suretiyle; 20 öğrenciden oluşan deney grubu, 25 öğrenciden oluşan kontrol grubu olarak seçilmiştir.

5.7.3. Değişkenler

Araştırmanın bağımsız değişkenleri bilgisayar kontrollü yakıt enjeksiyon sistemi destekli öğretim yöntemi ve geleneksel öğretim yöntemidir. Bağımlı değişkenler ise öğrenme başarısı ve kalıcılığıdır.

5.7.4. Veri toplama araçları

Yapılan çalışmada öğrencilerin başarısını ölçmek için yakıt enjeksiyon sistemleri konusunun amaçlarına uygun olarak bir test geliştirilmiştir. Geliştirilen test öğrenilenlerin kalıcılığının ölçülmesinde de kullanılmıştır. Konuyla ilgili uzman akademisyenlerle bir araya gelinerek yakıt enjeksiyon sistemleri eğitiminin hedefleri belirlenmiş ve bu hedefleri ölçen sorular hazırlanmıştır. Hazırlanan sorular her bir uzman tarafından ayrı ayrı incelenerek gerekli görülen değişiklikler yapılmıştır. Belirlenen hedefler ve bu hedefleri ölçen sorular Çizelge 5.1’de sunulmuştur.

Çizelge 5.1 Bilişsel alan amaçları ve amaçlara karşılık gelen sorular

Amaçlar	Sorular		
	Bilgi	Kavrama	Uygulama
Yakıt Enjeksiyon Sistemleri Ünitesini başarı ile tamamlayan öğrenci			
Hava/yakıt oranı, hava fazlalık katsayısı ve eşdeğerlik oranı terimlerini bilecektir.	1,2	-	-
Stokiyometrik oran kavramını bilecek, benzin için değerini söyleyebilecektir.	3,4	-	-
HFK'nın motor performans ve emisyonlarına etkilerini bilecektir.	5,6	-	-
HFK'nın katalitik dönüştürücü verimine etkisini bilecektir.	7	-	-
Yakıt enjeksiyon sistemlerini yakıtın püskürtüldüğü yere göre karşılaştırabilecektir.	8	-	-
Taşıt üzerindeki veya prensip şeması verilen bir yakıt enjeksiyon sisteminin türü hakkında yorum yapabilecektir.	-	28,29	-
Kontrol şekline göre yakıt enjeksiyon sistemlerini sınıflandırabilecektir.	9	-	-
Yakıt enjeksiyon sisteminde bulunan sensörleri söyleyebilecektir.	10	-	-
Endüktif tip motor hız sensörünün yapısını ve çalışmasını bilecektir.	11	-	-
Hava akış sensörünün yapısını ve çalışmasını bilecektir.	13	-	-
Manifold mutlak basınç sensörünün yapısını ve çalışmasını bilecektir.	14	-	-
Gaz keleşği konum sensörünün yapısını ve çalışmasını bilecektir.	15	-	-
Giriş havası ve motor sıcaklık sensörünün yapısını bilecek ve çalışması hakkında yorum yapabilecektir.	16	17	-
Lamda sensörünün yapısını bilecek ve çalışması hakkında yorum yapabilecektir.	18	19	-
Üniversal lamda sensörünün yapısını ve çalışmasını bilecektir.	20	-	-

Çizelge 5.1 (Devam) Bilişsel alan amaçları ve amaçlara karşılık gelen sorular

Amaçlar	Sorular		
	Bilgi	Kavrama	Uygulama
Yakıt Enjeksiyon Sistemleri Ünitesini başarı ile tamamlayan öğrenci			
Yakıt enjeksiyon sistemlerinde kullanılan sensörlerin çıkış sinyallerini bilecek ve verilen herhangi bir sinyalin hangi sensöre ait olduğunu açıklayabilecektir.	21	-	-
Yakıt basınç regülatörünün yapısını ve çalışmasını söyleyebilecektir.	22	-	-
Yakıt enjektörünün yapısını bilecek ve çalışması hakkında yorum yapabilecektir.	-	23	-
Kanister boşaltma valfinin yapısını bilecek ve çalışması hakkında yorum yapabilecektir.	-	24	-
Rölanti düzenleme devresinin yapısını bilecek ve çalışması hakkında yorum yapabilecektir.	-	25	-
Yakıt enjeksiyon sistemlerinde kullanılan sensör ve aktüatörleri prensip şeması verilen bir sistem üzerinde bulabilecektir.	-	26,27,30	-
Yakıt enjeksiyon sistemlerinde kullanılan sensörlerde meydana gelebilecek arızaların sistem üzerindeki etkileri hakkında fikir yürütebilecektir.	-	-	31
Yüksekliğe bağlı olarak çalışma şartlarında meydana gelebilecek değişimler hakkında fikir yürütebilecektir.	-	-	32
Motor yükü bilgisini sağlayan sensörleri söyleyebilecektir.	33	-	-
Motor hızı ve konum bilgileri sağlayan sensörleri tahmin edebilecektir.	-	34	-
Sisteme geri besleme sağlayan sensörleri ve bunların hangi parametrelere etki ettiğini açıklayabilecektir.	35	-	-
Analog çıkışa sahip sensörleri ve sayısal çıkışa sahip sensörleri söyleyebilecektir.	36	-	-
Motorun çalışabilmesi için elektronik kontrol ünitesinin ihtiyaç duyduğu temel sinyaller hakkında yorum yapabilecektir.	-	37	-

Çizelge 5.1 (Devam) Bilişsel alan amaçları ve amaçlara karşılık gelen sorular

Amaçlar	Sorular		
Yakıt Enjeksiyon Sistemleri Ünitesini başarı ile tamamlayan öğrenci	Bilgi	Kavrama	Uygulama
Enjeksiyon sürelerinin nasıl hesaplandığı hakkında yorum yapabilecektir.	-	38	-
Emisyonların azaltılması amacıyla yapılan ek kontrolleri söyleyebilecektir.	39,40	-	-
EGR'nin ne amaçla kullanıldığını söyleyebilecek ve temel çalışmasını bilecektir.	39	-	-
Buharlaştırma emisyonlarının kontrolünün hangi elemanlarla sağlandığını söyleyebilecektir.	40	-	-

Belirlenen hedefler doğrultusunda konu uzmanlarıyla yapılan çalışmalar neticesinde çoktan seçmeli 40 sorudan oluşan bir başarı testi hazırlanmıştır. Hazırlanan başarı testinin güvenilirliğini belirlemek amacıyla test, Motor Bakım ve Ayarları dersini 2008–2009 eğitim öğretim yılı güz döneminde alan 27 öğrenciye uygulanmıştır. Hazırlanan testin güvenilirliği KR–20 katsayısı hesaplanarak belirlenmiştir. KR–20 doğru cevaba 1, yanlış veya boş cevaba 0 verilerek iki kategorili puanlanabilen maddelerden oluşan testlerin güvenilirliğinin hesaplanmasında kullanılan bir katsayıdır [94].

KR–20 güvenilirlik katsayısı,

$$KR - 20 = \frac{K}{K - 1} \cdot \left[1 - \frac{\sum p \cdot q}{S_x^2} \right] \quad (5.1)$$

eşitliği yardımıyla hesaplanmaktadır. Burada,

K: Testte bulunan madde sayısı,

p: Madde güçlük indeksi,

$q: 1-p,$

S_x^2 : Test puanları dağılımı varyansıdır [94].

Yapılan ön test sonuçlarının KR-20 güvenilirlik katsayısı 0,768 olarak hesaplanmıştır. 10–15 dolayında maddeden oluşan çoktan seçmeli testler için 0.50 kadar düşük bir KR-20 güvenilirlik katsayısının yeterliyken, 50 maddenin üzerindeki testler için ise KR-20 değerinin en az 0.80 olması gerekmektedir [95]. Soru sayısının 40 olduğu göz önünde bulundurulduğunda, hesaplanan KR-20 değerine göre testin güvenilirliğinin yeterli olduğu kabul edilmiştir. Öğrenci başarısı ve kalıcılığı ölçmek için geliştirilen test Ek-1’de yer almaktadır. Yapılan eğitimden sonra öğrencilere uygulanan başarı ve kalıcılık testi için KR-20 güvenilirlik katsayısı tekrar hesaplanmıştır. Başarı ve kalıcılık testi için KR-20 değerleri sırasıyla 0,816 ve 0,78 olarak hesaplanmıştır.

5.7.5. Uygulama aşamaları

Yapılan çalışma kapsamında deney ve kontrol grubuna haftalık 6 saat olmak üzere 3 hafta süreyle yakıt enjeksiyon sistemleri konusunda öğretim uygulanmıştır. Sınıf ortamında yapılan derslerin işlenişi ve kullanılan materyaller dersin öğretim elemanlarıyla yapılan değerlendirmeler sonucunda belirlenmiştir. Söz konusu materyaller ağırlıklı olarak bilgisayar ortamında hazırlanmış sunulardan oluşmaktadır. Ayrıca çeşitli yakıt enjeksiyon sistemlerinin prensip şemalarını gösteren panolar da kullanılmıştır. Sınıf ortamında yapılan derslerde deney ve kontrol grubuna aynı teorik bilgiler verilmiştir. Kontrol grubuna toplam 18 saat teorik ders verilirken, deney grubuna 15 onbeş saat teorik ders verilmiş ve 3 saat laboratuvar uygulaması yaptırılmıştır. Laboratuvar uygulaması, geliştirilen bilgisayar kontrollü yakıt enjeksiyon sistemine sahip deney motoru üzerinde gerçekleştirilmiştir. Sistemin parçaları, çalışma mantığı, işleyişi açıklanarak çeşitli deneyler yapılması sağlanmıştır. Yapılan deneylerde sistemde bulunan sensörlerden gelen bilgilerin yakıt enjeksiyon sisteminin parametrelerine etkileri incelenmiştir. Bu işlem kontrol yazılımında sensörlerden gelen bilgilerin manüel olarak

değiştirilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Ayrıca motor performansı ve emisyonlarının HFK'ya ve ateşleme avansına göre değişimi de incelenmiştir.

