

**SIKIŞTIRMA İLE ATEŞLEMELİ BİR MOTOR İÇİN
ELEKTRONİK KONTROLLÜ YAKIT
ENJEKSİYON SİSTEMİNİN
GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

**2012
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ**

Mustafa AYDIN

**SIKIŞTIRMA İLE ATEŞLEMELİ BİR MOTOR İÇİN ELEKTRONİK
KONTROLLÜ YAKIT ENJEKSİYON SİSTEMİNİN
GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

Mustafa AYDIN

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Eğitimi Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Ağustos 2012**

Mustafa AYDIN tarafından hazırlanan “SIKIŞTIRMA İLE ATEŞLEMELİ BİR MOTOR İÇİN ELEKTRONİK KONTROLLÜ YAKIT ENJEKSİYON SİSTEMİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Abdurrazzak AKTAŞ
Tez Danışmanı, Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 26/ 06/ 2012

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Raif BAYIR (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Abdurrazzak AKTAŞ (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Bülent ÖZDALYAN (KBÜ)

26/06/2012

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Mustafa AYDIN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SIKIŞTIRMA İLE ATEŞLEMELİ BİR MOTOR İÇİN ELEKTRONİK KONTROLLÜ YAKIT ENJEKSİYON SİSTEMİNİN GERKLEŞTİRİLMESİ

Mustafa AYDIN

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Abdurrazzak AKTAŞ

Ağustos 2012, 71 sayfa

Dizel motor araştırmalarında, motor performansına etki eden yakıt püskürtme basıncı ve zamanlaması gibi parametrelerin kontrol edilmesinin uğraştırıcı olduğu ve oldukça zaman aldığı bilinmektedir. Bu çalışmada, tek silindirli bir dizel motorun klasik yakıt enjeksiyon sistemi yerine motoru durdurmadan avans açısı, yakıt basıncı, yakıt miktarı, vb. değiştirilebilmesine imkan sağlayan elektronik kontrollü bir yakıt enjeksiyon sistemi gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan sistem ile değişik enjeksiyon basınçlarında ve sürelerinde püskürtülen yakıt miktarları ölçülerek dizel motor tam yük değişik hız ve sabit hız değişik yük koşullarındaki yakıt tüketimi verileri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen verilerden sistemin dizel motorda kullanılabileceği, araştırmaların daha kolay ve hassas bir şekilde yapılabileceği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Dizel motor, elektronik kontrol, klasik yakıt enjeksiyon.

Bilim Kodu : 715.3.026

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

DESINING AN ELECTRONICALLY CONTROLLED FUEL INJECTION SYSTEM FOR A COMPRESSED IGNITION ENGINE

Mustafa AYDIN

**Karabük University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Machine Education**

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Abdurrazzak AKTAŞ

August 2012, 71 pages

When the diesel engine researches, the control of parameters such as fuel injection pressure and timing which affect the engine performance is difficulty and gets a lot of time. In this study, single-cylinder engine's conventional fuel injection system changed to an electronically controlled fuel injection system. The designed system enables to change some operating parameters (advance angle, injection pressure and quantity, etc.) without stopping the engine. The system runned and measured the quantity of injected fuel at different injection pressure and period compared with the diesel engine fuel consumption for variable speed at full load and partial load at constant speed under actual working. The obtained data shows that system can be used with diesel engine and the researches can be done more easily and accurately.

Key Word : Diesel, electronically control, injection period, injection pressure.

Science Code : 715.3.026

TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması sırasında bana yol gösteren ve deneyimleri ile çalıőmalarımı yönlendiren başta değerli hocam Doç. Dr. Abdurrazzak Aktaş olmak üzere deney düzeneğinin kurulması ve laboratuvar çalışmaları sırasında bilgi ve birikimlerini esirgemeyen değerli çalışma arkadaşlarım Arő. Gör. Dr. Oğuzhan Doğan, Arő. Gör. Batıkan Erdem Demir ve tüm hayatım boyunca maddi ve manevi destekleriyle yanımda olan aileme ve tüm arkadaşlarıma teőekkürlerimi sunarım.

Bu alıőma Karabük Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı tarafından KBÜ-BAP-C-11.Y-025 proje numarası ile desteklenmiőtir.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
BÖLÜM 3	8
DİZEL MOTORLARINDA YANMA VE YANMAYA ETKİ EDEN FAKTÖRLER	8
3.1. YANMA	8
3.1.1. Tutuşma Gecikmesi	9
3.1.2. Kontrolsüz Yanma	10
3.1.3. Kontrollü Yanma	10
3.1.4. Art Yanma	11
3.2. YANMAYA ETKİ EDEN FAKTÖRLER	11
3.2.1. Püskürtme Avansının Etkisi	11
3.2.2. Karışım Oranının Etkisi	12
3.2.3. Sıkıştırma Oranının Etkisi	13
3.2.4. Püskürtülen Yakıt Miktarının Etkisi	13
3.2.5. Püskürtülen Yakıt Basıncının Etkisi	13

	<u>Sayfa</u>
3.2.6. Motor Devrinin Etkisi.....	14
3.2.7. Hava Giriş Sıcaklığı Ve Basıncının Etkisi	14
3.2.8. Karışımdaki Oksijen Yüzdesinin Etkisi	15
3.2.9. Aşırı Doldurmanın Etkisi	15
BÖLÜM 4	16
DİZEL MOTORLARINDA YAKIT ENJEKSİYONU VE YAKIT ENJEKSİYON SİSTEMLERİ.....	16
4.1. YAKIT ENJEKSİYONU	16
4.2. YAKIT ENJEKSİYON SİSTEMİ.....	18
4.2.1. Sıra Tipi Pompa.....	20
4.2.2. Eksenel Distribütör Tip Pompa	21
4.2.3. Radyal Distribütör Tip Pompa.....	21
4.2.4. Birim Enjektör Sistemi	22
4.2.5. Birim Pompa Sistemi.....	23
4.3. ORTAK BORU HATTI YAKIT ENJEKSİYON SİSTEMİ.....	24
4.3.1. Alçak Basınç Devresi	25
4.3.1.1. Besleme Pompası	26
4.3.1.2. Yakıt Filtresi	27
4.3.2. Yüksek Basınç Devresi.....	27
4.3.2.1. Yüksek Basınç Pompası.....	28
4.3.2.2. Ortak Boru Hattı	29
4.3.2.3. Ortak Boru Hattı Basınç Algılayıcısı	29
4.3.2.4. Ortak Boru Hattı Basınç Ayar Valfi	30
4.3.2.5. Enjektörler.....	31
4.3.3. Algılayıcılar ve EKÜ	34
4.3.4. Elektronik Kontrol.....	36
4.3.4.1. Mikrodenetleyicili Kontrol	36
4.3.4.2. Giriş/Çıkış Sistemleri.....	38
4.3.5. Ortak Boru Hattı Sisteminin Avantajları ve Dezavantajları.....	40
4.3.5.1. Ortak boru hattı Sisteminin Genel Avantajları	40
4.3.5.2. Ortak boru hattı Sisteminin Teknik Avantajları.....	41

	<u>Sayfa</u>
4.3.5.3. Ortak boru hattı Sisteminin Genel Etkileri	41
BÖLÜM 5	42
MATERYAL VE METOD	42
5.1. MATERYAL	42
5.1.1. Ortak Boru Hattı Düzenegi Elemanları	42
5.1.2. EKÜ Elektronik Devresi Elemanları	45
5.1.3. Çalışmada Kullanılan Enkoder	46
5.1.4. Dijital Osiloskop	47
5.2. METOD	48
5.2.1. Ortak Boru Hattı Düzeneginin Oluşturulması	48
5.2.2. EKÜ Kartının Yazılım ve Donanımı	49
5.2.3. Basınç Kalibrasyonunun Sağlanması	51
5.2.4. Enjektörün Uygun Çalışma Geriliminin Tespiti	52
5.2.5. Yakıt Enjeksiyon Deneyinin Yapılması	53
BÖLÜM 6	55
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA	55
6.1. ENJEKSİYON SÜRESİNE BAĞLI PÜSKÜRTÜLEN YAKIT MİKTARI	55
6.2. ENJEKSİYON BASINCINA BAĞLI PÜSKÜRTÜLEN YAKIT MİKTARI	56
6.3. DENEYSEL VERİLER İLE GERÇEK BİR MOTOR YAKIT İHTİYACININ KARŞILAŞTIRILMASI	57
6.4. FARKLI AVANS DEĞERLERİNDE SİSTEMİN ÇALIŞMASI	59
BÖLÜM 7	60
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	60
KAYNAKLAR	61
ÖZGEÇMİŞ	64

Sayfa

EK AÇIKLAMALAR A. FARKLI ÇALIŞMA GERİLİMLERİNDE ENJEKTÖRÜN ÇEKTİĞİ AKIM GRAFİKLERİ	61
EK AÇIKLAMALAR B. FARKLI AVANS DEĞERLERİNDE ENJEKTÖR KONTROL SİNYALİ VE ENJEKTÖR AKIMI	68

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Selenoid PWM sinyali.....	5
Şekil 2.2. İki gerilimli sürme devresi.	6
Şekil 2.3. Tek gerilimli sürme devresi.	6
Şekil 2.4. Enjektör gerilimi ve kontrol sinyali periyodu ilişkisi.	7
Şekil 2.5. Yüksek hızlı enjektör sürme devresi.	7
Şekil 2.6. Yüksek hızlı enjektör sürme devresine ait gerilim grafiği.	7
Şekil 3.1. Basınç ve püskürtülen yakıt miktarının KMA'ya bağımlı değişimi.	9
Şekil 3.2. Püskürtme avansının motor gücüne etkisi.....	12
Şekil 4.1. Bölünmüş yanma odalı ve direk püskürtmeli dizel motorlarında püskürtme.	16
Şekil 4.2. Değişik enjeksiyon sistemleri ve kullanım alanları.	19
Şekil 4.3. Dizel motor yakıt enjeksiyon sistemi.....	20
Şekil 4.4. Sıra tipi yakıt pompası ve Bosch sıra tipi yakıt enjeksiyon pompası.....	20
Şekil 4.5. Eksenel distribütör tip pompa.	21
Şekil 4.6. Radyal distribütör tip pompa.....	22
Şekil 4.7. Birim enjektör sistemi.	22
Şekil 4.8. Birim pompa sistemi.	23
Şekil 4.9. Ortak boru hattı yakıt enjeksiyon sistemi.....	24
Şekil 4.10. Alçak basınç devresi.	25
Şekil 4.11. Elektrikli besleme pompası kesiti.	26
Şekil 4.12. Yüksek basınç devresi.....	27
Şekil 4.13. Yüksek basınç pompası.....	28
Şekil 4.14. Yüksek basınç dağıtıcı boru.	29
Şekil 4.15. Ortak boru hattı basınç algılayıcısı.	30
Şekil 4.16. Ortak boru hattı basınç ayar valfi.....	30
Şekil 4.17. Basınç kontrol valfi elektriksel davranışı.....	31
Şekil 4.18. Selenoid enjektör.....	32
Şekil 4.19. Kontrol sinyaline karşılık enjektörün durumu.	34
Şekil 4.20. Algılayıcılar ve EKÜ.....	34

Sayfa

Şekil 4.21. Mikrodenetleyici ve çevresel birimleri	37
Şekil 4.22. Açık devre kontrol sistemi genel gösterim.....	37
Şekil 4.23. Kapalı devre kontrol sistemi genel gösterim.....	38
Şekil 4.24. Örnek sürücü devre.	39
Şekil 4.25. Geleneksel sistem ve ortak boru hattı sistemi enjeksiyon basıncı.	40
Şekil 5.1. Ortak boru hattı düzeneğinin şeması.....	42
Şekil 5.2. Ortak boru hattı.	43
Şekil 5.3. Elektrohidrolik enjektör ve basınç sınırlayıcı valf.	43
Şekil 5.4. Basınç algılayıcısı çıkış gerilimi grafiği.	44
Şekil 5.5. Analog basınç göstergesi.....	44
Şekil 5.6. Asenkron motor.....	44
Şekil 5.7. EKÜ elektronik devre şeması.....	45
Şekil 5.8. Güç kaynağı.	46
Şekil 5.9. Enkoder.	47
Şekil 5.10. Dijital osiloskop	48
Şekil 5.11. Ortak boru hattı düzeneği.....	48
Şekil 5.12. EKÜ blok diyagramı	51
Şekil 5.13. EKÜ kartı akış diyagramı.....	51
Şekil 5.14. EKÜ kartı	51
Şekil 5.15. Ortak boru hattı basınç algılayıcısı çıkışı.....	52
Şekil 5.16. Enjektörün sürülmesi.	52
Şekil 5.17. Farklı çalışma gerilimlerinde enjektörün çektiği akım.	53
Şekil 6.1. Enjeksiyon süresine bağlı püskürtülen yakıt miktarı	56
Şekil 6.2. Enjeksiyon basıncına bağlı püskürtülen yakıt miktarı	57
Şekil 6.3. Enjeksiyon süresine ve basıncına bağlı püskürtülen yakıt miktarı	57
Şekil 6.4. 30°-15°-0° KMA avans değerlerinde kontrol sinyali	59
Şekil Ek A.1. 14V Çalışma geriliminde çekilen enjektörün çektiği akım.	66
Şekil Ek A.2. 8V Çalışma geriliminde çekilen enjektörün çektiği akım.	66
Şekil Ek A.3. 22V Çalışma geriliminde çekilen enjektörün çektiği akım.	66
Şekil Ek A.4. 26V Çalışma geriliminde çekilen enjektörün çektiği akım	67
Şekil Ek A.5. 30V Çalışma geriliminde çekilen enjektörün çektiği akım	67