5.8. Eğitim Çalışmasının Sonuçları

Yapılan eğitim çalışmasının sonuçları bağımsız örneklem t-testi ile değerlendirilmiştir. Bağımsız grupların varyanslarının homojenliği de Levene testi ile belirlenmiştir. Bağımsız örneklem t-testi örnek sayısının az olduğu durumlarda iki veri dizisinin farklı olup olmadığını belirlemek için kullanılır. t-testi sonucunda elde edilen p değeri %95 anlamlılık düzeyi için 0,05'ten büyükse anlamlı fark olmadığı, tersi durumda ise anlamlı bir fark olduğu yönünde değerlendirilmektedir. Örnek olarak herhangi bir ders için öğrencilerin cinsiyetlerinin başarı üzerinde etkisinin olup olmadığı t-testi ile değerlendirilebilir. SPSS paket programında bağımsız örneklem t-testi (independent samples t-test) uygulandığında sonuç ekranında Levene testi sonuçları da yer almaktadır. Levene testi normal dağılım varsayımı kullanmadan bağımsız iki örneğin varyanslarının homojenliğini test eden bir yöntemdir [96].

Yapılan üç haftalık öğretimin hemen ardından öğrencilere uygulanan başarı testine ilişkin grup istatistikleri Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Başarı testi sonuçları grup istatistikleri

	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata ortalaması
Deney grubu	20	76,2500	13,77689	3,08061
Kontrol grubu	25	70,9000	14,28650	2,85730

Çizelge 5.2 incelendiğinde yakıt enjeksiyon sistemiyle öğretim yapılan deney grubunun not ortalamasının geleneksel metodun uygulandığı kontrol grubunun not ortalamasından daha yüksek olduğu görülmektedir. Grupların başarı notu ortalamaları arasındaki bu farkın istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını belirlemek için t-testi uygulanmıştır.

Çizelge 5.3'te başarı testi için t-testi sonuçları verilmiştir. Levene testi sonuçlarına göre grupların varyansları homojendir. t-testi sonuçlarına göre ise p değeri 0,212 çıkmıştır. p değerinin 0,05'ten büyük olması ortalamalar arasında anlamlı bir fark olmadığını gösterir. Yani deney ve kontrol grupları arasında başarı testi sonuçlarına göre istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamaktadır. Bu durumda Hipotez 1 kabul edilmiştir.

Çizelge 5.3. Başarı testi için t-testi sonuçları

	Levene testi		t-testi						
	F	Sig.	t	df	p	Ortalama fark	Standart hata farkı	% 95 güven aralığı için fark	
								Alt sınır	Üst sınır
Varyanslar homojen	0,034	0,856	1,268	43	0,212	5,35000	4,21908	-3,15859	13,85859
Varyanslar homojen değil			1,273	41,461	0,210	5,35000	4,20170	-3,13265	13,83265

Başarı testinden 3 hafta sonra yapılan kalıcılık testine ilişkin grup istatistikleri Çizelge 5.4'te verilmiştir. Buna göre deney grubunun kalıcılık testi ortalaması kontrol grubundan yüksek çıkmıştır.

Çizelge 5.4. Kalıcılık testi sonuçları grup istatistikleri

	N	Ortalama	Standart sapma	Standart hata ortalaması
Deney grubu	20	64,1250	13,18579	2,94843
Kontrol grubu	25	55,3000	13,27435	2,65487

Deney ve kontrol grubunun kalıcılık testi ortalamaları arasında anlamlı bir farkın olup olmadığını belirlemek için yapılan bağımsız örneklem t-testi sonuçları Çizelge 5.5'te verilmiştir.

Çizelgedeki sonuçlara göre deney ve kontrol grubunun varyansları homojendir. p değeri ise 0,032 olarak hesaplanmıştır. $p < 0,05$ olduğu için deney grubu lehine anlamlı bir fark vardır. Yani deney ve kontrol grupları arasında kalıcılık testi sonuçlarına göre istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmaktadır. Bu durumda Hipotez 2 reddedilmiştir.

Çizelge 5.5. Kalıcılık testi için t-testi sonuçları

	Levene testi		t-testi						
	F	Sig.	t	df	p	Ortalama fark	Standart hata farkı	% 95 güven aralığı için fark	
								Alt sınır	Üst sınır
Varyanslar homojen	0,075	0,785	2,223	43	0,032	8,82500	3,97059	0,81755	16,83245
Varyanslar homojen değil			2,224	40,975	0,032	8,82500	3,96757	0,81219	16,83781

Yapılan deneysel eğitim çalışmasının sonuçlarına göre; bilgisayar kontrollü yakıt enjeksiyon sistemi ile öğretim yapılan deney grubu ve geleneksel yöntemle öğretim yapılan kontrol grubunun başarı testi ortalamaları arasında anlamlı bir fark bulunamamış, kalıcılık testi ortalamaları arasında ise deney grubu lehine anlamlı bir fark bulunmuştur. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre geliştirilen bilgisayar kontrollü yakıt enjeksiyon sisteminin konunun öğretiminde kullanılması halinde daha kalıcı bir öğrenme yapılabilir. Geliştirilen sistemin öğrenilenlerin kalıcılığını arttırdığı sonucundan hareketle, mesleki ve teknik eğitim veren kurumlarda ilgili derste kullanılmasının yapılan eğitimin kalıcılığını arttıracakı düşünülmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada tek silindirli buji ile ateşlemeli bir motor için eğitim amaçlı bilgisayar kontrollü bir yakıt enjeksiyon sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen yakıt enjeksiyon sistemi, yakıt enjeksiyonu, ateşleme avansı ve rölanti düzenleyici konumunun kontrolü fonksiyonlarını yerine getirmektedir. Tez çalışması iki ana bölümden oluşturulmuştur. Birinci bölümde sistemin geliştirilmesi açıklanmış, geliştirilen yakıt enjeksiyon sistemi ile karbüratörlü sistem performans ve emisyonlar bakımından kıyaslanmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde geliştirilen yakıt enjeksiyon sisteminin konunun öğretiminde kullanılması durumunda başarı ve kalıcılık üzerine etkileri incelenmiştir.

Çalışmalar karbüratörlü yakıt sistemine sahip tek silindirli buji ile ateşlemeli bir motor üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deney motoruna yakıt enjeksiyon sistemi için gerekli sensör ve aktüatörlerin bağlanabilmesi için bir emme manifoldu yapılmış ve gerekli parçaların bağlantısı yapılmıştır. Deney motoruna bağlanan sensörler, motor hız sensörü, gaz keleşi konum sensörü, manifold mutlak basınç sensörü, giriş havası sıcaklık sensörü, motor yağ sıcaklığı sensörü, lamda sensörü ve UEGO sensörüdür. Sensörlerden alınan bilgilerin bilgisayara aktarılabilmesi için National Instruments firmasının NI USB 6259 veri toplama kartı kullanılmıştır.

Bilgisayardan alınan yakıt enjeksiyonu, ateşleme avansı ve rölanti düzenleyici konumu bilgilerinin motora uygulanabilmesi için mikrodnetleyicili bir sürücü devre tasarlanmıştır. Sürücü devrede PIC 18F452 mikrodnetleyicisi kullanılmıştır. Geliştirilen mikrodnetleyicili sürücü devre bilgisayar tarafından gönderilen sonuçları uygulayabildiği gibi, üzerindeki buton ve potansiyometreler yardımıyla manüel olarak da çalıştırılabilmektedir.

Bir sonraki aşamada deney motorunun hava tüketimi haritasının çıkarılabilmesi için motor test dinamometresi üzerinde bir dizi deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyler sürücü devrenin manüel olarak çalıştırılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Motorun hava tüketimi değerleri motor hızı ve motor yüküne bağlı olarak elde edilmiştir. Yük

bilgisi olarak gaz kelebeği konum bilgisi kullanılmıştır. Yük bilgisi olarak manifold mutlak basınç sensöründen alınan bilginin kullanılması düşünülmüş ancak, deneysel çalışmalar motorun tek silindirli olmasından dolayı manifold basınç bilgisinin kullanılmasının uygun olmadığını göstermiştir. Deneyler dinamometrenin izin verdiği çalışma aralığında ($1800 \text{ min}^{-1} - 3500 \text{ min}^{-1}$) gerçekleştirilmiştir. Motorun hava tüketimi Meriam LFS-1 marka akış ölçüm sistemi kullanılarak ölçülmüştür. Motorun hava tüketimi haritasının elde edilmesinden sonra ateşleme avans haritası deneysel çalışmalarla elde edilmiştir. Ateşleme avans haritası da hata tüketimi haritasında olduğu gibi motor hızı ve motor yüküne göre elde edilmiştir. Ateşleme avans haritasının elde edilmesinde en iyi motor momentini sağlayan avans değerleri kullanılmıştır.

Motorun hava tüketimi haritası YSA kullanılarak modellenmiştir. Modellemede ileri beslemeli geri yayımlı ağ yapısı kullanılmıştır. YSA modelinin oluşturulmasında, gizli katman sayıları, gizli katmanlardaki nöron sayıları, aktivasyon fonksiyonları ve öğrenme miktarları değiştirilerek en uygun ağ yapısı elde edilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmalar neticesinde birinci gizli katmanında 8 ikinci gizli katmanında 7 nöron bulunan, iki gizli katmanlı, iki girişli ve bir çıkışlı bir ağ yapısı elde edilmiştir. Oluşturulan YSA modeli bilgisayar yazılımında motorun hava tüketiminin hesaplanmasında kullanılmıştır. Ateşleme avans haritası tablo halinde bilgisayar yazılımına eklenmiştir.

Bilgisayar yazılımı Microsoft Visual C# 2005 programlama dilinde geliştirilmiştir. Bilgisayar yazılımına deneysel sonuçlarla oluşturulan YSA modeli ve ateşleme avans haritası eklenmiştir. Motorun gerçek hava tüketimi, YSA modelinden alınan sonuç, giriş havası sıcaklığı ve atmosfer basıncı kullanılarak hesaplanmaktadır. Hesaplanan hava tüketimi yardımıyla istenilen HYO için püskürtülecek yakıt miktarı hesaplanmaktadır. Ateşleme avansı tablodan hesaplanmaktadır. Rölanti düzenleyicinin konumu ise motor sıcaklığı ve gaz kelebeğinin bir fonksiyonu olarak hesaplanmaktadır. Hesaplanan bu üç değer 3 baytlık bir veri formatında RS-232 üzerinden sürücü devreye gönderilmektedir. Sürücü devre bilgisayardan aldığı sonuçları motora uygulamaktadır.