	<u>Sayfa</u>
Şekil Ek B.1. 35° KMA avans değerinde tam tur, enjektör kontrol sinyalleri ve çekilen akım	69
Şekil Ek B.2. 30° KMA avans değerinde tam tur, enjektör kontrol sinyalleri ve çekilen akım	69
Şekil Ek B.3. 25° KMA avans değerinde tam tur, enjektör kontrol sinyalleri ve çekilen akım	69
Şekil Ek B.4. 20° KMA avans değerinde tam tur, enjektör kontrol sinyalleri ve çekilen akım	70
Şekil Ek B.5. 15° KMA avans değerinde tam tur, enjektör kontrol sinyalleri ve çekilen akım	70
Şekil Ek B.6. 10° KMA avans değerinde tam tur, enjektör kontrol sinyalleri ve çekilen akım	70
Şekil Ek B.7. 5° KMA avans değerinde tam tur, enjektör kontrol sinyalleri ve çekilen akım	71
Şekil Ek B.8. 0° KMA avans değerinde tam tur, enjektör kontrol sinyalleri ve çekilen akım	71

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 5.1. Elektrohidrolik enjektör teknik özellikleri.	43
Çizelge 5.2. EKÜ kartı elemanları.	45
Çizelge 5.3. Enkoder Özellikleri	46
Çizelge 5.4. Dijital Osiloskop Özellikleri	47
Çizelge 5.5. Katana 178F teknik özellikleri.	54
Çizelge 5.6. Antor 6 LD400 teknik özellikleri.	54
Çizelge 6.1. Enjeksiyon basıncına ve süresine bağlı yakıt miktarı	55
Çizelge 6.2. Enjeksiyon süresine ve basıncına bağlı yakıt miktarı	56
Çizelge 6.3. Katana KM178F motoruna ait çevrim başına yakıt tüketimi	58
Çizelge 6.4. Antor 6 LD 400 motoruna ait çevrim başına yakıt tüketimi	58

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

KM178F	: Katana marka motor modeli
6 LD 400	: Antor marka motor modeli

KISALTMALAR

KMA	: Krank Mili Açısı
ÜÖN	: Üst Ölü Nokta
HSS1	: Yüksek hızlı anahtar 1 (High Speed Switch 1)
HSS2	: Yüksek hızlı anahtar 2 (High Speed Switch 2)
LS 1	: Silindir Seçimi 1 (Low Side Switch 1)
LS 2	: Silindir Seçimi 2 (Low Side Switch 2)
DGM	: Darbe Genişlik Modülasyonu (Pulse Width Modulation)
VBB	: Batarya Gerilimi (V)
ADC	: Analog Dijital Çevirici (Analog to Digital Converter)
TG	: Tutuşma Gecikmesi
PB	: Püskürtme Başlangıcı (°KMA)
PS	: Püskürtme Sonu (°KMA)
EGR	: Egzoz Gazı Geri Dolaşımı (Exhaust Gas Recirculation)
MCU	: Mikrodenetleyici Birimi (Microcontroller Unit)
MİB	: Merkezi İşlem Birimi
EKÜ	: Elektronik Kontrol Ünitesi
Y/H	: Yakıt Hava Oranı
NO _x	: Azot Oksit (ppm)
CO	: Karbonmonoksit (%)
CO ₂	: Karbondioksit (%)
HC	: Hidrokarbon (ppm)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Dizel Motoru, içten yanmalı bir motor tipidir. Daha özel bir tanımla, dizel motor oksijen içeren bir gazın sıkıştırılarak yüksek basınç ve sıcaklığa ulaşması ve silindir içine püskürtülen yakıtın bu sayede alev alması ve yanması prensibi ile çalışan bir motordur. Bu yüzden benzinli motorlardan farklı olarak ateşleme için bujiye ihtiyacı yoktur.

1800'lü yılların sonlarına doğru Rudolf Diesel tarafından bulunan dizel motor zaman içinde geliştirilmiş ve binek araçlarda da kullanılmaya başlanmasıyla çok hızlı bir yayılma göstermiştir. Dizel araçların benzinli araçlara olan yakıt ekonomisi ve performans üstünlükleri sebebiyle daha çok tercih edilmesi dizel motorlar üzerine olan araştırma faaliyetlerini tetiklemiştir. Piyasa koşullarındaki rekabetçi ortam ve yüksek enerji maliyetleri sebebiyle motor performansı ve alternatif yakıtlar üzerine yapılan araştırmalar artmaktadır. Günümüzde bu araştırma faaliyetleri alternatif dizel yakıtların bulunması, yakıt enjeksiyon sistemlerinin geliştirilerek motor için en ekonomik yakıt ve maksimum performansın belirlenerek motorun çalışma koşuluna göre ihtiyaç duyduğu yakıtın silindir içerisine gönderilmesi şeklinde söylenebilir.

Dizel motorlarında yanmanın kontrolü yakıt enjeksiyonu ile sağlandığından yakıt enjeksiyon sistemleri motor performansını ve emisyonlarını iyileştirme bakımından büyük öneme sahiptir. Geleneksel yakıt enjeksiyon sistemleri dizel motorları için istenilen daha düşük yakıt tüketimi, daha az zararlı egzoz emisyonu ve daha az gürültü seviyeleri gibi gittikçe artan talepleri artık karşılayamamaktadır. Bu istekleri karşılayabilmek için daha yüksek basınçta yakıt enjeksiyonu ve çok hassas bir püskürtme kontrolü gerekmektedir. Yarı iletken teknolojisindeki hızlı gelişmeler ile birlikte programlanabilir kontrolcülerin yaygınlaşması bu teknolojinin otomotiv alanına girmesine ve otomotiv elektroniğinin de hızla gelişmesine olanak tanımıştır.

Günümüz dizel motorlarında mekanik kontrolün yerini daha karmaşık ve birçok parametreyi kontrol etmeye olanak tanıyan elektronik kontrol almıştır. Dizel motorlarda yakıt enjeksiyonu kontrolünün mekanik regülatörler yerine elektronik devreler ile sağlanması, motorun çalışma koşullarına göre en uygun zamanda ve gerekli miktarda yakıt püskürtmenin yapılabilmesine olanak tanımıştır. Bu gelişme sonucunda, yakıt tüketimi, ses ve egzoz emisyonlarında önemli azalmalar elde edilmiştir.

Laboratuvar ortamında yapılan dizel motor araştırma çalışmalarında, motorun performansına etki eden yakıt püskürtme basıncı ve zamanlaması gibi parametrelerin kontrol edilmesinin zorluğu ve oldukça fazla zaman aldığı bilinmektedir. Klasik yakıt enjeksiyon sistemi ile çalışan bir motorda püskürtme avansı değiştirilebilmesi için motorun durdurulması ve pompa ile motor gövdesi arasına değişik kalınlıklarda şim takılması veya zaman ayar mekanizmasına müdahale edilmesi gerekmektedir. Benzer şekilde enjeksiyon basıncının değiştirilebilmesi için de enjektörün söküldükten sonra içinin açılması, enjektör içinde yer alan basınç ayar pullarının değiştirilerek veya enjektör başlığındaki kontra somun ayar vidası ile istenilen püskürtme basıncının elde edilip edilmediğinin denemesi gerekmektedir. Bu yöntem uygulanabilir olmasına rağmen çok da hassas olmayan ve uzun uğraşlar gerektiren bir yöntemdir.

Bu çalışmada tek silindirli bir dizel motorun klasik yakıt enjeksiyon sistemi yerine motoru durdurmadan bazı çalışma parametrelerinin (avans açısı, ortak boru hattı yakıt basıncı, yakıt miktarı) değiştirilebilmesine imkan sağlayan elektronik kontrollü bir yakıt enjeksiyon sistemi gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan sistemin amaçlanan hedefleri gerçekleştirme kabiliyeti deneysel olarak incelenmiş, elde edilen veriler dizel motorun gerçek çalışma koşullarında ölçülen tam yük değişik hız ve sabit hız değişik yük deneyleri sonrası elde edilen yakıt tüketimi verileri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen deneysel verilerden sistemin dizel motorlarda kullanılabileceği, araştırma faaliyetlerinin daha kolay ve hassas bir şekilde yapılabileceği tespit edilmiştir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Dizel motorların benzinli motorlara olan performans, ekonomi ve emisyon üstünlüğü dünya genelinde dizel motorlarının daha çok yaygınlaşmasına ortam hazırlamıştır. Buna bağlı olarak dizel motorları üzerine yapılan motor performansı ve alternatif yakıt araştırmaları büyük önem kazanmıştır. Dizel motorlarının bazı parametreleri değiştirilerek performans ve emisyonlar iyileştirilebilir. Püskürtme zamanlaması ve basıncı motor performansı ve egzoz emisyonlarını etkileyen önemli parametrelerdendir [1-3].

Alternatif yakıt ve motor performansı araştırmaları esnasında yapılan deneylerin zorluğu bilinmektedir. Bu araştırmalar esnasında genellikle tek silindri klasik yakıt enjeksiyon sistemine sahip dizel motorları kullanılmaktadır. Böyle bir motorda değişik püskürtme basıncı, süresi ve avansı deneylerinin yapılabilmesi uzun uğraşlar gerektirmektedir. Buna rağmen bu parametreler hassas olarak ayarlanamamaktadır.

Salman ve Topgül yaptıkları çalışmada bir dizel motorunda enjeksiyon basıncının motor performansına, soğutma suyu ve egzoz gazı yoluyla kaybedilen ısı enerjisine etkisini incelemişlerdir. Çalışmalarında enjeksiyon basıncını değiştirebilmek için enjektör yayının altına konulan basınç ayar pulları ile yay tansiyonunu değiştirme yoluna gitmişleridir [4].

Gümüş ve diğerleri yaptıkları çalışmada biyodizel yakıtının değişik enjeksiyon basınçlarında egzoz emisyonlarına etkisini incelemişlerdir. Çalışmalarında enjeksiyon basıncını değiştirebilmek için enjektörün içini açarak enjektör yayı ve iğnesi arasına 0.2 mm kalınlığında basınç ayar pulları yerleştirmişlerdir. Her bir basınç ayar pulu için enjeksiyon basıncının 2 MPa arttığını ifade etmişlerdir [5].

Sekmen ve Aktaş yaptıkları çalışmada biyodizel ile çalışan bir dizel motorda yakıt püskürtme basıncının performans ve egzoz emisyonlarına etkisini incelemişlerdir. Çalışmalarında püskürtme basıncını değiştirebilmek için enjektör yayı altına ayar şimi eklenerek püskürtme basıncını değiştirmişlerdir [6].

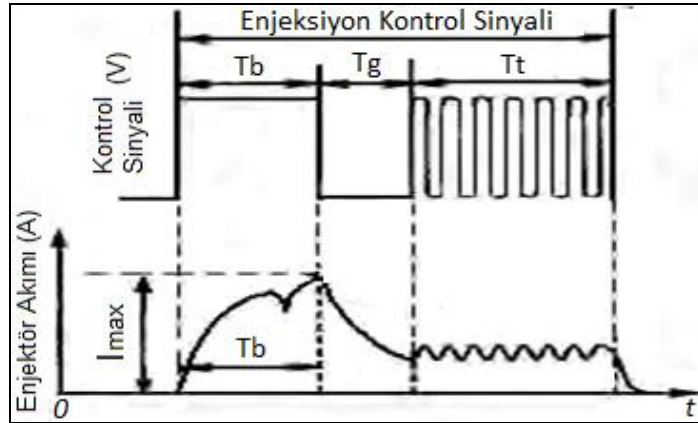
Sayın ve Çanakçı yaptıkları çalışmada çift yakıtlı bir dizel motorunda enjeksiyon zamanlamasının egzoz emisyonlarına ve motor performansına etkilerini incelemişlerdir. Enjeksiyon avansını değiştirebilmek için yakıt pompası ve motor gövdesi arasına 0.25 mm kalınlığında basınç ayar şimi yerleştirmişlerdir. Ekledikleri her bir basınç ayar şimi için enjeksiyon avansının 3° krank mili açısı (KMA) kadar arttığını ifade etmişlerdir [7].

Aktaş ve Sekmen yaptıkları çalışmada biyodizel ile çalışan bir motorun yakıt püskürtme avansının performans ve egzoz emisyonlarına etkilerini incelemişlerdir. Püskürtme avansını değiştirirken motorun yakıt pompasını yerinden sökmüşler ve pompa altında bulunan ayar şimini değiştirdikten sonra motoru tekrar çalıştırarak püskürtme avansının değişimini tespit etmişlerdir. İstenilen avans sağlanamadığı durumda aynı işlemlerin tekrarlanması gerekmektedir. Ayrıca çalışmalarında avans değerlerinin ayarlanması sırasında mekanik sebeplerden dolayı küçük farklılıkların ortaya çıktığını belirtmişlerdir [8].

Mikrodenetleyici ve yarı iletken teknolojisinin gelişmesi ile birlikte otomotiv sektörü de değişim sürecine girmiştir. Dizel motorlarda yaklaşık 20. yy. başından beri temel olarak değişmeyen mekanik tasarım ve klasik kontrol yöntemleri de bu değişimden etkilenmiştir. Klasik kontrolün yerini elektronik kontrol olarak dizel motorların performansında iyileşme sağlamıştır. Daha düşük egzoz emisyonu, gürültü ve yakıt tüketimine karşı daha iyi performans elde edebilen elektronik kontrollü yakıt sistemleri kullanılmaktadır. Dizel motorlarının püskürtme sistemlerinde yakıt kontrolünün mekanik regülatörler yerine elektronik devreler ile sağlanması, motorun çalışma koşullarına göre en uygun zamanda ve gerekli miktarda yakıt püskürtmenin yapılabilmesine olanak tanımıştır. Bu gelişme sonucunda, yakıt tüketimi, ses ve egzoz emisyonlarında önemli azalmalar elde edilmiştir [9].