Yakıt enjeksiyon sisteminin geliştirilmesi sırasında karşılaşılan en önemli sorun elektromanyetik karışım olmuştur. Buji ile ateşlemeli motorlarda bujinin çakması sırasında oluşan yüksek manyetik alan mikroişlemci ve mikrodenetleyici gibi duyarlı elemanlara sahip sistemleri olumsuz yönde etkilemektedir. Bu çalışmada karşılaşılan problemler mikrodenetleyicili sürücü devrede kilitlenme ve resetlenme, bilgisayar yazılımında ise hız ölçümünde meydana gelen anlık sapmalardır. Elektromanyetik karışımdan kaynaklanan bu sorunların çözümünde üç temel noktaya odaklanılmıştır. Bunlar oluşan yüksek manyetik alanın kaynağında zayıflatılması, etkilenen sistemlerin bağışıklığının artırılması ve sistem bağlantılarının iyileştirilmesidir. Oluşan manyetik alanın kaynağında zayıflatılması amacıyla dirençli tip buji ve endüktif tip buji kablosu kullanılmıştır. Yapılan sürücü devre metal bir kutu içerisine yerleştirilmiştir. Kablo bağlantılarındaki temas direnci azaltılmıştır. Bu düzenlemeler neticesinde elektromanyetik karışımdan kaynaklanan sorunlar ortadan kaldırılmıştır.

Deney motoru, orijinal yakıt sistemi (karbüratör) ve geliştirilen yakıt enjeksiyon sistemi kullanılarak performans ve emisyon deneylerine tabi tutulmuştur. Deneyler tam yük ve kısmi yüklerde yapılmıştır. Tam yük deneyi sonuçlarına göre motorun performansında karbüratörlü sisteme göre herhangi bir değişim gözlenmemiş ancak deney motoru karbüratörlü yakıt sistemine göre daha fakir bir karışımla çalıştırılmıştır. Karışım en yüksek motor gücünün elde edilebildiği 0,9–0,95 HFK değerleri arasında tutulmuştur. Motorun FÖYT değerleri karbüratörlü sisteme göre ortalama % 1,2 oranında azalmıştır. CO ve HC emisyonlarında sırasıyla ortalama % 43,2 ve % 11,8’lik azalma olduğu belirlenmiştir. NO emisyonunda ise karbüratörlü sisteme göre ortalama % 118,6 oranında artış meydana gelmiştir.

Kısmi yük sonuçlarına göre geliştirilen yakıt enjeksiyon sistemiyle yapılan deneylerde HFK’nın 1’de tutulduğu belirlenmiştir. HFK’nın 1’de tutulması aktif lamda kontrolüyle sağlanmıştır. CO, HC emisyonları ve yakıt tüketimi azaltılmıştır. CO emisyonunda 3500 min⁻¹ sabit hızda % 75,6 oranında, HC emisyonunda ise 2000 min⁻¹ sabit hızda % 30,2 oranında en fazla azalma gerçekleşmiştir. CO emisyonun HFK’ya bağlı olarak değiştiği, HC emisyonunun ise HFK ve yüke bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir. Buna göre HFK’nın 1’e yaklaşmasıyla CO ve HC

emisyonları azalmaktadır. Ayrıca HC emisyonunun yüke bağlı olarak da arttığı tespit edilmiştir. Kısmi yük deneylerinde NO emisyonunda artış olduğu gözlenmiştir. NO emisyonundaki en yüksek artışın 3500 min^{-1} sabit hızda % 129.4 oranında gerçekleştiği belirlenmiştir. NO emisyonundaki artış motorun karbüratörlü sisteme göre daha fakir çalışması (HFK=1) yani oksijen miktarındaki artış ve yanma sonucu sıcaklığının daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Kısmi yük ve tam yük deneyleri geliştirilen bilgisayar kontrollü yakıt enjeksiyon sisteminin karbüratörlü sisteme göre emisyonlar ve yakıt ekonomisi bakımından daha üstün olduğunu ortaya koymuştur.

Yapılan deneysel çalışmalar sırasında motorun avans ayar karakteristikleri de çıkarılmıştır. Bu amaçla 2400 min^{-1} , 2800 min^{-1} ve 3200 min^{-1} sabit motor hızlarında farklı ateşleme avanslarının motor performansı ve emisyonlarına etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre motor momenti avansın artırılmasına bağlı olarak belli bir ateşleme avansına kadar artış göstermekte, daha sonra düşmektedir. Momentin en yüksek olduğu ateşleme avansında birkaç derecelik bir avans değişiminde momentte önemli bir artış olmazken vuruntulu çalışma eğilimi artmaktadır. Ayrıca, en yüksek momenti sağlayan avans değeri motor hızına bağlı olarak artış göstermektedir. CO, HC ve NO emisyonlarında avansa bağlı olarak artış olduğu belirlenmiştir. CO ve HC emisyonlarında motor hızına bağlı olarak azalma görülürken NO emisyonunda önemli bir değişim görülmemiştir. FÖYT tüketilen yakıt miktarının aynı olması ve üretilen momentin artmasına nedeniyle azalmaktadır. Yani en yüksek momenti sağlayan ateşleme avansında FÖYT en düşük değerine inmektedir.

Çalışmanın ikinci bölümünde geliştirilen bilgisayar kontrollü yakıt enjeksiyon sisteminin konunun öğretiminde kullanılması halinde öğrenci başarısı ve öğrenilenlerin kalıcılığına etkileri incelenmiştir. Bu amaçla iki öğrenci grubu oluşturulmuştur. Bu gruplardan biri geliştirilen bilgisayar kontrollü yakıt enjeksiyon sistemi kullanılarak öğretim yapılan deney grubu diğeri ise geleneksel metotla öğretim yapılan kontrol grubudur. Yapılacak öğretimin hedefleri belirlenmiş ve bu hedefleri ölçmek üzere 40 çoktan seçmeli sorudan oluşan bir test hazırlanmıştır.

Belirlenen hedefler ve test soruları konu uzmanı akademisyenlerle değerlendirilerek gerekli görülen değişiklikler yapılmıştır. Hazırlanan test hem başarı testi hem de kalıcılık testi olarak kullanılmıştır. Hazırlanan testin güvenilirliğini belirlemek amacıyla test, konuyla ilgili dersi daha önce alan öğrencilere uygulanmıştır. Testin güvenilirliği KR-20 katsayısı hesaplanarak belirlenmiştir. Buna göre testin KR-20 katsayısı 0,768 olarak hesaplanmıştır. Deney ve kontrol grubuna yapılan öğretim sürecinden sonra başarı testi uygulanmıştır. Başarı testinden üç hafta sonra kalıcılık testi uygulanmıştır. Başarı testi ve kalıcılık testi sonuçları t-testi yöntemiyle değerlendirilmiştir. Başarı testi sonuçlarına göre deney grubunun not ortalaması 76,25 ve kontrol grubunun not ortalaması 70,9 olarak hesaplanmıştır. Başarı testi sonuçları t-testi ile değerlendirildiğinde $p=0,212$ ($p>0,05$) olarak hesaplanmıştır. Buna göre başarı testi ortalamaları arasındaki bu fark istatistiksel olarak anlamlı değildir. Yani başarı testi sonuçlarına göre deney ve kontrol grubu arasında anlamlı bir fark yoktur. Kalıcılık testi sonuçlarına göre deney grubunun not ortalaması 64,125 ve kontrol grubunun not ortalaması 55,3 olarak hesaplanmıştır. Kalıcılık testi sonuçları t-testi ile değerlendirildiğinde $p=0,032$ ($p<0,05$) olarak hesaplanmıştır. Bu durumda kalıcılık testi ortalamaları arasında deney grubu lehine anlamlı fark olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuç geliştirilen bilgisayar kontrollü yakıt enjeksiyon sisteminin konunun öğretiminde kullanılması durumunda öğrenilenlerin kalıcılığını arttırdığını ortaya koymaktadır.

Çalışmada geliştirilen bilgisayar kontrollü yakıt enjeksiyon sisteminin son derece esnek bir yapıda olması farklı motorlara kolaylıkla uygulanabilmesini mümkün hale getirmiştir. Geliştirilen sistem özellikle alternatif motor ve alternatif yakıt çalışmalarında kullanılmaya uygundur. Sistem sahip olduğu manüel kontroller sayesinde herhangi bir motora ait ayar karakteristiklerinin çıkarılması için elverişlidir. Sistemin bilgisayar kontrollü olması farklı kontrol algoritmalarının uygulanabilmesine imkan tanımaktadır.

Geliştirilen bilgisayar kontrollü yakıt enjeksiyon sisteminin çalışmanın gerçekleştirilme sürecinde karşılaşılan durumlar göz önünde bulundurularak daha iyi bir noktaya ulaştırılabilmesi için yapılabilecek çalışmalar aşağıda sıralanmıştır.

Deney motorunun hava soğutmalı olmasından dolayı deney şartlarının kısa sürede değiştiği gözlenmiştir. Çalışmalarda deney şartlarının daha kararlı tutulabilmesi ve ölçümlerin daha sağlıklı alınabilmesi için su soğutmalı bir motor kullanılabilir.

Deneyleerin gerçekleştirildiği dinamometre sınırlı bir çalışma aralığında sahiptir ($1800 \text{ min}^{-1} - 3500 \text{ min}^{-1}$). Bu nedenle dinamometrenin çalışma aralığı dışında motorun karakteristiği belirlenememiştir. Sistemin bütün şartlar altında kontrolünün istenildiği gibi yapılabilmesi için tüm çalışma şartlarında motorun karakteristiği çıkarılabilir.

Çalışmada geliştirilen yakıt enjeksiyon sisteminin kontrolünde temel bir kontrol mantığı uygulanmıştır. Sistemin kontrolünde yapay zeka gibi daha kapsamlı teknikler kullanılabilir. Özellikle sürekli öğrenme yapısına sahip uyarlamalı bir kontrol algoritmasının geliştirilmesi, zamanla motorun karakteristiğinde meydana gelebilecek değişikliklerin telafi edilmesini sağlayacaktır.

Geliştirilen sistemin tepki süresinin deney motorunun en yüksek çalışma hızı göz önünde bulundurulduğunda yeterli olduğu anlaşılmıştır. Yüksek hızlı bir motorun kullanılması durumunda sistemin tepki süresinin azaltılması gerekecektir. Bu amaçla bilgisayar ve sürücü devre arasındaki veri iletişiminin RS-232 yerine daha yüksek hızda çalışabilen bir bağlantı portundan (USB gibi) yapılması gerekebilir.

Bu çalışmada geliştirilen yakıt enjeksiyon sisteminde yakıt filmi parametreleri göz önünde bulundurulmamıştır. Yakıt filmi parametrelerinin de dahil edildiği bir kontrol tekniği özellikle motorun geçiş durumlarında meydana gelebilecek HYO'dan sapmaları azaltacaktır.

Eğitimle ilgili yapılan deneysel çalışmanın sonuçları, geliştirilen sistemin konunun öğretiminde kullanılmasının daha kalıcı bir öğrenme sağladığını göstermektedir. Geliştirilen sistemin özellikle lisans düzeyinde mühendislik eğitimi veren okullarda yakıt enjeksiyon sistemleri konusunun öğretiminde kullanılması daha kalıcı bir öğrenme sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

1. Bauer, H., “Gasoline Fuel-Injection System K-Jetronic”, Dietsche, K., Crepin, J., **Robert Bosch GmbH**, Stuttgart, 12 (2000).
2. Borat, O., Balcı, M., Sürmen, A., “İçten Yanmalı Motorlar”, **Teknik Eğitim Vakfı Yayınları**, 83, 359, 360 (1995).
3. Küsell, M., Köhler, C., Roth, A., “DI-Motronic MED7 for gasoline direct injection engines: control strategies and diagnosis”, **International Conference on Automotive Technologies (ICAT-2000)**, İstanbul, 1-19 (2000).
4. Heywood, J. B., “Internal Combustion Engine Fundamentals”, **Mc Graw-Hill Book Company**, New York, 51-53 (1998).
5. Adler, U., “Motronic Engine Management Technical Instruction”, Bauer, H., Beer, A., Cypra, A., **Robert Bosch GmbH**, Stuttgart, 4, 5, 15, 35, 68 (1994).
6. Sher, E., “Handbook of Air Pollution from Internal Combustion Engines, Pollutant Formation and Control”, **Academic Press**, San Diego, 124 (1998).
7. Ergeneman, M., Arslan, H., Mutlu, M., “Taşıt Egzozundan Kaynaklanan Kirleticiler”, Kutlar, O. A., **Birsen Yayınevi**, İstanbul, 44 (1998).
8. Stone, R., “Introduction to Internal Combustion Engines”, **Macmillan Pres LTD.**, Chippenham, Wiltshire, 171 (1999).
9. Schäfer, F., Basshuysen, R., “Reduced Emissions and Fuel Consumption in Automobile Engines”, **Springer-Verlag**, Wien, New York, 100 (1995).
10. Eriksson, L., “Spark advance modeling and control”, Doktora Tezi, **Linköping University**, Linköping, 8, 10 (1999).
11. Decker, H., “Battery Ignition”, **Robert Bosch GmbH**, Stuttgart, 5 (1987).
12. Dietsche, K. H., Klingebiel, M., “Automotive Handbook”, **Robert Bosch GmbH**, Plochingen, 626, 627 (2007).
13. Salman, S., Çınar, C., Sekmen, Y., “Buji ile ateşlemeli motorlarda tek nokta yakıt enjeksiyon ve karbüratör sistemlerinin performans etkileri üzerine deneysel bir araştırma”, **Politeknik Dergisi**, 6(1): 391-395 (2003).
14. Yolaçan, F., “Otomobil Motorlarında Yakıt Sistemleri”, **Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi**, Ankara, 21, 25 (1991).

15. Taglialatela, F, Cesario, N., Lavorgna, M., “Soft computing mass air flow estimator for a single cylinder SI engine”, *SAE Paper*, 2006-01-0010: 1, 2 (2006).
16. Birch, B. J., Amann, M., “Electronic fuel system development for air-cooled motorcycles”, *SAE Paper*, 2004-32-0059: 1-9 (2004).
17. Nakamura, M., Sawada, Y., Hashimoto, S., “Fuel injection system for small motorcycles”, *SAE Paper*, 2003-32-0084: 1-8 (2003).
18. Xiaolu, G., Gang, X., Benninger, K., “MSE 2.0 – the motronic system for small gasoline engine”, *SAE Paper*, 2004-32-0081: 1-7 (2004).
19. Irie, T., Kochi, H., Yamakawa, T., Fukui, W., “Engine management system for motorcycle”, *SAE Paper*, 2005-32-0031: 1 (2005).
20. Prince, S. P., “A computer-controlled electronic fuel injection system”, Yüksek Lisans Tezi, *University of Texas at Arlington*, Texas, 3-15 (1987).
21. Ishii, J., Amano, M., Yamauchi, T., Kurihara, N., Shida, M., “Wide range air-fuel ratio control system”, *SAE Paper*, 880134: 15-22 (1988).
22. Gobburu, V. T., “Microcontroller based electronic engine control”, *SAE Paper*, 880180: 69-77 (1988).
23. Cassidy, J. F., “Electronic closed loop controls for the automobile”, *SAE Paper*, 740014: 95-106 (1974).
24. Gyorki, J., “Fundamentals of electronic fuel injection”, *SAE Paper*, 740020: 237-244 (1974).
25. Kaiser, G., Zechall, M., Plapp, G., “Closed loop control at engine management system : motronic”, *SAE Paper*, 880135: 23-31 (1988).
26. Park, J., Park, K. S., Lee, H. L., Kauh, S., “Adaptive control of individual cylinder ignition timing for improvement of idle stability”, *SAE Paper*, 930315: 1-7 (1993).
27. Lee, S. H., Howlett, R. J., Walters, S. D., “Small engine control by fuzzy logic”, *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 15(3-4): 207-217 (2004).
28. Takahashi, S., Sekozawa, T., “Air-fuel ratio control in gasoline engines based on state estimation and prediction using dynamic models”, *Proc. 21. IEEE Conf. on Industrial Electronics, Control and Instrumentation*, Orlando, 217-222 (1995).

29. Tseng, T. C., "An adaptive approach to air/fuel ratio control for spark-ignition engines", Doktora Tezi, *Massachusetts Institute of Technology*, Massachusetts, 27 (1997).
30. Pieper, J. K., Mehrotra, R., "Air/fuel ratio control using sliding mode methods", *IEEE Proc. of The American Control Conference*, San Diego, California, 1027-1031 (1999).
31. Shah, M. A., "Steady state adaptive fueling control of internal combustion engines", Doktora Tezi, *Purdue University*, Purdue, 26, 134 (1998).
32. Wang, S. W., Yu, D. L., Gomm, J. B., Page, G. F., Douglas, S. S., "Adaptive neural network model based predictive control for air-fuel ratio of SI engines", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 19(2): 189-200 (2006).
33. Azzoni, P., Mineli, G., Moro, D., Ceccarani, M., Rizzoni, G., "Air-fuel ratio control for a high performance engine using throttle angle information", *SAE Paper*, 1999-01-1169: 1-8 (1999).
34. Choi, S. B., Hedrick, J. K., "An observer-based controller design method for improving air/fuel characteristics of spark ignition engines", *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 6(3): 325-334 (1998).
35. Copp, D. G., Burnham, K. J., Lockett, F. P., "Model comparison for feedforward air/fuel ratio control", *IEE UKACC Conference on Control*, Swansea, 670-675 (1998).
36. Cercós, J. N., Casin, J. Q., "Air-fuel ratio control of a gasoline engine by means of a recurrent neural network with differentiated input", *Integrated Computer-Aided Engineering*, 8(3): 243-255 (2001).
37. Yoon, P., Sunwoo, M., "An adaptive sliding mode controller for air-fuel ratio control of spark ignition engines", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers - Part D - Journal of Automobile Engineering*, 215(2): 305-315 (2001).
38. Almkvist, G., Karlsson, T., Gren, S., Bengtsson, J., Andersson, C., Oskarsson, P., "Fuel injection system for a high speed one cylinder SI engine", *SAE Paper*, 2001-01-1863/4284: 184-198 (2001).
39. Gartner, P. M., "Development of a low-cost fuel injection system for use on small utility engines", *SAE Paper*, 1999-01-3292: 1-8 (1999).

40. Komuro, K., Yagisawa, K., Akamatsu, S., Hayashi, A., Ueda, M., “Fuel injection system of air-cooled engines for small displacement motorcycles”, *SAE Paper*, 2005-32-0035: 1-6 (2005).
41. Gang, X., Xiaolu, G., Liangyun, T., Fen, D., “Small engine specific functions of an engine management system”, *SAE Paper*, 2005-32-0008: 1-7 (2005).
42. Franklin, M. L., Kittelson, D. B., Leuer, R. H., Piphio, M. J., “Synchronous, simultaneous optimization of ignition timing and air-fuel ratio in a gas-fueled spark ignition engine”, *SAE Paper*, 940547: 55-66 (1994).
43. Xie, H., Hu, C., Zhou, N., Hao, M., Tan, T., Tan, R., “A micro-controller based control unit for motorcycle engines to meet emission and OBD requirements”, *SAE Paper*, 2006-01-0402: 1-11 (2006).
44. Jawad, B. A., Kuzak, T. V., “Motorcycle electronic fuel injection retrofit”, *SAE Paper*, 2000-01-2914: 1-7 (2000).
45. Al-Olimat, K. S., Ghandakly, A. A., Jamali, M. M., “Adaptive air-fuel ratio control of an SI engine using fuzzy logic parameters evaluation”, *SAE Paper*, 2000-01-1246: 1-9 (2000).
46. Pujatti, F. J. P., Mendes, M. A. S., Vale, R. M., Carvalho, T. C. O., “Implementation and tests of a variable control system of spark time ignition, using digital signal processor – DSP”, *SAE Paper*, 2004-01-3441: 1-5 (2004).
47. Bilgen, H., “Dört zamanlı tek silindirli buji ile ateşlemeli bir motorun ateşleme sisteminin bilgisayarla kontrolü”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 23 (2007).
48. Farrugia, M., Farrugia, M., Sangeorzan, B., “ECU development for a formula SAE engine”, *SAE Paper*, 2005-01-0027: 1-5 (2005).
49. Ferguson, C. R., “Internal Combustion Engines (Applied Thermosciences)”, *John Wiley & Sons*, New York, Chicester, Brisbane, Toronto, Singapore, 197, 198 (1985).
50. Meriam Process Technologies, “Laminar Flow Elements (Installation & Operation Instructions)”, *Meriam Process Technologies*, Ohio, 13, 14 (2009).
51. White, F. M., “Akışkanlar Mekaniği”, Kırkköprü, K., Ayder, E., *Literatür Yayınları*, İstanbul, 51, 52 (2005).