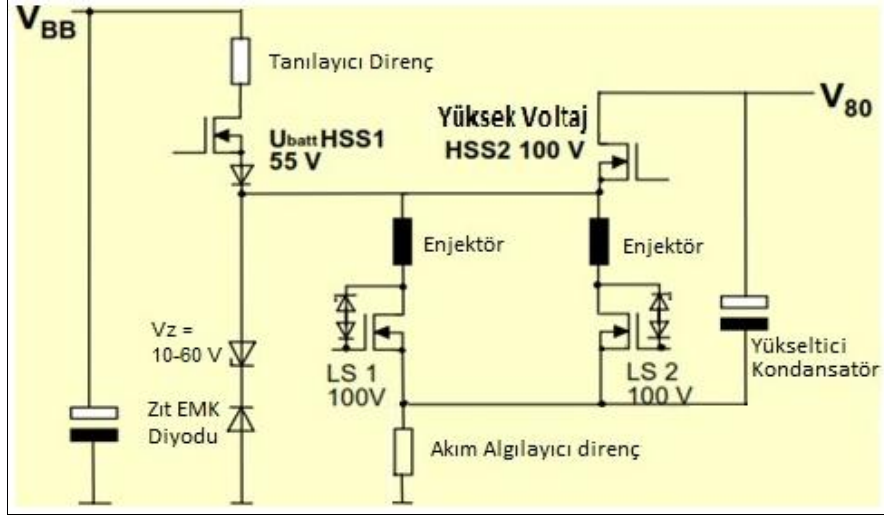
Elektronik kontrollü yakıt enjeksiyon sisteminde yakıt hat basınç valfi ve selenoid enjektör valfi kontrol edilerek püskürtme basıncı, süresi ve avansı kontrol edilmektedir. Sistemin temel görevi bu selenoid valflerin sürülebilmesi ile yapılmaktadır. Selenoid valflerin kontrolünde değişik sürme devreleri kullanılabilir. Bunlardan bazıları; tek gerilimli sürme devresi, iki gerilimli sürme devresi ve darbe genişlik modülasyonu (DGM) sürme devresidir [10,11].

An et al. çalışmalarında DGM'li sürme devresini kullanmışlardır. Şekil 2.1'de DGM'li sürme devresine ait çıkış sinyali görülmektedir. Çıkış sinyali; başlangıç darbesi, tutma darbesi ve gecikme darbesi olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır. Başlangıç darbesi kısmında selenoid valfin açılmasını sağlamak için ani bir akım artışı vardır. Tutma darbesi kısmında selenoid valfin açık kalmasını sağlayacak tutma akımı vardır. Tutma akımının değeri DGM sinyalinin frekansı ve görev süresi ile ayarlanır. Tutma akımının başlangıç değeri gecikme darbesi kısmı ile belirlenir [12].



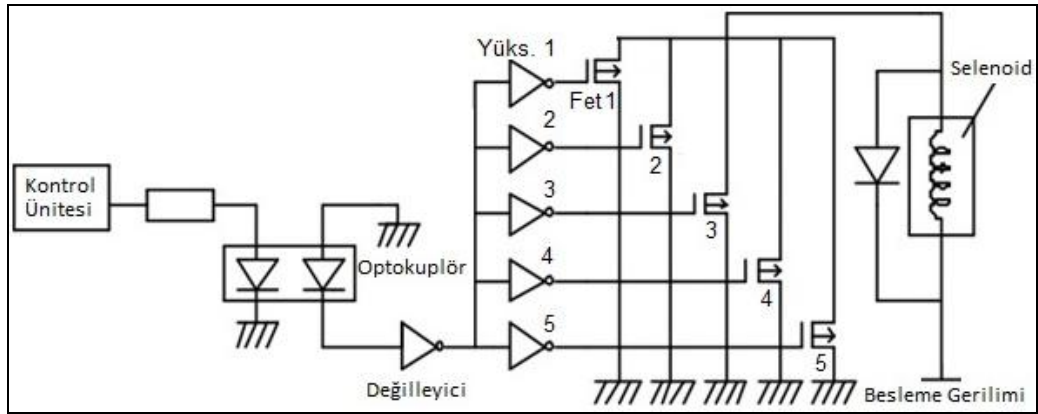
Şekil 2.1. Selenoid DGM sinyali [12-14].

Şekil 2.2'de iki gerilimli sürme devresi görülmektedir. Selenoid valfe uygulanan gerilimin genliği enjektörün açılma süresini doğrudan etkilemektedir. Daha hızlı cevap süresi için enjektöre açılma anında yüksek gerilim uygulanmakta, tutma gerilimi için batarya gerilimi uygulanmaktadır. HSS2 (High Speed Switch 2) yüksek gerilim anahtarlamasını, HSS1 (High Speed Switch 1) batarya gerilimi anahtarlamasını ve LS 1 (Low Side Switch) ve LS 2 silindir anahtarlamasını yapmaktadır.



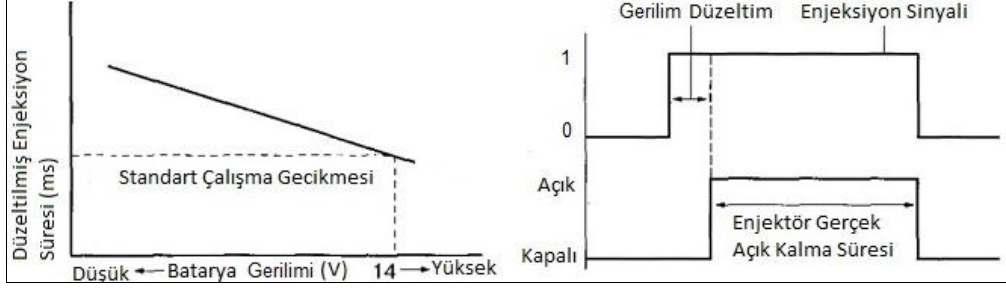
Şekil 2.2. İki gerimli sürme devresi [15].

Chae et al. yaptıkları çalışmada Şekil 2.3'te gösterilen tek gerimli sürme devresini kullanmışlardır. Selenoid enjektörün çekme yayı ucuna bağladıkları ağırlığa bağlı olarak enjektörün harcadığı gücü test etmişlerdir. Gerilim değerini 24 V'a kadar artırarak farklı çalışma gerilimlerinde selenoidin davranışını incelemişlerdir.



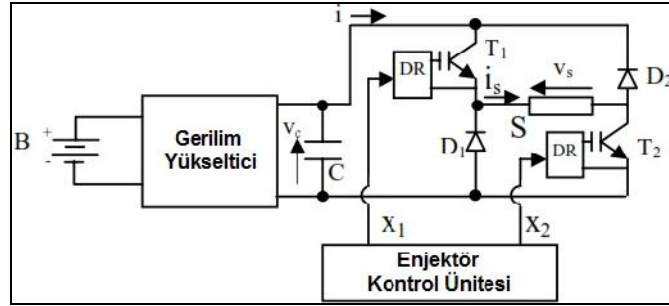
Şekil 2.3. Tek gerimli sürme devresi [16].

Enjektöre uygulanan çalışma geriliminin genliği selenoid davranışını doğrudan etkilemektedir. Düşük gerilim değerlerinde enjektörün açılması daha geç olmakta ve bunun sonucunda püskürtme süresi kısalmaktadır. Aynı açık kalma süresi için düşük gerilim değerlerinde enjektöre uygulanan sinyal daha uzun olmakta, yüksek gerilim değerlerinde enjektörün cevap süresi daha kısa olmaktadır. Bu durum Şekil 2.4'te gösterilmiştir.

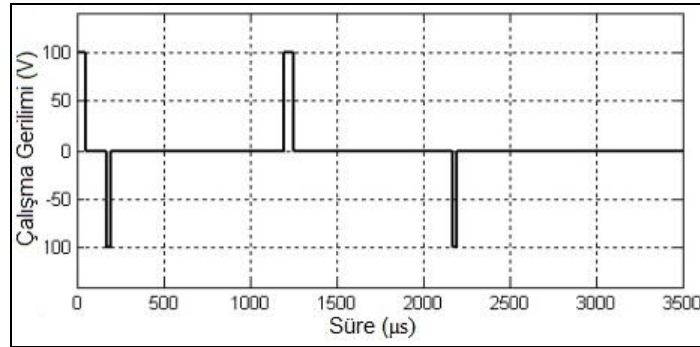


Şekil 2.4. Enjektör gerilimi ve kontrol sinyali periyodu ilişkisi [17].

Bianchi et al. daha hızlı sinyal üretebilen ve çoklu enjeksiyon yapabilen bir devre geliştirmişlerdir. Enjektörü 100V gerilimle çalıştırmışlar böylelikle daha keskin akım yükselmesi elde etmişlerdir. Enjektör açılma sinyalinin bitiminden kısa bir süre sonra negatif genlikli gerilim uygulayarak selenoid akımının daha keskin bir şekilde düşmesini sağlamışlardır. Kullandıkları yöntemin çok daha düşük miktarlarda yakıt enjeksiyonu sağladığını ifade etmişlerdir [18]. Şekil 2.5'te Bianchi ve arkadaşlarının kullandığı yüksek hızlı enjektör sürme devresi görülmektedir. Şekil 2.6'da bu devreye ait kontrol sinyali çıkışı görülmektedir.



Şekil 2.5. Yüksek hızlı enjektör sürme devresi.



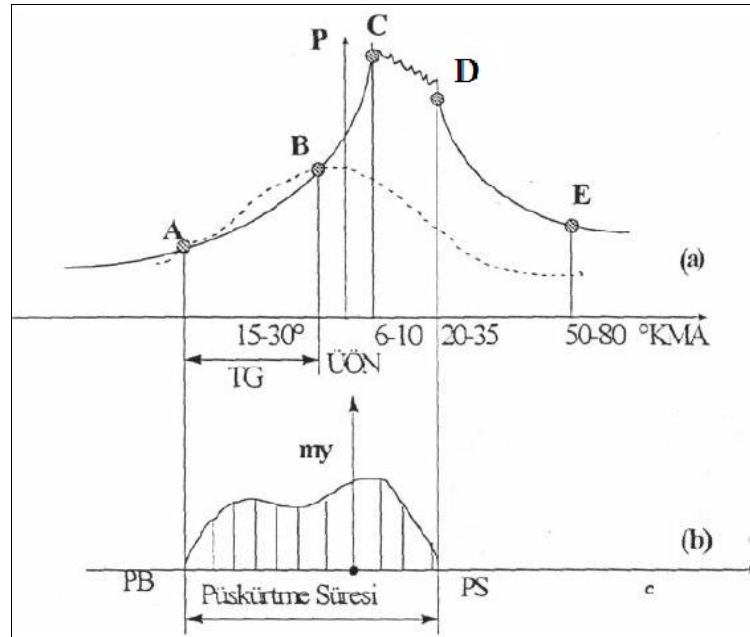
Şekil 2.6. Yüksek hızlı enjektör sürme devresine ait çıkış gerilimi grafiği.

BÖLÜM 3

DİZEL MOTORLARINDA YANMA VE YANMAYA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

3.1. YANMA

Dizel motorlarında yanma, yakıtın yanma odasına püskürtülmeye başlandığı andan, yanma ürünlerinin dışarıya atıldığı egzoz zamanı başlangıcına kadar geçen süre içerisindeki tüm fiziksel ve kimyasal olayları içerir. Dizel motorlarında hava, emme zamanında herhangi bir kısılmaya maruz bırakılmadan silindirlere tam olarak doldurulur. Sıkıştırma oranı yüksek olduğundan sıkıştırma zamanının sonuna doğru silindirdeki gaz sıcaklığı oldukça yüksektir. Üst ölü nokta (ÜÖN)'dan hemen önce yakıt püskürtülmeye başlanır ve yüksek sıcaklık nedeniyle tutuşur ve yanar. Şekil 3.2'de dizel motorlarında yanma safhaları ve yanma periyodu boyunca silindir basıncı ve püskürtülen yakıt miktarının KMA'ya bağımlı değişimi verilmiştir.



Şekil 3.1. Basıncı ve püskürtülen yakıt miktarının KMA'ya bağımlı değişimi [19].

Şekil 3.1 (a)'da bir dizel motoru için tipik bir basınç krank açısı diyagramı gösterilmiştir. Şekil 3.1 (b) kısmında ise püskürtme başlangıcından (PB) püskürtme sonuna (PS) kadar olan kütleli yakıt püskürtme miktarı görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi genel olarak dizel motorlarında yanma 4 ana bölgeye ayrılarak incelenmektedir:

- Tutuşma gecikmesi (A-B)
- Kontrolsüz yanma (B-C)
- Kontrollü yanma (C-D)
- Art (Gecikmiş) yanma (D-E) [19].

Püskürtme başlangıcından yanmanın başlamasına kadar olan süreç tutuşma gecikmesi, tutuşma gecikmesi ile silindir içinde yanma ile oluşan basıncın maksimum değerine ulaşması arasında kalan süreç kontrolsüz yanma, maksimum basıncın oluşumu ile maksimum sıcaklığın oluşumu arasında geçen süreç kontrollü yanma olarak tanımlanır ve son olarak genişleme ile sıcaklığın düşmesinin başlamasıyla art yanma süreci başlar.

3.1.1. Tutuşma Gecikmesi

Yakıtın püskürtülmeye başladığı an ile yanmaya başladığı an arasındaki safhadır. Yanmanın başlangıcı ile birlikte ani olarak basınç yükselir. P-KMA diyagramında bu artış net olarak gözlenebilmektedir. Püskürtülen yakıtın damlacıklarının buharlaşması belli bir süre almaktadır. Damlacıkların etrafında püskürtmenin hemen ardından bir buhar tabakası oluşmakta ve yanma bu buhar tabakasında başlamaktadır. Buhar fazındaki yakıtın yanma hızı buhar tabakasını çevreleyen havanın oksijen konsantrasyonu ile orantılıdır. Tutuşma gecikmesini etkileyen en önemli faktörler yakıt kalitesi, basınç ve sıcaklıktır. Yüksek basınç ve sıcaklık tutuşma gecikmesi süresini kısaltır. Tutuşma süresi boyunca püskürtülen yakıt miktarı tutuşma gecikmesi süresini etkilemez. Yakıt tutuşma gecikmesi süresi boyunca silindirlere girer ve tutuşma başlayıncaya kadar birikir.

3.1.2. Kontrolsüz Yanma

Tutuşma gecikmesinin ardından tutuşmanın başlangıcı ile birlikte yanma olayı başlar. Yakıt demetinin dış yüzeylerinde parçalanma daha fazla olduğu için yanma bu bölümden başlamaktadır. Ancak dizel motorlarda yanma farklı merkezlerde yanma şartları olduğu sürece başlayabilir. Tutuşma gecikmesi sırasında herhangi bir alev olmadığı için yanma gerçekleşmez ve bu süre zarfında yakıtın yakıt odasına püskürtülmesi devam eder. Tutuşma gecikmesi sırasında püskürtülen yakıt yanma için gerekli olan şartların sağlanması ile birlikte aniden alev alır ve yanar. Bu ani yanma sonucunda basınç ani olarak artar ve yüksek değerlere ulaşır. Bu basınç artışı tutuşma gecikmesi sırasında püskürtülen yakıt miktarı ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Dizel motorlarda bu ani basınç artışı ile birlikte piston, piston pimi gibi elemanlarının birbirine çarpması nedeni yüksek bir ses oluşmaktadır. Bu olaya dizel vuruntusu adı verilmektedir ve tutuşma gecikmesi sırasında püskürtülen yakıt miktarı ile doğru orantılıdır. Motorun yumuşak bir şekilde çalışmasını sağlamak için Tutuşma gecikmesi süresi kısaltılmakta veya püskürtülen yakıt miktarı azaltılmaktadır.

3.1.3. Kontrollü Yanma

Basıncın ani olarak yükselip maksimum değerine ulaşması ile birlikte kontrollü yanma süreci başlar. Bu süreçte yanma hızı buharlaşma hızı ve yakıt buharının hava ile karışma hızına bağlıdır. Kontrollü yanmada yakıt damlacıklarının çaplarının, hava hareketlerinin ve yerel hava fazlalık katsayısının birden yüksek değerlerde olmasının etkisi önemlidir. Dizel motorlarda daha önceden bahsedildiği üzere yanma cephesel olarak devam etmez. Yanma odası içersinde uygun koşulların sağlandığı farklı noktalarda yanma başlayıp ilerleyebilir. Bu durumda yanma hızını tayin etmek için yanma odası içersinde açığa çıkan toplam ısı miktarının değişimi tayin edilir. Bu fazda yakıtın yanmasının tamamlanmasının pistonun ÜÖN'ya yakın olduğu konumlarda gerçekleşmesi istenmektedir. Bu konumlarda sıcaklık yüksek mertebelere ulaşır. ÜÖN'dan uzaklaştıkça hacim artışı ile birlikte basınç düşecek yanmayan yakıt demetinin oluşma ihtimali artacaktır. Bu durumda is oluşumu gözlenir ve verim düşer. İçten yanmalı motorlarda verimin yüksek olması için

yanmanın ÜÖN'ya yakın olan konumlarda tamamlanması istenir. Ancak bu mümkün olmamaktadır. Hem dizel hem de benzin vuruntusundan dolayı bu seçenek gerçekleşmemektedir. Dizel motorlarında dizel vuruntusunun önlenmesi amacı ile tutuşma gecikmesi sürecinde püskürtülen yakıt azaltılır ise yanma süreci uzayacak yanma genişleme sürecine kayacaktır. Eğer tutuşma gecikmesi sürecinde püskürtülen yakıt miktarı artırılırsa yanma periyodu kısılacak fakat yanma sert bir şekilde gerçekleşecek buda motorun sert çalışmasına neden olacaktır. Tüm bu ihtimaller göz önüne alındığında motorun yumuşak çalışması ve yanma periyodunun ÜÖN çevresinde yapılması arasında çok hassas bir çalışma gerekmektedir.

3.1.4. Art Yanma

Yanma sürecinde maksimum sıcaklığa ulaşılmasının ardından art yanma başlar. Bu safhada yanma hızı karışım oluşum hızı ile doğru orantılıdır. Ayrıca bu süreçte zengin karışımın yanması sonucu oluşan eksik yanmış yanma ürünleri de yanabilmektedir. Art yanma egzoz zamanına geçilmeden sona erer.

3.2. YANMAYA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

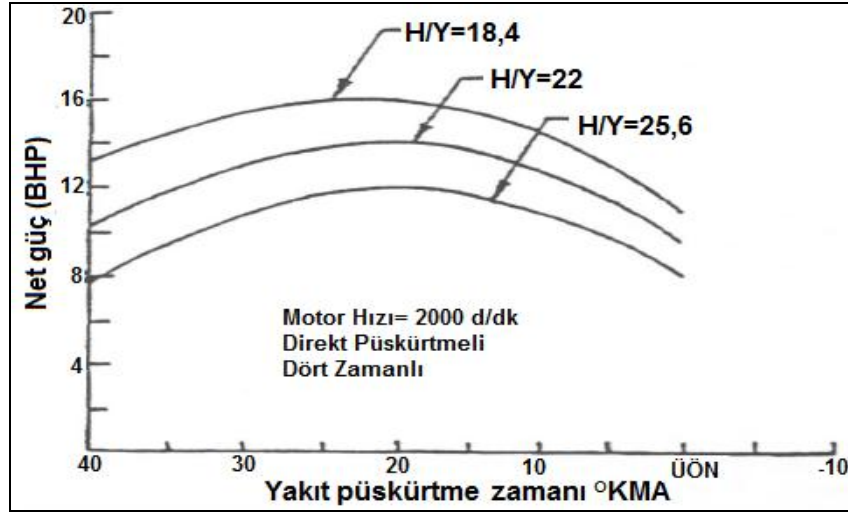
Dizel motorlarda yanma, yanma odası tasarımı, sıkıştırma oranı, yakıt kalitesi, püskürtme avansı ve basıncı gibi daha birçok parametreden etkilenmektedir. Bu parametrelerin optimize edilmesi ile yakıt ekonomisi sağlanırken aynı zamanda egzoz emisyonları azaltılabilmektedir [6].

3.2.1. Püskürtme Avansının Etkisi

Dizel motorlarda püskürtme avansı motor performans ve egzoz emisyonlarını etkileyen temel parametrelerden birisidir. Püskürtme avansı, tutuşma gecikmesini, maksimum basıncın oluşma yeri ve basınç artma hızını dolayısıyla yanma periyodunu doğrudan etkilemektedir.

Püskürtme avansının belirli noktaya kadar artması ile tutuşma gecikmesi kısılırken daha da artırılması tutuşma gecikmesi periyodunun uzamasına neden olmaktadır.

Optimum püskürtme avansı ile motor performansı ve egzoz emisyonlarında iyileşme sağlanabilmektedir [6, 20, 21]. Şekil 3.2’de püskürtme avansının motor gücüne etkisi görülmektedir.



Şekil 3.2. Püskürtme avansının motor gücüne etkisi [21].

Motorun optimum değerden daha fazla avans ile çalıştırılması halinde silindir içindeki basınç ve sıcaklıklar düşük olduğundan yakıtın tutuşma gecikmesi süresi artar. Bu sırada silindirde biriken yakıtın ani yanmasıyla basınç artma oranı yükseleceğinden motor vuruntulu çalışacak, silindir içi sıcaklık artacağından azot-oksit (NO_x) emisyonları artacaktır.

Püskürtme avansının optimum değerden daha az olması halinde silindir içi basınç ve sıcaklıklar daha yüksek olacağından tutuşma gecikmesi süresi azalır. Ancak, yakıtın büyük bir kısmı kontrollü yanma periyodunda yanacağından ve hacim genişlemesi nedeniyle yanma sonu maksimum ve ortalama efektif basınçlar düşecektir. Ayrıca, silindir içi sıcaklıklar düşük olacağından NO_x emisyonları azalacaktır [21].

3.2.2. Karışım Oranının Etkisi

Dizel motorlarında yakıt; silindire sıvı olarak püskürtülür ve içeride buharlaşır. Dolayısıyla, buharlaşmanın bölgesel durumuna bağlı olarak, silindir içerisindeki yakıt hava oranları (Y/H) homojen bir dağılım göstermez. Sadece havanın bulunduğu

noktalardan, sadece buharlaşmamış yakıt damlacığı bulunan noktalara kadar değişik Y/H oranları mevcuttur. Bu yüzden püskürtülen yakıt miktarından ziyade buharlaşan yakıt miktarı önem kazanmaktadır. Yanma, en uygun Y/H oranlarının olduğu noktalardan başlar. Bu nedenle Y/H oranının TG üzerinde doğrudan etkisi yoktur. Ancak, dolaylı olarak Y/H oranının azalması TG' nin artmasına yol açmaktadır. Yani TG'nin artması fakir karışımlarda açığa çıkan yanma ısısının ve buna bağlı olarak silindir cidar sıcaklığının düşük olmasından kaynaklanır [22].

Y/H oranının en önemli etkisi emisyonlarda görülür. Tam yükte, Y/H oranı ayarlanırken duman sınırı esas alınır. Bu sınır değeri aşıldığı takdirde fazla yakıt ile havanın karışımı için yeterli zaman olmayacağından yakıtın büyük bir bölümü kısmen yanmış veya yanmamış olarak dışarı atılır. Dolayısıyla duman emisyonu artar [22].

3.2.3. Sıkıştırma Oranının Etkisi

Sıkıştırma oranının yükseltildiği durumlarda sıkıştırma sonu sıcaklığı ve basıncında artış olması sebebiyle basınç değişim hızı (dp/dt) değerinin yükselmesi gerekirken yapılan deneysel çalışmalarda bu etkinin fazla olmadığı tespit edilmiştir [22].

3.2.4. Püskürtülen Yakıt Miktarının Etkisi

Dizel motorlarda sıkıştırma sonu sıcaklığı ve basıncı yüksek olduğundan püskürtülen çok az yakıt miktarı bile yüksek bir termik verimle yanmaktadır. Püskürtülen yakıtın enjeksiyon hızı yerine, püskürtme süresi değiştirildiği zaman kısa tutuşma gecikmesi süresince daha az yakıt püskürtülmekte ve böylece yanmanın ikinci safhasında dp/dt değerinde bir azalma görülmektedir [21].

3.2.5. Püskürtülen Yakıt Basıncının Etkisi

Düşük enjeksiyon basınçlarında yakıt damlacık boyutlarının büyümesi sonucu karışım oluşumu iyi olmadığı için bölgesel olarak fakir karışımlar ortaya çıkarak tam yanma yerine bölgesel eksik yanma meydana gelir ve sonuçta karbonmonoksit (CO)

oluşumu artmaktadır. Bu yüzden dizel motorlarında düşük enjeksiyon basıncı ve fakir karışımlar ile çalışmak CO emisyonunu arttırmaktadır.

Enjeksiyon basıncının artması ile yakıtın enjektörden çıkış hızı da artarak yakıt tanecik çapının küçülmesine ve taneciklerin dağılım aralığının da azalmasına sebep olmaktadır. Küçük çaplı taneciklerin ataleti büyük çaplı taneciklere göre daha düşük olduğundan nüfuz derinliği daha kısa olur. Bunun sonucunda tutuşma gecikmesi kısalmır ve tanecikler yanma odasının her tarafına tamamen dağılmadan yanma başlayacağı için NO_x oluşumu azalacaktır.

Yakıt püskürtme basıncının artması ile atomizasyon ve nüfuz derinliği üzerinde önemli bir etki olmaktadır. Bu durum hızlı yanma, motor verimi ve emisyonu üzerinde etkili olmaktadır [4,23].

3.2.6. Motor Devrinin Etkisi

Düşük motor devirlerinde TG süresince daha az yakıt birikeceğinden basınç artış hızı ve miktarı düşük olmaktadır. Yüksek ve düşük devirlerde TG süresi aynı olmasına rağmen iyi bir türbülans sağlayan motorda yüksek devirlerde yakıt miktarı değişmeyeceği ve aynı sürede daha iyi bir karışım mümkün olacağından daha az etkili hava hareketi sağlayan motora nazaran sadece yakıt miktarının fazla olmasından dolayı dp/dt oranı daha yüksektir [22].

3.2.7. Hava Giriş Sıcaklığı Ve Basıncının Etkisi

Karakuş tarafından yapılan çalışmada motora giren havanın basıncının yüksek olması tutuşma gecikmesini ve dp/dt oranını azaltmakta olduğu ve bu azalmanın temel olarak sıcaklık artışından kaynaklandığı belirtilmiştir [21].

Giriş basıncı arttıkça dolgu miktarı da artacağından daha fazla yakıt enjekte edilerek motor gücünün arttırılabildiği, motor soğutma suyu sıcaklığı ve hava giriş sıcaklığının fazla olduğu durumlarda TG'si ve dp/dt oranında azalma olduğu, fakat hava miktarında da azalma olacağından maksimum gücün düştüğü belirtilmiştir [21].

3.2.8. Karışımdaki Oksijen Yüzdesinin Etkisi

Hava yerine sadece oksijen kullanmanın birim hacim başına açığa çıkan enerji miktarını yaklaşık beş kat arttırdığı, karışımdaki artan oksijen yüzdesi enerji açığa çıkma hızını arttırarak tutuşma gecikmesini azalttığı ortaya konmuştur [19].

Sönmez tarafından yapılan deney sonuçlarına göre emme havasının oksijence zenginleştirilmesi ile motor performansları ve egzoz emisyonları açısından olumlu sonuçlar elde edilmiş, emme havasının oksijence zenginleştirilmesiyle motor momenti ve gücünün arttığı, özgül yakıt tüketiminin ise azaldığı deneysel olarak belirlenmiştir [22].