52. Türk Standartları Enstitüsü (TSE), “TS 1231 İçten Yanmalı Motorlar – Muayene ve Deney Esasları”, Ankara, 10, 11, (1991).
53. Meriam Instruments, “Series 1900 Flow Computer”, *Meriam Instruments*, Ohio, 17 (2002).
54. Öztemel, E., “Yapay Sinir Ağları”, *Papatya Yayıncılık*, İstanbul, Ankara, İzmir, Adana, 25, 48, 49, 204 (2003).
55. Yazgan, E., Korürek, M., “Tıp Elektroniği”, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul, 3.3 (1996).
56. Sağıroğlu, Ş., Beşdok, E., Erler, M., “Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları-I: Yapay Sinir Ağları”, *Ufuk Yayıncılık*, Kayseri, 32-35, 37, 39, 40, 43, 79 (2003).
57. Elmas, Ç., “Yapay Sinir Ağları”, *Seçkin Yayıncılık*, Ankara, 31-33, 35, 95 (2003).
58. Kalogirou, S. A., “Artificial intelligence for the modeling and control of combustion processes: a review”, *Progress in Energy and Combustion Science*, 29(6): 515-566 (2003).
59. Efe, M. Ö., Kaynak, O., “Yapay Sinir Ağları ve Uygulamaları”, *Boğaziçi Üniversitesi*, İstanbul, 13 (2000).
60. Toktaş, İ., Başak, H., “Standard profillerden oluşan farklı giriş bağlantı tiplerinin, sehim ve dayanım değerlerinin hesaplanmasında yapay sinir ağları tabanlı bir yaklaşım”, *Teknoloji Dergisi*, 9(3): 167 (2006).
61. Sözen, A. and Arcaklioğlu, E., “Solar potential in Turkey”, *Applied Energy*, 80(1): 38 (2005).
62. Ogaji, S. O. T., Singh, R., “Advanced engine diagnostics using artificial neural networks”, *Applied Soft Computing*, 3(3): 259 (2003).
63. Gölcü, M., Sekmen, Y., Erduranlı, P., Salman, M. S., “Artificial neural-network based modeling of variable valve-timing in a spark-ignition engine”, *Applied Energy*, 81(2): 187 (2005).
64. Çanakçı, M., Erdil, A., Arcaklioğlu, E., “Performance and exhaust emissions of a biodiesel engine” *Applied Energy*, 83(6): 594 (2006).
65. Çelik, V., Arcaklioğlu, E., “Performance maps of a diesel engine”, *Applied Energy*, 81(3): 247 (2005).

66. Arcaklıoğlu, E., Çelikten, İ., “A diesel engine's performance and exhaust emissions” *Applied Energy*, 80(1): 11 (2005).
67. Yücesu, H. S., Sözen, A., Topgül, T., Arcaklıoğlu, E., “Comparative study of mathematical and experimental analysis of spark ignition engine performance used ethanol–gasoline blend fuel” *Applied Thermal Engineering*, 27(2-3): 358 (2007).
68. Topgül, T., “Buji ile ateşlemeli motorlarda etil alkol-benzin karışımı kullanımında optimum çalışma parametrelerinin araştırılması”, Doktora Tezi, *Gazın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 144 (2006).
69. Erdem, M., “Motorlu taşıtlarda yavaşlatıcıların etkilerinin deneysel analizi ve yapay sinir ağları ile modellenmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 7, 8 (2007).
70. Bayır, R., “Yapay zeka teknikleri kullanılarak marş motorlarında hata teşhisi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 11 (2005).
71. Uzun, B., “İçten yanmalı motorlarda kullanılan kuru tip hava filtreleri için mikrodeneyleyici kontrollü tıkanıklık gösterge devresi tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 46, 47 (2005).
72. Kiencke, U., Nielsen, L., “Automotive Control Systems”, *Springer-Verlag*, Berlin, Heidelberg, New York, 74 (2000).
73. Bauer, H., “Bosch Automotive Sensors”, Crepin, J., Dietsche, K. H., *Robert Bosch GmbH*, Stuttgart, 116, 117 (2001).
74. Allegro Microsystems Inc., “UDN2916 Dual Full-Bridge PWM Motor Driver”, *Allegro Microsystems Inc.*, Worcester, Massachusetts, 5 (1998).
75. National Semiconductor, “LM1949 Injector Driver Controller”, *National Semiconductor*, USA, 1, 9 (1995).
76. Adler, U., “Electromagnetic Compatibility (EMC) Interference Suppression”, Bauer, H., *Robert Bosch GmbH*, Stuttgart, 11 (1991).
77. Denton, T., “Automobile Electrical and Electronic Systems”, *SAE International*, London, 157 (2000).
78. STMicroelectronics, “Hall Effect Pickup Ignition Controller”, *STMicroelectronics*, Italy, 8 (2003).

79. Topgöl, T., Okur, M., Batmaz, İ., Yücesu, H. S., “LPG ve kurşunsuz benzin kullanılabilen bir taşıtta katalitik konvertör verimlerinin deneysel olarak karşılaştırılması”, **8. Yanma Sempozyumu**, Ankara, 413 (2004).
80. Halaç, O., “İşletmelerde Simülasyon Teknikleri”, **Alfa Basım Yayın Dağıtım**, İstanbul, 1 (1998).
81. Erkut, H., “Yönetimde Simülasyon Yaklaşımı”, **İrfan Yayıncılık**, İstanbul, 1, 2 (1992).
82. Heinich, R., Molenda, M., Russell, J. D., “Instructional Media”, **Macmillan Publishing Company**, New York, 368, 369 (1993).
83. Alessi, S. M., Trollip, S. R., “Multimedia for Learning”, **Allyn and Bacon**, Boston, London, Toronto, Sydney, Tokyo, Singapore, 213-231 (2001).
84. Gredler, M. E., “Games and Simulations and Their Relationships to Learning”, **Handbook of Research for Educational Communications and Technology: A Project of the Association for Educational Communications and Technology 2nd ed.**, **Erlbaum Lawrence Associates**, USA, 573, 574 (2001).
85. Karakaş, E., Tekindal, S., “The effects of computer-assisted learning in teaching permanent magnet synchronous motors”, **IEEE Transactions on Education**, 51(4): 448-455 (2008).
86. Akçayol, M. A., Çetin, A., Elmas, Ç., “An educational tool for fuzzy logic-controlled BDCM”, **IEEE Transactions on Education**, 45(1): 33-41 (2002).
87. Akdoğan, E., Topuz, V., Akbaş, A., “An education tool study on mechatronics: emulation of stepper motor driving systems by using a microcontroller based system interface”, **Mechatronics, ICM '04**, İstanbul, 509-512 (2004).
88. Mills, C. J., Malengret, M., “Microprocessor-based converter as an educational tool”, **Industrial Electronics, Proceedings, ISIE '98**, Pretoria, 349-352 (1998).
89. Horn, M., Zehetner, J., “A brake-testbench for research and education”, **16th IEEE International Conference on Control Applications**, Singapore, 444-448 (2007).
90. Kostov, K., Palmunen, J., Bekaert, D., Kyyra, J., “An educational tool for laboratory exercises with SMPS”, **Power Electronics and Applications**, Aalborg, 1-6 (2007).

91. Garip, İ., “Alternatörlerin otomatik paralel bağlanması için eğitim amaçlı bir deney setinin geliştirilmesi ve etkililiğinin değerlendirilmesi”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 1-7 (2008).
92. Taşkın, S., “MPS modüler üretim sisteminin bilgisayar destekli gerçek zamanlı kontrolü ve teknik eğitime uygulanması”, Doktora Tezi, **Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 3-5 (2007).
93. Şen, S., “Endüstri meslek liselerinde elektronik öğretiminde proteus benzetim yazılımının öğrenci başarısına etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 4, 5, 38 (2007).
94. Atılgan, H., Kan, A., Doğan, N., “Eğitimde Ölçme ve Değerlendirme”, **Anı Yayıncılık**, Ankara, 110 (2006).
95. İnternet : Kehoe, J., “Basic Item Analysis for Multiple-Choice Tests. ERIC Digest.”, <http://www.ericdigests.org/1997-1/basic.html> (1997).
96. Özdamar, K., “Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi-1”, **Kaan Kitabevi**, Eskişehir, 362 (2002).

EKLER

EK-1 Başarı ve kalıcılık testi soruları

BAŞARI ve KALICILIK TESTİ

Adı Soyadı : Grubu :

Numarası :

*Sınav süresi 45 dakikadır. Doğru seçeneği, cevap anahtarı üzerinde işaretleyiniz.***BAŞARILAR.****SORULAR****1-** Hava fazlalık katsayısı (λ) aşağıdaki seçeneklerden hangisinde doğru açıklanmıştır?

- A. Teorik HYO/Gerçek HYO
- B. Gerçek HYO/Teorik HYO
- C. Teorik YHO/Gerçek YHO
- D. Gerçek YHO/Teorik YHO

2- Eşdeğerlik oranı (ϕ) için aşağıdaki ifadelerden hangileri doğrudur?

- I. Birimi yoktur.
- II. $\phi = 1$ olması teorik tam yanmayı ifade eder.
- III. $\phi < 1$ olması, karışımın zengin olduğunu gösterir.
- IV. $\phi > 1$ olması, karışımın fakir olduğunu gösterir.

A. I, II

B. III, IV

C. II, III, IV

D. I, III, IV

3- Aşağıdakilerden hangisi kütleli olarak bir birim benzinin tam yanabilmesi için gereken hava miktarıdır?