CO emisyonları emme havasının oksijence zenginleştirilmesi ile ortalama % 95,5 azaldığı görülmüş, buna karşın karbondioksit (CO₂) emisyonunda artış tespit edilmiştir. Bu durum yanmanın iyileştiğini ve termik verimin arttığını göstermektedir. Emme havası oksijence zenginleştirildiğinde hidrokarbon (HC) emisyonlarında azalma meydana geldiği saptanmıştır. Bu durum oksijen yüzdesinin artması nedeniyle yakıtın daha iyi oksitlendiğini gösterir.

Emme havasına oksijen ilave edilmekle yakıt oksijenle reaksiyona daha hızlı girmekte, bu ise silindir içi sıcaklığını arttırmakta ve NO_x emisyonlarında ciddi bir artışa sebep olmaktadır. Ayrıca hızlı reaksiyonun is emisyonlarını büyük ölçüde azalttığı belirlenmiştir [22].

3.2.9. Aşırı Doldurmanın Etkisi

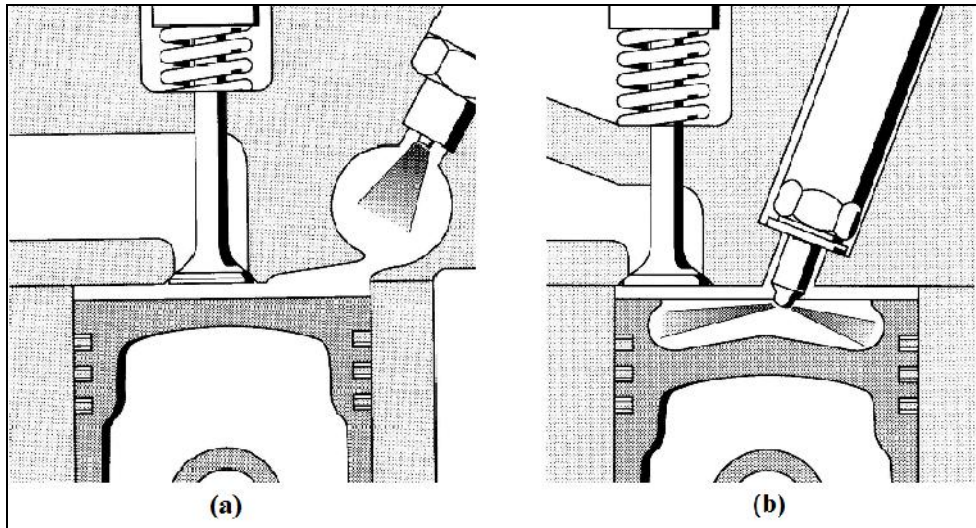
Aşırı doldurma giriş basıncını olduğu kadar giriş sıcaklığını da arttırır. Her iki artış da tutuşma gecikmesini azaltıcı yöndedir. Dolayısıyla aşırı doldurma, düşük basınç, yükselme hızı ve maksimum basıncın giriş basıncına oranı bakımından aynı motorun aşırı doldurması haline kıyasla daha olumlu sonuçları olduğu belirlenmiştir [21].

BÖLÜM 4

DİZEL MOTORLARINDA YAKIT ENJEKSİYONU VE YAKIT ENJEKSİYON SİSTEMLERİ

4.1. YAKIT ENJEKSİYONU

Dizel motorlarında, motorun devir sayısı ve yük durumuna göre miktarı belirlenen yakıt, püskürtme pompası tarafından, sıkıştırma zamanının sonlarına doğru, enjektöre gönderilerek yanma odası içerisine püskürtülmektedir. Böylece emme zamanında silindir içerisine giren hava ile püskürtülen yakıtın karışımı silindir içerisinde sağlanmaktadır. Yakıtın püskürtülmesindeki amaç, küçük damlacıklara ayrılarak hava ile temas eden yüzeyinin artırılmasıdır. Yakıtın atomizasyonu sonucu yanmanın kontrollü olarak ve kısa sürede gerçekleşmesi sağlanır. Dizel yakıtı Şekil 4.1’de gösterildiği gibi bölünmüş yanma odalı veya direk olarak püskürtülebilir.



Şekil 4.1. Dizel motorlarında püskürtme; a) bölünmüş yanma odalı, b) direk püskürtmeli.

Emme zamanı boyunca yanma odasına emilen havanın basıncı sıkıştırma zamanı sonunda 3-5 MPa ve sıcaklığı 900°-1200° K değerlerine ulaşmaktadır. Böylece sıkıştırma zamanı sonlarına doğru bu ortam içerisine püskürtülen yakıt kendi kendine tutuşarak yanar. Karışımın oluşturulması, dizel motorlarında, yakıtın yanma odasına püskürtülmesi ile başlar; ancak püskürtülen yakıt kütesinin miktarı ve püskürtme zamanlaması, püskürtme kanununa bağlı olarak püskürtme sisteminin bütünü tarafından belirlenmektedir. Bu bakımdan, motordan istenilen performansın alınabilmesi için püskürtme sisteminin bazı özelliklere sahip olması gerekmektedir:

- Püskürtme sistemi motorun yük durumuna göre, çevrim başına yanma odasına gönderilen yakıt miktarını hassas olarak ayarlayabilmelidir,
- Yakıt püskürtme işlemi gereken zamanda başlatılmalı, birim zamanda püskürtülen yakıt miktarı ve toplam püskürtme süresi hassas olarak ayarlanabilmelidir,
- Yakıtın parçalanması ve dağılımı yanma odası geometrisine uyum sağlayacak şekilde oluşturulmalıdır,
- Motorun düşük dönme sayılarında yanma stabilitesinin bozulmasına ve yüksek dönme sayılarında da art püskürtme olayına izin verilmemelidir,
- Karışım oluşturulması olayının çok silindirli motorlarda kararlı ve düzgün bir şekilde gerçekleşmesi için, püskürtme sistemi elemanlarında hidrodinamik benzerlik bulunmalıdır.

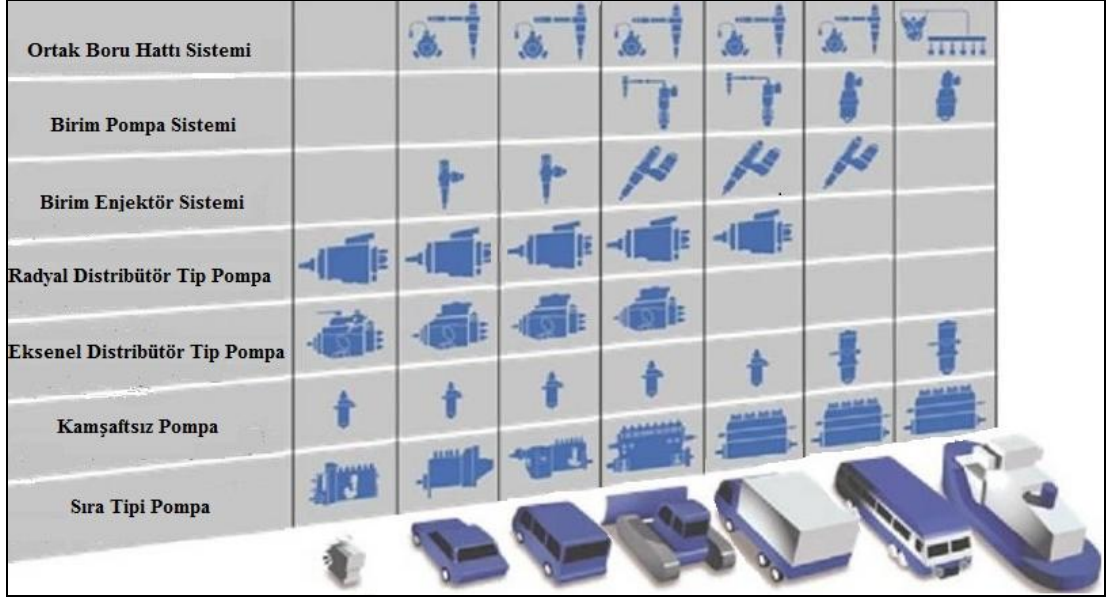
Püskürtme olayının süresi ve püskürtülen yakıt miktarının zamana göre değişimi, karışım oluşturma yöntemi ve yanma odası şekline bağlı olarak saptanmaktadır. Ancak genelde amaç, yanma veriminin en yüksek düzeyde ve egzoz gazları içerisindeki is miktarının da en düşük düzeyde olabilmesi için yanma odasına gönderilen yakıtın tümünün yakılabilmesidir. Bu da farklı motorlarda, farklı özellikteki enjeksiyon sistemlerinin kullanımı ile sağlanmaktadır.

4.2. YAKIT ENJEKSİYON SİSTEMİ

Dizel motorlarının icadından sonra birçok yakıt enjeksiyon sistemi geliştirilmiştir. Otomobiller için ilk yakıt enjeksiyon sistemi 1927 yılında Robert Bosch Şirketi tarafından geliştirilmiştir. Bu enjeksiyon pompası küçük, hafif ve yüksek motor hızlarına izin veren bir pompadır. Robert Bosch tarafından üretilen bu enjeksiyon pompası sadece ticari araçlarda kullanılmakla birlikte 1936'dan itibaren hususi otomobillerde de kullanılmaya başlanmıştır. Enjeksiyon pompasının geliştirilmesi yakıt-hava karışımının kalitesi açısından günümüzde de önemini korumaktadır. Enjeksiyon sisteminin görevi doğru miktarda yakıtı, zamanında ve yüksek basınç altında silindire ulaştırmaktır. Modern motorların karakteristik özelliği düşük yakıt tüketimi, emisyon ve gürültü ile yüksek tork üretmektir. Günümüz emisyon standartlarının (Euro 5 ve Euro 6) çok sıkı olduğu göz önüne alındığında yüksek güçlü ve düşük yakıt tüketimi olan çevre dostu dizel motorların geliştirilmesi basit bir problem değildir. Bu gereksinimleri karşılayabilmek için Elektronik Kontrol Ünitesi kullanılmaktadır. EKÜ motorun verimli çalışması için gereken uygun enjeksiyon basıncını ve süresini ayarlamaktadır. Dizel araçlarda kullanılan yakıt enjeksiyon sistemleri kullanılan pompa tipine göre:

- Sıra tipli sistemler
- Distribütör tipi sistemler
- Müşterek manifold tipi sistemler
 - Mekanik kumandalı müşterek manifold (ortak boru hattı)
 - Elektronik kumandalı müşterek manifold (ortak boru hattı)
- Cummins PT tipli sistemler
- Enjektör tipli sistemler [24].

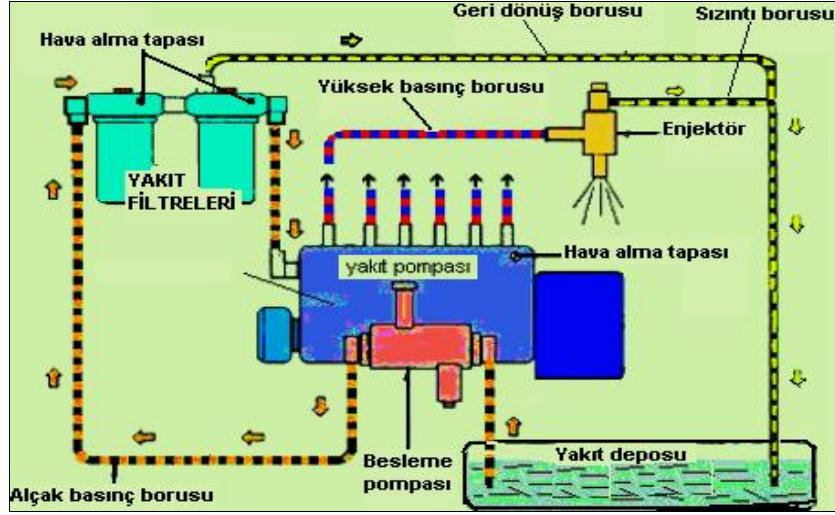
Dizel araçların kullanım alanları ve çalışma şartlarına göre farklı yakıt enjeksiyon sistemleri kullanılmaktadır. Şekil 4.2'de farklı enjeksiyon sistemleri ve kullanım alanları gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Değişik enjeksiyon sistemleri ve kullanım alanları [25].

Şekil 4.3'te dizel motora ait klasik bir yakıt enjeksiyon sistemi verilmiştir. Yakıt enjeksiyon sisteminin çalışmasını özetlemek gerekirse;

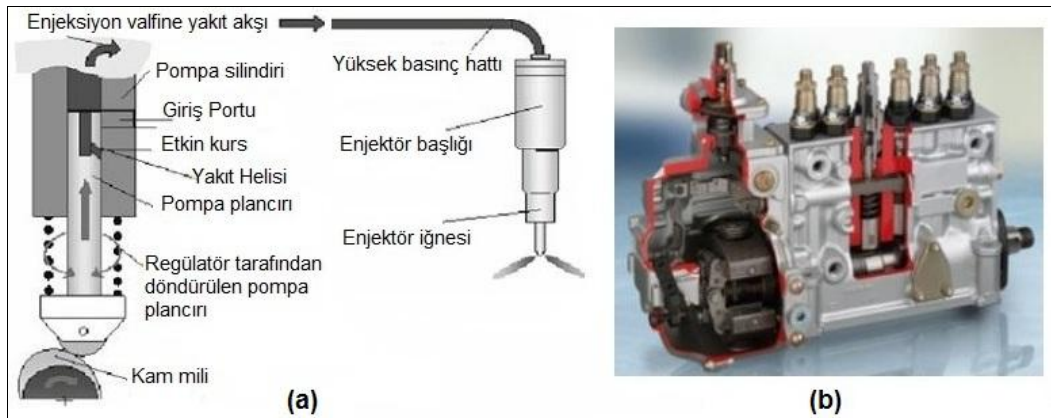
Besleme pompası tarafından depodan çekilen yakıt filtrelenerek yakıt pompasına aktarılır. Yakıt pompası yakıt basıncını 20-130 MPa gibi çok yüksek seviyelere çıkararak enjektörlere gönderen elemandır. Elektronik olarak kontrol edilmeyen yakıt enjeksiyon sistemlerinde yakıt pompası motorun yük ve hız durumuna göre enjektörlere gönderilen yakıtın miktarını ayarlar. Yakıt pompasından yüksek basınç boruları vasıtası ile enjektörlere gelen yakıt enjektör yapısında bulunan püskürtme deliğini kapatan yay gerilme kuvvetini yendiği anda silindir içine yakıtın püskürtülmesi işlemi başlamış olur. Yakıt pompasının yüksek basınçlı yakıtı kesmesi enjektör püskürtme deliğini kapatan yay kuvvetinin yakıt basıncını yenmesine neden olur ve püskürtme deliğinin tekrar kapanması ile püskürtme işlemi son bulur. Yakıt enjeksiyon sistemleri kullanılan pompanın yapısına göre sınıflandırılmaktadır.