A. 13

B. 13,2

C. 15,5

D. 14,7

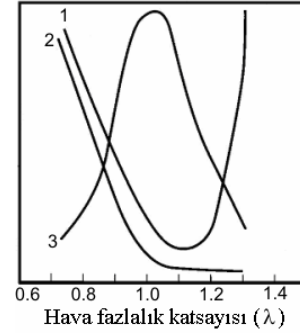
4- Stokiyometrik oran kavramı aşağıdaki seçeneklerden hangisinde doğru açıklanmıştır?

- A. $\lambda < 1$ olduğu durumdur.
- B. $\lambda = 1$ olduğu durumdur.
- C. $\lambda > 1$ olduğu durumdur.
- D. Silindire alınan hava ve yakıt miktarının eşit olduğu durumdur.

EK-1 (Devam) Başarı ve kalıcılık testi soruları

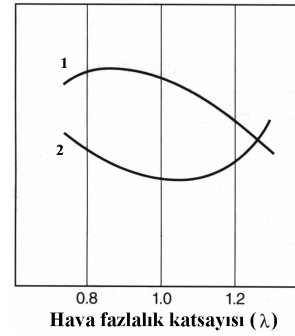
5- Aşağıdaki seçeneklerin hangisinde yandaki grafikte 1, 2 ve 3 ile gösterilen emisyonlar doğru olarak verilmiştir?

- A. CO, HC, NO_x
- B. CO, NO_x, HC
- C. HC, CO, NO_x
- D. NO_x, CO, HC



6- Aşağıdaki seçeneklerin hangisinde yandaki grafikte 1 ve 2 ile gösterilen eğriler doğru olarak verilmiştir?

- A. Motor gücü, özgül yakıt tüketimi
- B. Özgül yakıt tüketimi, motor gücü
- C. Motor gücü, egzoz gaz sıcaklığı
- D. Özgül yakıt tüketimi, motor hızı



7. Üç yollu katalitik dönüştürücülerin verimi hakkında aşağıdakilerden hangisi doğrudur?

- A. HFK 1'in üstüne çıktıkça üç yollu katalitik dönüştürücülerin dönüştürme verimi yükselir.
- B. HFK'nın 1 olduğu çok dar bir bölgede üç yollu katalitik dönüştürücülerin verimi en yüksektir.
- C. HFK 1'in altına indikçe üç yollu katalitik dönüştürücülerin dönüştürme verimi yükselir.
- D. HFK ile üç yollu katalitik dönüştürücülerin verimi arasında doğrudan bir bağıntı yoktur.

8- Aşağıdaki seçeneklerden hangisi yakıtın püskürtüldüğü yere göre yakıt enjeksiyon sistemlerinin sınıflandırılmasında **yer almaz**?

- A. Ön yanma odasına direk enjeksiyon
- B. Emme supabı arkasına (çok nokta enjeksiyon)
- C. Gaz kelebeği üstüne (tek nokta enjeksiyon)
- D. Yanma odasına direk enjeksiyon

EK-1 (Devam) Başarı ve kalıcılık testi soruları

9- Aşağıdakilerden hangisinin kontrolünde ihtiyaç duyulan hava/yakıt oranı daha hassas olarak ayarlanmaktadır?

- A. Mekanik kontrollü çok nokta yakıt enjeksiyon sistemi
- B. Mekanik kontrollü tek nokta yakıt enjeksiyon sistemi
- C. Mekanik ve elektronik kontrollü çok nokta yakıt enjeksiyon sistemi
- D. Elektronik kontrollü çok nokta yakıt enjeksiyon sistemi

10- Aşağıdaki seçeneklerden hangisi yakıt enjeksiyon sistemi sensörlerinden biri **değildir**?

- A. Taşıt hız sensörü
- B. Motor hız sensörü
- C. Gaz kelebeği konum sensörü
- D. Atmosfer basınç sensörü

11- Endüktif tip motor hız sensörüyle ilgili aşağıdaki seçeneklerden hangisi **yanlıştır**?

- A. İçerisinde daimi bir mıknatıs, demir nüve ve bu nüve etrafına sarıllı bir bobinden oluşur.
- B. Motor hızına bağlı olarak frekansı ve genliği değişen sinüsoidal sinyaller üretir.
- C. Besleme gerilimi +5V'tur ve çıkışı 0-5V aralığında değişir.
- D. Motor hızı bilgisinin yanı sıra konum bilgisi de sağlar.

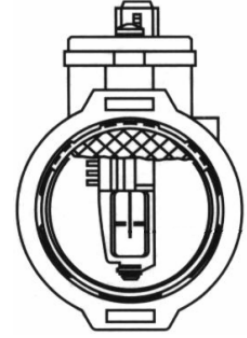
12- Kam mili konum sensörüyle ilgili aşağıdaki seçeneklerden hangisi **yanlıştır**?

- A. İçerisinde daimi bir mıknatıs ve bu mıknatısın önünde Hall etkisi prensibine göre çalışan bir entegre bulunur.
- B. Kam milinin dönüş hızına bağlı olarak genliği değişen sinüsoidal sinyaller üretir.
- C. Kam mili konum sensöründen gelen bilgi 1. silindirin hangi zamanda olduğunu belirler.
- D. Kam mili konum sensörü ve motor hız sensörü bilgileri elektronik kontrol ünitesi tarafından ortak değerlendirilir.

EK-1 (Devam) Başarı ve kalıcılık testi soruları

13- Yandaki şekilde görülen sensör aşağıdaki seçeneklerden hangisidir?

- A. Motor hız sensörü
- B. Lamda sensörü
- C. Manifold mutlak basınç sensörü
- D. Kızgın filmlili hava akış sensörü



14- Manifold mutlak basınç sensörüyle ilgili aşağıdaki seçeneklerden hangileri doğrudur?

- I. 5V gerilimle çalışır, çıkışı uygulanan basınca bağlı olarak 0-5V arasında değişir.
- II. Motor yükü bilgisi sağlayan sensörlerden biridir.
- III. Egzoz manifoldu üzerinde bulunur.
- IV. Atmosfer basıncının ölçülmesi amacıyla da kullanılabilir.
- V. Silindir içi basıncı ölçmek amacıyla kullanılır.

A. I, II, III

B. I, II, IV

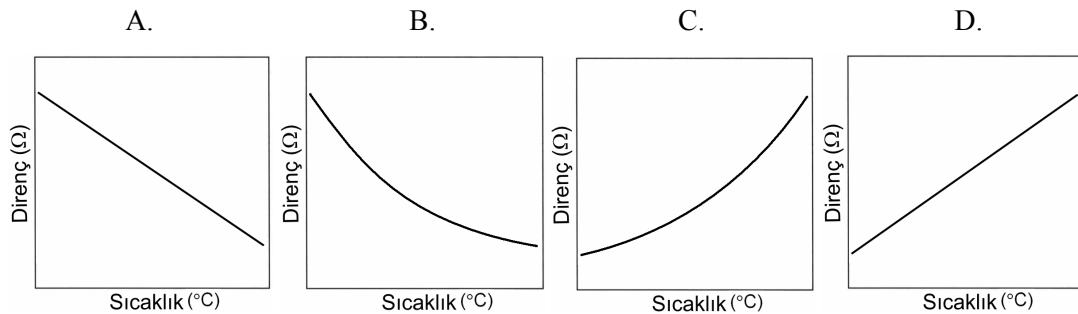
C. III, IV, V

D. I, III, V

15- Gaz kelebeği konum sensörüyle ilgili aşağıdaki seçeneklerden hangisi **yanlıştır**?

- A. Hareketini gaz kelebeği milinden alır ve gaz kelebeğinin konumunu ölçer.
- B. Hız sensörüyle birlikte motor yükü bilgisi sağlar.
- C. Gaz kelebeği konumunun değişim oranı elektronik kontrol ünitesi tarafından hızlanma veya yavaşlama isteği olarak değerlendirilir.
- D. Silindirlere alınan hava miktarını kütesel olarak ölçer.

16- NTC tipi giriş havası sıcaklık sensörü ve motor sıcaklık sensörünün karakteristiği aşağıdaki seçeneklerden hangisinde doğru olarak verilmiştir?

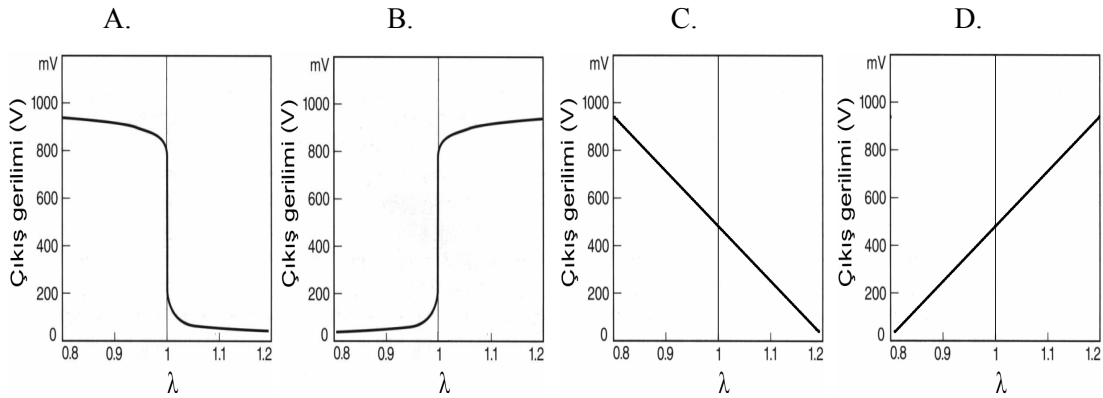


EK-1 (Devam) Başarı ve kalıcılık testi soruları

17- NTC tipi giriş havası sıcaklık sensörü ve motor sıcaklık sensörü için aşağıdaki seçeneklerden hangisi **yanlıştır**?

- A. Analog çıkışa sahip sensörlerdir.
- B. Seri bir direnç yardımıyla kullanılırlar.
- C. Sıcaklıkla orantılı frekansı değişen kare dalga sinyaller üretirler.
- D. Motor sıcaklık sensörü soğutma suyunu sıcaklığını, giriş havası sıcaklık sensörü ise giriş hava sıcaklığını ölçer.