Şekil 4.3. Dizel motor yakıt enjeksiyon sistemi [26].

4.2.1. Sıra Tipi Pompa

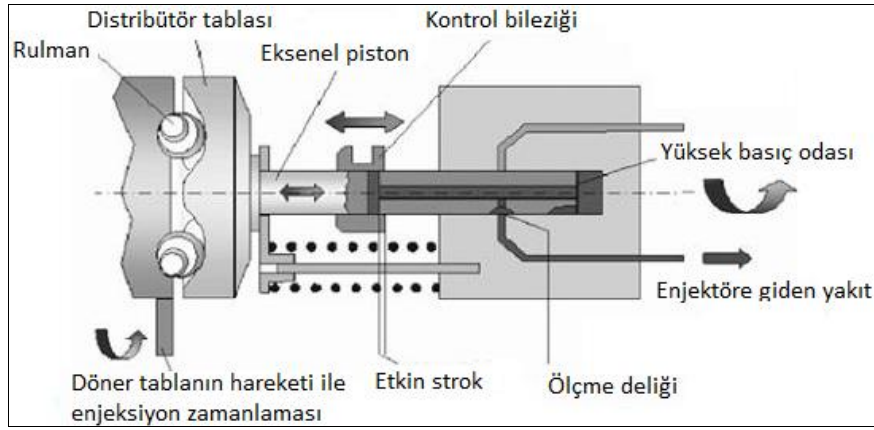
Şekil 4.4'te sıra tipi yakıt pompası eleman kesiti ve Bosch sıra tipi yakıt enjeksiyon pompası verilmiştir. Sıralı yakıt enjeksiyon pompalarında, her motor silindiri için bir pompa elemanı bulunur. Bunlar bir sıra halinde dizilidir. Sıralı yakıt enjeksiyon pompasının eksantrik mili, dişli veya zincir yardımıyla motor tarafından tahrik edilir. Sıralı yakıt enjeksiyon pompası motorun yarı hızında ve daima dizel motorunun piston hareketleriyle eşzamanlı olarak çalışır. Yakıt, enjektörlere yüksek basınç boruları aracılığıyla erişir. Sıralı yakıt enjeksiyon pompası, enjeksiyon sistemlerinin "klasikidir". Bugün ise yalnızca ticari taşıtlarda, şantiye ve tarımda kullanılan dizel motorlarda bulunmaktadır. 130 MPa'ya varan püskürtme basınçları sağlayabilir.



Şekil 4.4. Sıra tipi yakıt pompası; a) eleman kesiti, b) Bosch sıra tipi yakıt pompası.

4.2.2. Eksenel Distribütör Tip Pompa

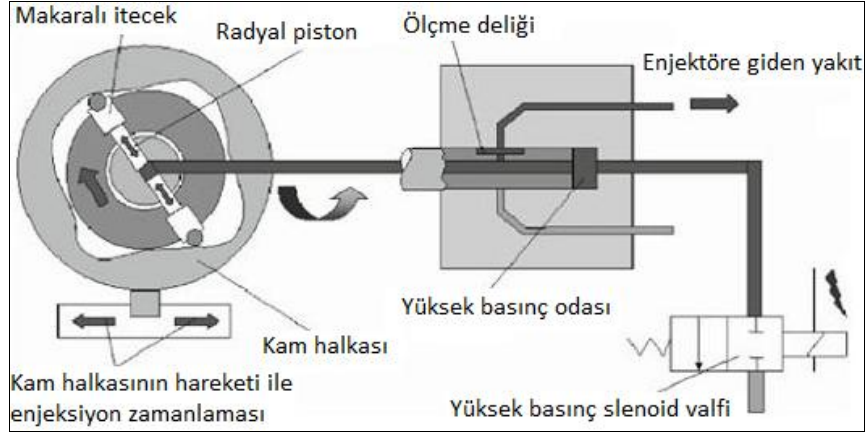
Şekil 4.5'te eksenel distribütör tip pompa verilmiştir. Bu tip pompada motorun tüm silindirleri için tek bir eksenel pompa elemanı bulunur. Pompa dişlisi hareketini motorun kam dişlisinden alır. Pompa çıkış deliği sayısı motor silindir sayısı ile aynıdır. Kam dişlisi tarafında tahrik edilen eksenel piston dairesel ve boyuna hareket eder. Merkez dağıtıcı piston enjektörlere giden yakıt portlarını açma ve kapama görevini yapar. Böylece enjeksiyon basıncını kontrol eder. Püskürtülen yakıt miktarı ve efektif güç kontrol bileziği tarafından kontrol edilir. Enjeksiyon zamanlaması pompa dişlisine göre döner dairesel halka tarafından ayarlanır.



Şekil 4.5. Eksenel distribütör tip pompa.

4.2.3. Radyal Distribütör Tip Pompa

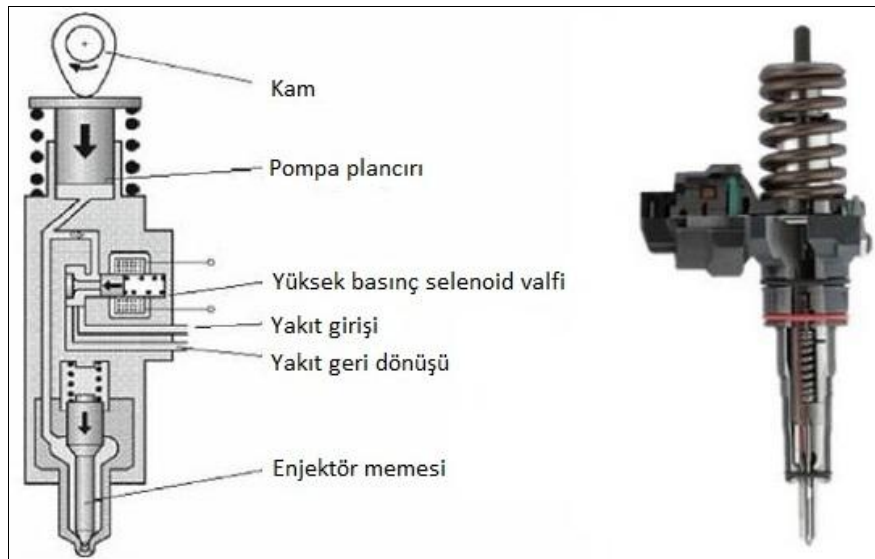
Şekil 4.6'da radyal distribütör tip pompa verilmiştir. Bu yüksek basınç pompası enjeksiyon basıncını radyal plancıklar vasıtasıyla elde eder. Kam halkası üzerinde silindir sayısı kadar kam çıkıntısı vardır. Radyal pistonlar kam halkası üzerinde yer alan makaralı itecek vasıtasıyla hareket ettirilir. Yakıt plancır tarafından sıkıştırılarak basınç kontrollü enjektör iğnesine ulaştırılır. Merkez distribütör rotorunun dönüşü emme ve çıkış portlarının açılıp kapanmasını sağlar. Selenoid valfin kapalı konumunda yüksek basınç elde edilir. Enjeksiyon zamanlamasının kontrolü kam halkasının avans mekanizması tarafından kısmen döndürülmesi ile ayarlanır.



Şekil 4.6. Radyal distribütör tip pompa.

4.2.4. Birim Enjektör Sistemi

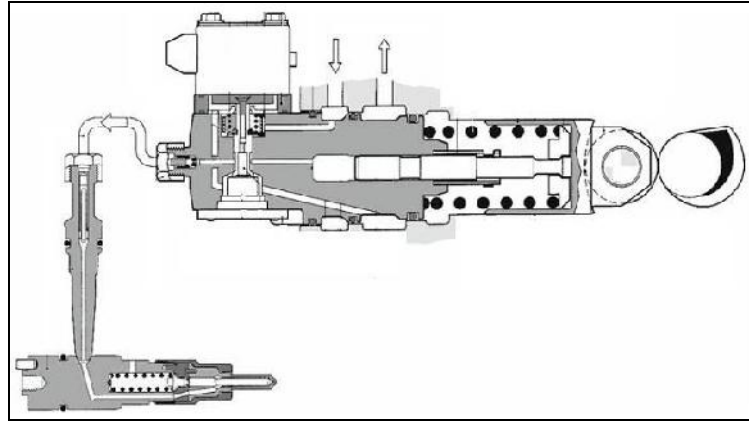
Şekil 4.7’de birim enjektör sistemi verilmiştir. Birim enjektör sisteminde her silindir için bir birim enjektör vardır. Enjektörler silindir kapağına yerleştirilmiştir. Pompa plancırı motor kamşaftı tarafından tahrik edilir. Pompa plancırı geri dönüş yayı ile birlikte yüksek basıncı oluşturur. Bu sistemin en büyük avantajı yüksek basınç borularına ve yüksek basınç pompasına ihtiyaç duyulmamasıdır. Yüksek basınç birim enjektör iğnesinin hemen öncesinde oluşturulur. Enjeksiyon başlangıcı ve miktarının kontrolü EKÜ tarafında kontrol edilen selenoid valf yardımı ile ayarlanır. EKÜ enjeksiyon süresini hesaplar ve kontrol eder.



Şekil 4.7. Birim enjektör sistemi.

4.2.5. Birim Pompa Sistemi

Şekil 4.8’de birim pompa sistemi verilmiştir. Birim pompa sistemi sadece ticari araçlar için kullanılmaktadır. Sistem prensip olarak birim enjektör sistemine çok benzemektedir. Farklı olarak yüksek basınç pompası enjektörlere kısa borularla bağlıdır. Aynı zamanda her bir motor silindiri için bir adet enjeksiyon birimi bulunmaktadır. Bu sistem motorun kam mili tarafından kontrol edilir. Enjeksiyon basınç kontrollüdür. Püskürtülen yakıt miktarı ve püskürtme başlangıcı yüksek basınç selenoid valfi tarafından kontrol edilir.

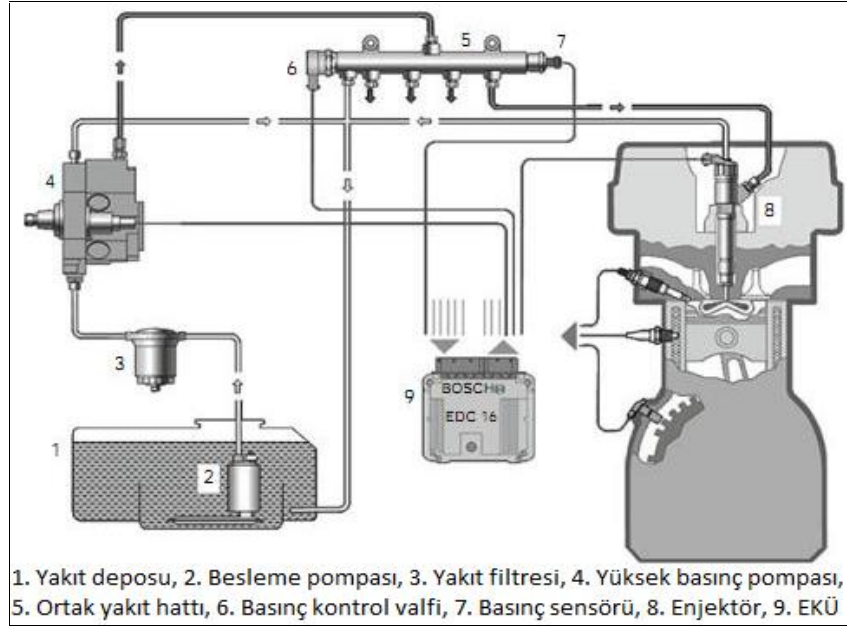


Şekil 4.8. Birim pompa sistemi.

Güç, yakıt tüketimi, egzoz ve gürültü emisyonu açısından modern dizel motorlardan beklentiler gün geçtikçe artmaktadır. Bu beklentilere cevap vermenin ilk şartı, iyi bir karışım hazırlamaktır. Motorların, bunun için yakıtta çok düşük bir kirlenme sağlayan ve enjeksiyonun başlangıcını ve miktarını kesin şekilde kontrol eden verimli enjeksiyon sistemlerine ihtiyaçları vardır. 50’li yıllardan beri dizel motorlar mekanik olarak kontrol edilen pompa enjektör sistemiyle birlikte ağır vasıta ve gemi motoru olarak kullanılmaktadır. İlk olarak Volkswagen, Robert Bosch AG ile birlikte binek otomobillerde de kullanılan ve manyetik bir valf ile kumanda edilen pompa-enjektör sistemli bir dizel motor geliştirilmiştir. Pompa-Enjektör sistemi yüksek beklentileri gerçekleştiren motorlarda en önemli sistemlerden biridir.