18- Lamda sensörünün karakteristiği aşağıdaki seçeneklerden hangisinde doğru olarak verilmiştir?



19- Lamda sensörüyle ilgili aşağıdaki ifadelerden hangileri **yanlıştır**?

- I. Zirkonyum dioksit (ZrO_2) maddesinden yapılmıştır.
- II. Sensör belli bir sıcaklığa ulaştıktan sonra (yaklaşık $250^\circ C$) çıkış üretmeye başlar.
- III. Sadece hava fazlalık katsayısının (λ) 1 olduğu durumda çıkışı konum değiştirir.
- IV. Sensör, hava fazlalık katsayısının sayısal değerini elektronik kontrol ünitesine bildirir.
- V. Lamda sensörü silindirlere alınan hava içindeki oksijen oranını ölçer.
- VI. Egzoz manifoldu üzerinde bulunur.

A. I, III

B. III, VI

C. IV, V

D. II, VI

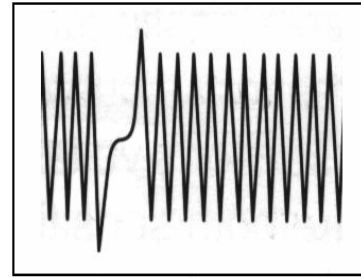
EK-1 (Devam) Başarı ve kalıcılık testi soruları

20- Ünlversal lamda sensörüyle ilgili aşağıdaki ifadelerden hangisi **yanlıştır**?

- A. Geniş bir ölçüm aralığına sahiptir, fakir karışımla çalışan motorlarda kullanılabilir.
- B. Temel mantığı lamda sensörü üzerine geliştirilmiştir.
- C. Sensör bir kontrol devresiyle çalıştırılabilmektedir.
- D. Sadece O₂ değil diğer gazların (HC, NO_x gibi) ölçümünde de kullanılmaktadır.

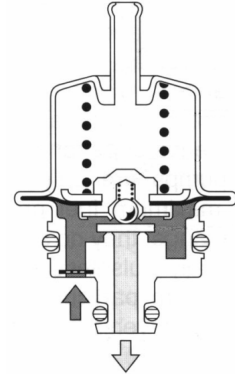
21- Yanda çıkış sinyali görülen sensör aşağıdakilerden hangisidir?

- A. Motor hız sensörü
- B. Kam mili konum sensörü
- C. Manifold Mutlak basınç sensörü
- D. Giriş havası sıcaklık sensörü



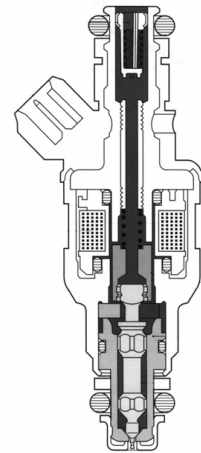
22- Yandaki şekilde gösterilen aktüatör aşağıdaki seçeneklerin hangisinde doğru olarak verilmiştir?

- A. Kanister boşaltma valfi
- B. EGR valfi
- C. Yakıt basınç regülatörü
- D. Rölanti düzenleme devresi



23- Yanda şekli verilen yakıt enjektörü için aşağıdaki seçeneklerden hangisi **yanlıştır**?

- A. Uçlarına gerilim uygulanması ile bobin etrafında oluşan manyetik alan iğneyi çeker ve enjektör açılır.
- B. Enjektörden püsküren yakıt miktarı enjektörün açık kalma süresi ve yakıt basıncıyla orantılıdır.
- C. Enjektör uçlarına uygulanan gerilim ve yakıt basıncına bağlı olarak belli bir gecikmeyle açılır.
- D. Enjektöre gelen yakıt basıncı belli bir değeri aşınca enjektör iğnesi mekanik olarak açılır.



EK-1 (Devam) Başarı ve kalıcılık testi soruları

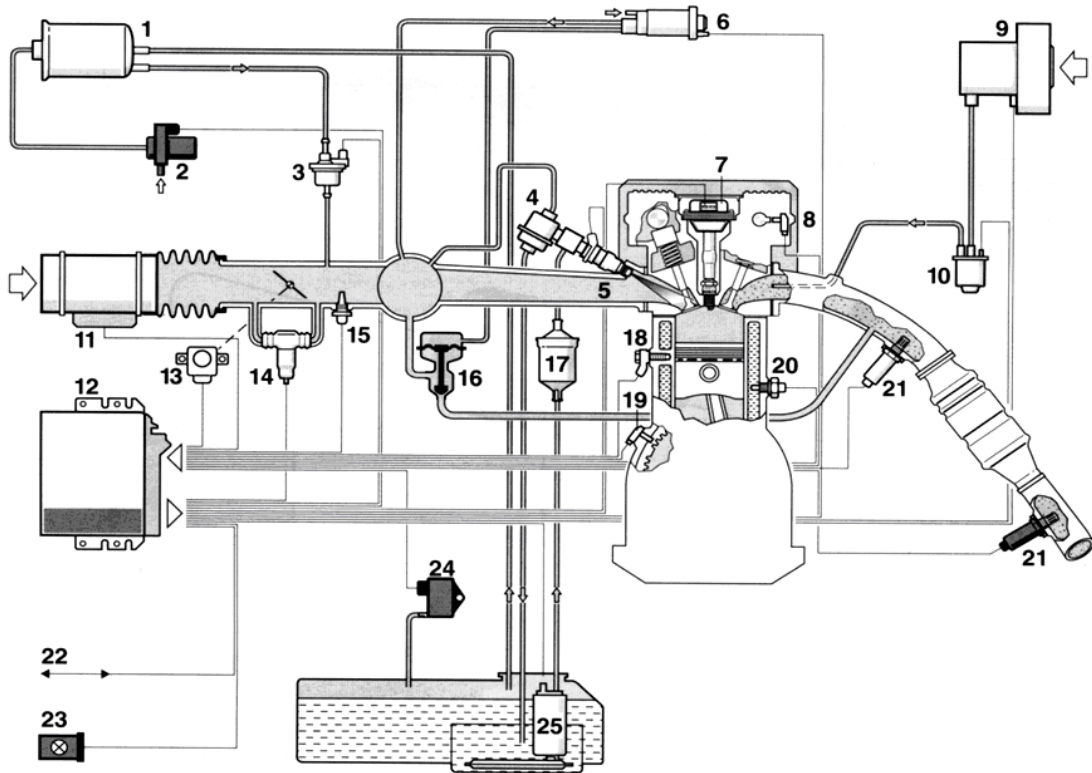
24- Kanister boşaltma valfi ile ilgili aşağıdaki seçeneklerden hangisi **yanlıştır**?

- A. Selenoid tipi bir elemandır, uçlarına 12V gerilim uygulanmasıyla açılır.
- B. Egzoz gazlarının bir kısmının emme manifolduna verilmesini sağlar.
- C. Karbon kanister üzerinde toplanan yakıt buharının emme manifolduna verilmesini sağlar.
- D. Elektronik kontrol ünitesi tarafından kontrol edilen bir aktüatördür.

25- Rölanti düzenleme devresi için aşağıdaki seçeneklerden hangisi **yanlıştır**?

- A. Yakıt enjeksiyon sistemli motorlarda rölanti çalışması için gerekli havayı temin eder.
- B. Gaz kelebeğinin her iki tarafını birbirine bağlayan bir kanal ve bu kanalı kontrol eden bir valften oluşur.
- C. Motorun rölanti çalışması yapıp yapmadığı bilgisini elektronik kontrol ünitesine bildirir.
- D. Selenoid tip ve step motorlu olmak üzere iki türü vardır.

26., 27. ve 28. soruları aşağıdaki şekle göre cevaplayınız.



EK-1 (Devam) Başarı ve kalıcılık testi soruları

26- Şekilde 13, 15 ve 19 numara ile gösterilen parçalar aşağıdaki seçeneklerin hangisinde doğru olarak verilmiştir?

- A. Gaz kelebeği konum sensörü, giriş havası sıcaklık sensörü, motor hız sensörü
- B. Hava akış sensörü, hava kalitesi sensörü, lamda sensörü
- C. Rölanti düzenleme devresi, hava akış sensörü, motor sıcaklık sensörü
- D. Elektronik gaz kelebeği, hava kalitesi sensörü, lamda sensörü

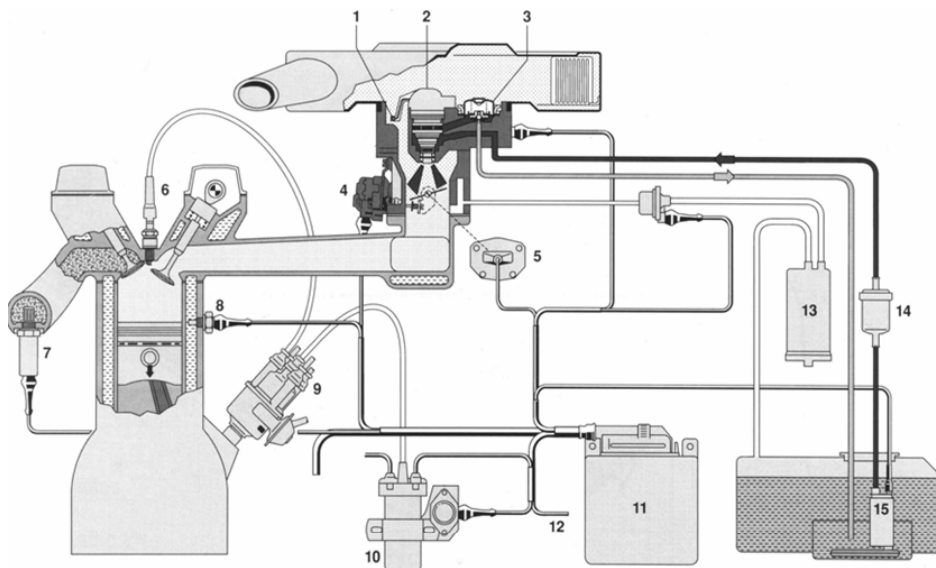
27- Şekilde 4, 14 ve 25 numara ile gösterilen parçalar aşağıdaki seçeneklerin hangisinde doğru olarak verilmiştir?