4.3. ORTAK BORU HATTI YAKIT ENJEKSİYON SİSTEMİ

Ortak boru hattı yakıt enjeksiyon sistemi İngilizce’de Common Rail olarak adlandırılan, "tutuculu püskürtme" veya "ortak boru" anlamına gelen, dizel motorlarda kullanılan bir yakıt enjeksiyon sistemidir. Bugüne kadar kullanılan aynı türdeki sistemlere göre yakıt sarfiyatı, egzoz gazı emisyonu ve düşük gürültü oluşumunda daha üstün bir sistemdir. Direkt tahrik edilen blok veya tek pompalı sistemlerden farklı olarak ortak boru hattı yakıt enjeksiyon sisteminde basınç oluşumu ve püskürtme ayrılmaktadır. Geleneksel dizel direkt püskürtücüleri yaklaşık 900 bar’lık basınç ile çalışırken, Ortak boru hattı sistemi, yakıtı 1500 ile 2000 bar’a kadar yükselen bir basınçta ortak bir boru üzerinden enjektörlere dağıtır. Elektronik motor kumandası, bu yüksek basıncı, motorun devir sayısına ve yüküne bağlı olarak ayarlar [9]. Şekil 4.9’da ortak boru hattı yakıt enjeksiyon sistemi görülmektedir.



Şekil 4.9. Ortak boru hattı yakıt enjeksiyon sistemi.

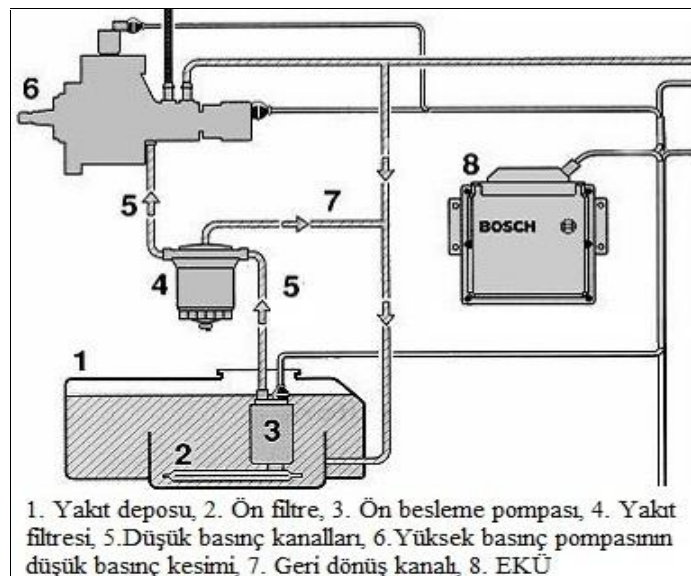
Püskürtmeyi, enjektörler üzerinde bulunan ve süratle anahtarlanabilen manyetik supaplar sağlamaktadır. Bu da püskürtmenin şekillendirilmesi, püskürtme miktarının ölçülmesi ve yakıt püskürtmesi zamanlaması bakımından daha etkili bir kontrol sağlamaktadır. Basınç oluşumunun ve püskürtmenin ayrılmasına ilişkin tek şart, bir dağıtıcı boru ve enjektörlere giden borulardan oluşan, Yüksek Basınç Tutucusu'dur.

Sistemin çekirdek parçası, manyetik supap kumandalı enjektördür. Püskürtme olayı, beyinden manyetik supaba giden bir sinyal ile başlatılır. Püskürtülen yakıt miktarı, hem manyetik supabın açılma süresine hem de sistem basıncına bağlıdır. Sistem basıncını, yüksek basınçlı, pistonlu pompa oluşturmaktadır. Pompa düşük tahrikli dönme momenti ile çalıştığından dolayı motora binen pompa tahrik yükü klasik enjeksiyon sistemine göre daha azdır. Ortak boru hattı sistemi ile motor gürültü seviyesi azalmış olmakla birlikte egzoz emisyonlarında da iyileşmeler kaydedilmiştir [24].

Ortak boru hattı sistemi 3 alt kısımdan oluşur. Bunlar alçak basınç devresi, yüksek basınç devresi ve EKÜ ve algılayıcılardan oluşmaktadır [27].

4.3.1. Alçak Basınç Devresi

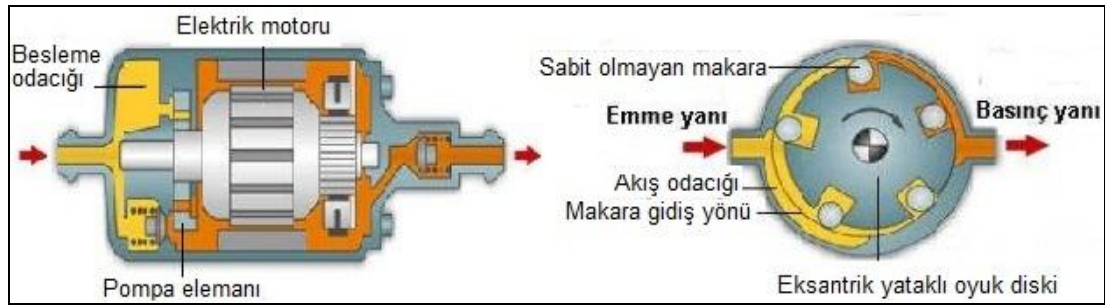
Alçak basınç devresinde yakıt, yakıt tankından yüksek basınç pompası yönüne taşınmaktadır. Yakıt, besleme pompası ve ön süzgeç ile depodan çekilerek, hat boyunca yüksek basınç devresine basılmaktadır. Yakıttaki pislik, yüksek hassasiyetteki parçaların erken aşınmasını önleyecek ölçüde bir filtre tarafından yakıttan ayrılmaktadır. Şekil 4.10'da ortak boru hattı alçak basınç devresi görülmektedir.



Şekil 4.10. Alçak basınç devresi [28].

4.3.1.1. Besleme Pompası

Dizel yakıtı depodan, 12 V gerilimle çalışan elektrikli bir ön besleme pompası vasıtası ile emilir. Elektrikli tip yakıt pompası sadece otomobillerde ve hafif ticari araçlarda kullanılır. Görevi, sadece yüksek basınç pompasına yakıt göndermek değil, aynı zamanda sistemin çalışması sırasında acil bir durumda yakıt akışını kesmektir. Motor dönmeye başladığında, elektrikli tip yakıt besleme pompası motor hızından bağımsız olarak sürekli şekilde döner. Bu yakıt deposundan alınan yakıtın filtreden yüksek basınç pompasına sürekli olarak gönderildiği anlamına gelir. Fazla yakıt kontrol valfinden depoya geri gönderilir. Şekil 4.11’de elektrikli besleme pompası kesiti gösterilmektedir.



Şekil 4.11. Elektrikli besleme pompası boyuna ve enine kesitleri.

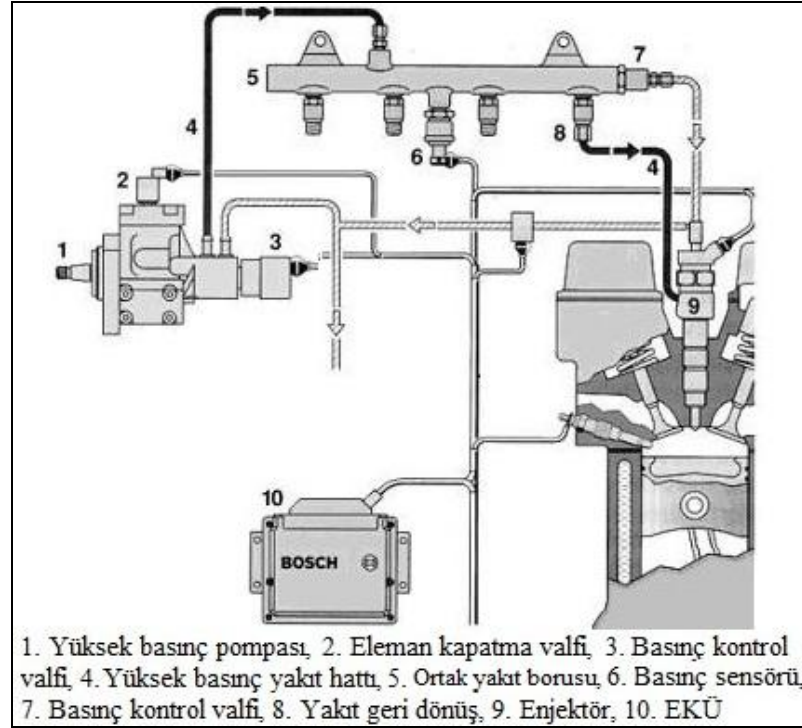
Elektrikli yakıt pompaları, hat üzerine veya depo içerisine takılan tipte olabilirler. Elektrikli pompa, hacimsel silindri tiptedir; daimi mıknatıslı bir motoru vardır. Motor tarafından döndürülen çark, emme kanalından besleme kanalına doğru değişen hacimler oluşturur. Pompanın iki adet valfi vardır, bu valflerden biri pompa çalışmıyor iken yakıt devresinin boşaltılmasını önleyen, diğeri ise basıncın 0.5 MPa değerini geçmesi halinde, yakıtın tahliyesini sağlayan yüksek basınç valfidir. Elektrik motoru, makaralı hücre pompası elemanını çalıştırarak emme tarafındaki odacığın yakıtla dolmasını sağlar. Pompa elemanında, bir oyuk içindeki yatağa eksantrik olarak bir disk yerleştirilmiştir. Diskte sabit olmayan makaralar bulunur. Yakıt emme tarafında, odacığın tabanı ve makaralar arasına akar. Dönme hareketi ve yakıtın basıncı ile makaralar dönüş yönüne bastırılırlar. Bu şekilde yakıtın basma tarafındaki çıkışa ulaşması sağlanır

4.3.1.2. Yakıt Filtresi

Kartuş tipindeki yakıt filtresi, kağıt disklerden yapılmış, filtreleme yüzey alanı 5300cm² ve filtreleme derecesi 4-5 µm olan bir filtre elemanını içerir. Filtrede, filtre üzerine monte edilmiş olan termik bir anahtar tarafından kumanda edilen bir ön ısıtma tertibatı mevcuttur. Dizel yakıtının sıcaklığı 6 °C'nin altına düştüğü zaman bir direnç yakıtı püskürtme pompasına göndermeden önce 15 °C'ye kadar ısıtır. Filtre kartuşunun tabanında, filtrede yoğuşan suyun boşaltılması için bir tapa mevcuttur.

4.3.2. Yüksek Basınç Devresi

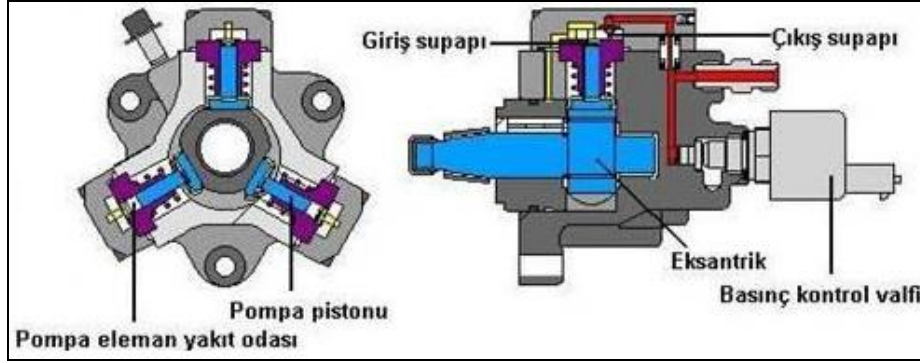
Şekil 4.12'de ortak boru hattı yüksek basınç devresi görülmektedir. Yakıt, bir filtre boyunca yüksek basınç hattına (üretici) basan ve maksimum 2000 bar basınç üreten yüksek basınç pompasına geçmektedir. Her enjeksiyon işlemi için yakıt, yüksek basınç hattından alınmaktadır. Hattaki basınç, yakıtın elastikiyetinin besleme etkisi olduğu halde sürekli sabittir. Bunun haricinde bir basınç kontrol valfi, hattaki basıncın istenen değeri aşmamasını veya aşağı düşmemesini sağlamaktadır.



Şekil 4.12. Yüksek basınç devresi [27].

4.3.2.1. Yüksek Basınç Pompası

Yüksek basınç pompası, 200 MPa'lık azami basınç üreterek, sıkıştırılmış yakıtın yeterli bir miktarını dağıtıcı eşiğine, diğer bir deyimle basınç ayar ünitesine iletir. Şekil 4.13'te yüksek basınç pompası kesiti görülmektedir.



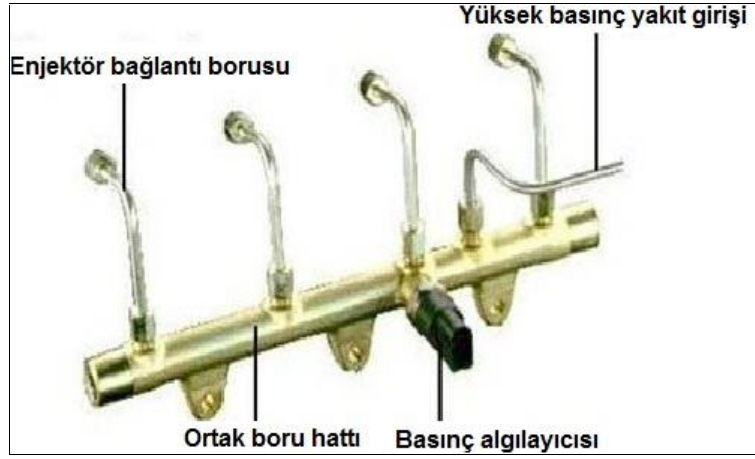
Şekil 4.13. Yüksek basınç pompası kesiti.