- A. Enjektör, EGR valfi, yakıt pompası
- B. Yakıt filtresi, gaz kelebeği konum sensörü, yakıt basınç regülatörü
- C. Yakıt basınç regülatörü, rölanti düzenleme devresi, yakıt pompası
- D. Kanister boşaltma valfi, EGR valfi, yakıt filtresi

28- Şekilde gösterilen yakıt sistemi aşağıdakilerden hangisidir?

- A. Tek nokta yakıt enjeksiyon sistemidir.
- B. Çok nokta yakıt enjeksiyon sistemidir.
- C. Direk enjeksiyonlu yakıt enjeksiyon sistemidir.
- D. Mekanik kontrollü yakıt enjeksiyon sistemidir.

29. ve 30. soruları aşağıdaki şekle göre cevaplayınız.



EK-1 (Devam) Başarı ve kalıcılık testi soruları

29- Şekilde gösterilen yakıt sistemi aşağıdakilerden hangisidir?

- A. Mekanik kontrollü yakıt enjeksiyon sistemidir.
- B. Çok nokta yakıt enjeksiyon sistemidir.
- C. Direk enjeksiyonlu yakıt enjeksiyon sistemidir.
- D. Tek nokta yakıt enjeksiyon sistemidir.

30- Şekilde 2, 5 ve 11 ile gösterilen elemanlar hangi seçenekte doğru olarak verilmiştir?

- A. Manifold mutlak basınç sensörü, rölanti düzenleme devresi, ateşleme bobini
- B. Giriş hava sıcaklık sensörü, gaz kelebeği konum sensörü, karbon kanister
- C. Enjektör, rölanti düzenleme devresi, elektronik kontrol ünitesi
- D. Enjektör, gaz kelebeği konum sensörü, elektronik kontrol ünitesi

31- Motor sıcaklık sensörünün arızalanması yakıt enjeksiyon sisteminin çalışmasına nasıl etki edebilir?

- A. Motorun sıcaklığının çok yükselmesine ve zarar görmesine neden olacağından elektronik kontrol ünitesi motoru durdurabilir.
- B. Motor sıcaklık sensörü sadece paneldeki sıcaklık göstergesine bilgi gönderdiğinden göstergenin yanlış değer göstermesi dışında herhangi bir sıkıntı meydana gelmez.
- C. Elektronik kontrol ünitesi motoru sıcak kabul edip, radyatör fanını devreye alabilir.
- D. Motorun sıcaklığı diğer sensörler yardımıyla hesaplanarak bulunabilir.

32- Bir taşıtın yüksek rakımlı bir yerde çalıştırıldığı durumda aşağıdakilerden hangisi doğrudur?

- A. Yüksek bölgelerde hacimsel verim düşeceğinden atmosfer basıncı ölçülerek telafisi yapılmalıdır.
- B. Yüksek bölgelerde emilen havanın soğuması performans kaybına neden olacağından ön ısıtma işlemi yapılmalıdır.
- C. Yüksek bölgelerde havadaki oksijen oranı daha fazla olduğundan püskürtülen yakıtın miktarı artırılmalıdır.
- D. Yüksek bölgelerde motorun çalışma koşullarında meydana gelebilecek değişim ihmal edilebilir boyuttur.

EK-1 (Devam) Başarı ve kalıcılık testi soruları

33- Aşağıdaki sensörlerden hangisi motor yükü bilgisi sağlar?

- A. Lamda sensörü
- B. Motor sıcaklık sensörü
- C. Kam mili konum sensörü
- D. Manifold mutlak basınç sensörü

34- Aşağıdaki sensörlerden hangileri motor hızı ve konumu bilgilerini sağlar?

- I. Gaz kelebeği konum sensörü
- II. Motor hız sensörü
- III. Lamda sensörü
- IV. Kam mili konum sensörü
- V. Manifold mutlak basınç sensörü

A. II, IV

B. I, II, III

C. II, III, IV

D. I, IV

35- Aşağıdaki sensörlerden hangisi yapılan enjeksiyon işleminin sonucuna dair bir geri besleme bilgisi sağlar?

- A. Gaz kelebeği konum sensörü
- B. Lamda sensörü
- C. Manifold mutlak basınç sensörü
- D. Kam mili konum sensörü

36- Aşağıdaki sensörlerden hangisinden alınan sinyaller analog değildir?

- A. Gaz kelebeği konum sensörü
- B. Manifold mutlak basınç sensörü
- C. Giriş havası sıcaklık sensörü
- D. Kam mili konum sensörü

37- Aşağıdaki sensörlerden hangisinde arıza meydana geldiğinde motor kesinlikle çalışmaz?

- A. Gaz kelebeği konum sensörü
- B. Motor hız sensörü
- C. Giriş havası sıcaklık sensörü
- D. Motor sıcaklık sensörü

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : ŞAHİN, Fatih
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 1980, Ankara
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 03122028651
 Faks : 03122120059
 e-mail : fasahin@gazi.edu.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı	2003
Lisans	Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Elektronik Bilgisayar Eğitimi Bölümü	2001
Lise	İskitler Endüstri Meslek Lisesi	1997

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2002	MEB Sorgun Ticaret Lisesi	Öğretmen
2002-	Gazi Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Science Citation Index (SCI) Kapsamındaki Dergilerde Yayınlanmış Makaleler

1. Ciniviz, M., Haşımoğlu, C., **Şahin, F.**, Salman, M.S., “Impact of Thermal Barrier Coating Application on Performance and Emissions of a Turbocharged Diesel Engine”, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D, Journal of Automobile Engineering*, 222(12), 2008.
2. Gürü, M., Koca, A., Can, Ö., Çınar, C., **Şahin, F.**, “Biodiesel Production From Waste Chicken Fat Based Sources and Evaluation with Mg Based Additive in a Diesel Engine”, *Renewable Energy*, 35(3), 2010.
3. Çınar, C., Can, Ö., **Şahin, F.**, Yücesu, H. S., “Effects of Premixed Diethyl Ether (DEE) on Combustion and Exhaust Emissions in a HCCI-DI Diesel Engine”, *Applied Thermal Engineering*, 30(4), 2010.

Engineering Index (EI) Kapsamındaki Dergilerde Yayınlanmış Makaleler

4. Can, Ö., Çınar, C., **Şahin, F.**, “Ön Karışımli Benzin Dolgusunun HCCI-DI Motorunda Yanma ve Egzoz Emisyonlarına Etkilerinin İncelenmesi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24(2), 2009.

Ulusal Hakemli Dergilerde Yayınlanmış Makaleler

5. Uzun, B., **Şahin, F.**, Koca, A., Salman, M. S., “ Kuru Tip Hava Filtreleri İçin Mikrodenetleyici Kontrollü Tıkanıklık Gösterge Devresi Tasarımı ve Bir Taşıt Üzerinde Uygulanması”, *Politeknik Dergisi*, 11(1), 2008.
6. Okur, M., Çetinkaya, S., **Şahin, F.**, Topgül, T., “Buji ile Ateşlemeli Bir Motorun Silindirinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Tasarımı”, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(2), 2009.

Uluslararası Kongre veya Sempozyumlarda Sunulmuş ve Tam Metni Basılmış Bildiriler

7. Şahin, F., Savaş, Y., Salman, S., “Elektronik Kuvvet Ölçüm Sistemi ve Hidrolik Motor Test Dinamometresine Uygulanması”, **8. Uluslararası Yanma Sempozyumu**, 8,9 Eylül 2004, Ankara, Türkiye.

8. Ciniviz, M., Haşimoğlu, C., Salman, M.,S., **Şahin, F.**, “Bir TD Motorda Silindir Kapak ve Supapların Termal Bariyer Kaplanmasının Performans ve Emisyon Parametrelerine Etkisi”, **8. Uluslararası Yanma Sempozyumu**, 8,9 Eylül 2004, Ankara, Türkiye.

9. Şahin, F., Salman, M.S., Savaş, Y., “Buji Ateşlemeli Bir Motor İçin Bilgisayar Kontrollü Bir Yakıt Enjeksiyon Sistemi Tasarımı” , **10. Uluslararası Yanma Sempozyumu**, 9,10 Ekim 2008, Sakarya, Türkiye.

10. Can, Ö., **Şahin, F.**, Çınar, C., Yücesu, H.S., “Bir Dizel Motorunda Emme Manifolduna Metanol Enjeksiyonunun Egzoz Emisyonları Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi”, **10. Uluslararası Yanma Sempozyumu**, 9,10 Ekim 2008, Sakarya, Türkiye.

11. Gürü, M., Koca, A., Can, Ö., Çınar, C., **Şahin, F.**, “Mg Katkılı Hayvansal Kökenli Biyodizelin Dizel Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi” , **10. Uluslararası Yanma Sempozyumu**, 9,10 Ekim 2008, Sakarya, Türkiye.

12. Şahin, F., Kafkas, F., Karatas, Ç., “An Electrochemical Machining Device for Residual Stresses Measurement in PM Parts by Layer Removal Method”, **4th International Conference on Powder Metallurgy, RoPM2009**, July 8–11, Craiova, Romania, 2009.

Projeler

1. Gazi Üniversitesi BAP, 07/2005–12, “Buji ile Ateşlemeli Bir Motorda Yakıt Enjeksiyon Sistemi Parametrelerinin Bilgisayarla Kontrolü” (Araştırmacı).
2. TR/04/A/F/EX1–027, “İçten Yanmalı Motorlarda Yakıt Enjeksiyon Sistemleri Eğitimi (Öğretim Elemanı Değişim ve Eğitimi)”, (Yararlanıcı).
3. Gazi Üniversitesi BAP, 07/2006–08, “Binek taşıtlarda kullanılan ABS fren sisteminin yol şartlarında taşıt güvenliğine etkilerinin araştırılması”, (Yardımcı Araştırmacı).
4. Gazi Üniversitesi BAP, 07/2009–23, “İçten Yanmalı Motorlarda LPG Kullanımının Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Araştırılması”, (Araştırmacı).
5. TÜBİTAK, 108M228, “Homojen Dolgulu Sıkıştırma ile Ateşlemeli Motorlarda Yanma, Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarının İncelenmesi”, (Araştırmacı).