Yüksek basınç pompası, radyal pistonlu tipte bir pompadır. Üç adet radyal pistonu vardır. Pompaya senkronizasyon gerektirmeyen triger kayışı tarafından hareket verilir. Pompa, motor ile senkronize edilmesi gerekmeden, motorun dönme hızının yarısına eşit bir hızda döner. Yüksek basınç pompası, alçak basınç ve yüksek basınç beslemesi arasındaki bağlantıyı sağlar. Bu esnada yakıt üç pompa elemanı tarafından sıkıştırılır. Pompa elemanlarının arasında eksantrik kamı ve eksantrik mili bulunur. Eksantriğin hareketi, 120° aralıklı yerleştirilen pistonların aşağı-yukarı hareketine yol açar. Pompa, uygun kanallar üzerinden, içeride dolaşan aynı dizel yakıt ile yağlanır ve soğutulur. Pompa, uygun şekilde soğutmanın sağlanması için, düşük basınçta en az 0,5 bar ile ve besleme debisinden en az 0,5 l/dk. daha fazla bir debi ile beslenmelidir.

Her pompa elemanın üstünde birer giriş ve çıkış supabı bulunur. Pompa elemanlarının bir tanesinin pistonunun aşağıya doğru hareketi, besleme pompasından yakıt akışı için gerekli basıncın giriş supabının açılma basıncından daha yüksek olmasına yol açar. Yakıt, pompa elemanın boş bölmesine emilir. Piston alt ölü noktaya geldiğinde basıncın düşmesinden dolayı giriş supabı kapanır ve yakıt akışı durur. Tekrar yukarıya doğru hareket eden bir pompa pistonu, yakıtı sıkıştırmaya

başlar. Pompa elemanında rail sisteminde mevcut olan basınca ulaşıldığında çıkış supabı açılır. Yüksek oranda sıkışmış yakıt piston ÜÖN'ye gelinceye kadar yüksek basınç devresine girer. Bundan sonra tekrar basınç düştüğü için çıkış supabı kapanır ve bu süreç tekrar başlar.

4.3.2.2. Ortak Boru Hattı

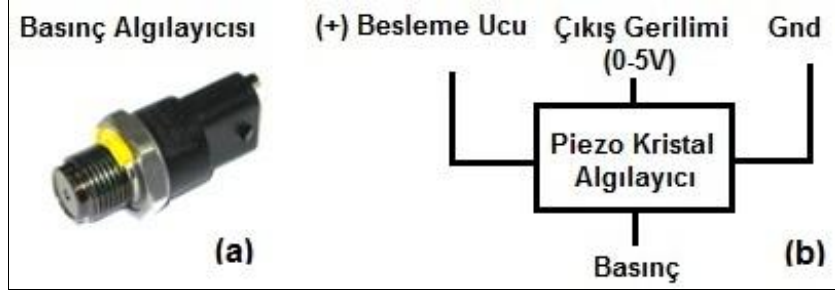


Şekil 4.14. Ortak boru hattı.

Şekil 4.14'te ortak boru hattı görülmektedir. Yüksek basınç dağıtıcı borusu her pompa devrinde üç pompa stroğunun ve enjektörlerin açılmalarının sebep olduğu basınç farklılıklarını sönmeler. Dağıtıcının iç hacmi, geçici çalışma dönemlerinde basınç adaptasyonunda gecikmelere izin vermeden ve dağıtıcının dizel yakıtı ile doldurulması gereken marşa basma safhasını engellemeden bu ani basınç darbelerini sönmeyecek şekilde tasarlanmıştır. Dağıtıcı yüksek çalışma sıcaklıklarına dayanıklı çelikten imal edilmiştir. Dağıtıcı üzerinde motora bağlanabilmesi için çeşitli delikler mevcuttur.

4.3.2.3. Ortak Boru Hattı Basınç Algılayıcısı

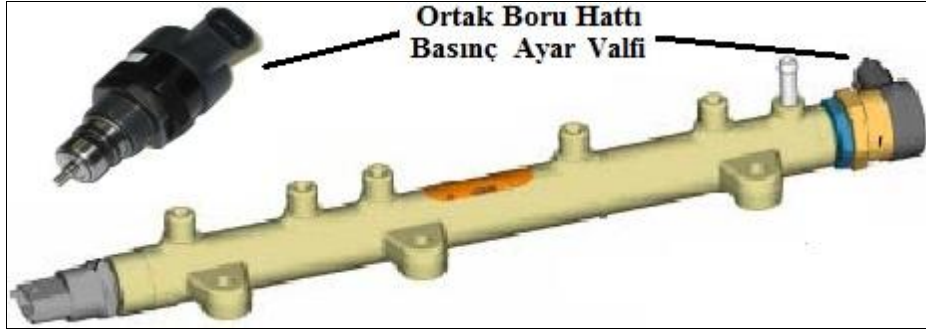
Şekil 4.15'te ortak boru hattı basınç algılayıcısı görülmektedir. Ortak boru hattı üzerine monte edilmiş basınç algılayıcısı EKÜ'den aldığı +5V besleme gerilimi ile çalışır. Algılayıcı yapısında, basınç uygulandığı zaman salınım yapan bir diyafram ve salınım hareketini elektriksel sinyale dönüştüren piezoelektrik kristali bulunur.



Şekil 4.15. Ortak boru hattı basınç algılayıcısı; a) görünümü b) şeması.

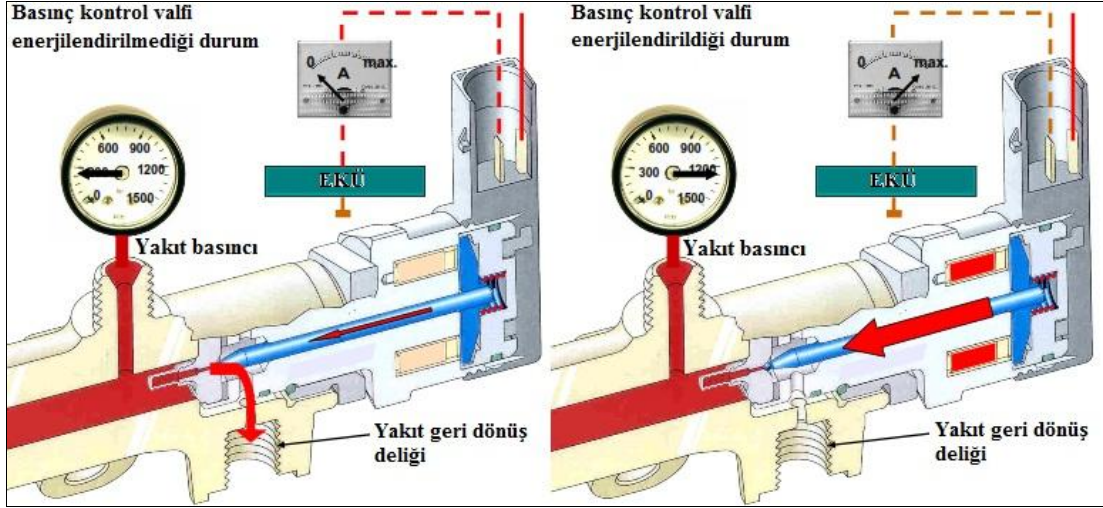
Algılayıcı piezoelektrik kirstalinin ürettiği küçük genlikli elektrik sinyalini yükselterek 0-5V aralığında doğrusal analog çıkış verir. Algılayıcı çıkışı basınç oluşmadığı durumlarda 0.5V seviyesinde olmakla birlikte basıncın oluşması ve artması durumunda 1.32V ve üzeri seviyelerindedir. EKÜ yakıt basıncını bu algılayıcı vasıtası ile algılar.

4.3.2.4. Ortak Boru Hattı Basınç Ayar Valfi



Şekil 4.16. Ortak boru hattı basınç ayar valfi.

Şekil 4.16'da ortak boru hattı basınç ayar valfi görülmektedir. Basınç ayar valfi selenoid kumandalı bir valf olup batarya voltajı ile çalışır. Ortak boru hattı üzerindeki geri dönüş deliğini açıp kapatarak yakıt basınç seviyesini kontrol etmekle görevlidir. Valf EKÜ'den aldığı DGM sinyali ile çalışır ve görev süresi ile orantılı olarak yakıt hat basıncının artmasını ve azalmasını sağlar. Valf yaklaşık 1000 Hz'lik bir DGM sinyali ile çalışır. Şekil 4.17'de basınç kontrol valfinin enerjilenme durumuna göre davranışı gösterilmiştir [29].

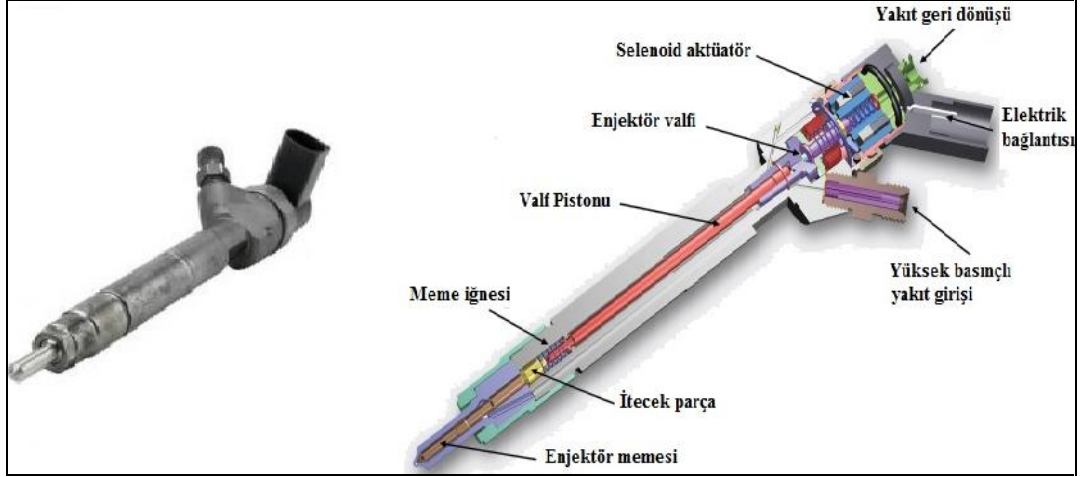


Şekil 4.17. Basınç kontrol valfi elektrikselsel davranışı.

Valfe kontrol sinyali uygulanmadığı zaman valfin yapısındaki yay kuvvetinden dolayı geri dönüş deliğini kapatan pim geri çekili durumdadır ve daha fazla yakıt geri dönüş deliğinden yakıt tankına gider. Bu durumda ortak boru hatındaki basınç yaklaşık 100 bar seviyesindedir. EKG valfe kontrol sinyalini uyguladığı anda valf yapısındaki selenoid sargı manyetik alan oluşturarak pimi ileri doğru hareket ettirir ve geri dönüş deliğini kapatır. Geri dönüş deliğinin kapanması ile yakıt tankına daha az yakıt geri dönüşü olur ve hatta basınç artışı sağlanır. Basınç kontrol valfinin iç direnci yaklaşık 3.6 ohm'dur [29].

4.3.2.5. Enjektörler

Enjektörler ortak boru hattı sisteminin en önemli parçalarıdır. Ortak boru hattı sistemi için üretilen elektromanyetik kumandalı özel enjektörler, yüksek bir hassasiyete ve çok dar tolerans limitlerine sahiptir. Şekil 4.18'de ortak boru hattı sistemine ait enjektör ve enjektör kesiti gösterilmiştir.



Şekil 4.18. Elektrohidrolik enjektör.

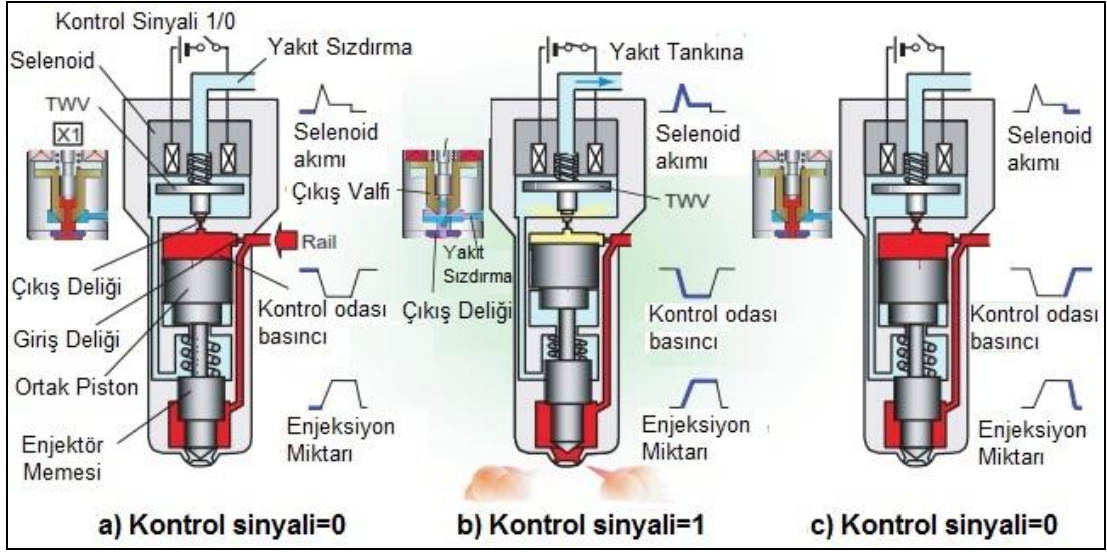
Enjektörün çalışmasında anahtar eleman yapısında bulunan selenoid aktüatördür. Selenoid aktüatör elektrik sinyali aldığı anda elektromıknatis özelliği göstererek enjektör memesini iten valf pistonunu çeker. Enjektörün çalışması çok karmaşık bir süreci içermektedir. Küçük adımlara ayırarak açıklanacak olursa;

Enjektör serbest konumda, selenoid aktüatör elektriksel olarak beslenmez ve kılavuz iğne kapalı konumdadır. Giriş deliği üzerinden beslenen kumanda odasındaki basınç, hattaki basınca eşittir. Dolayısı ile basınç çubuğu-pim grubuna kapanma yönünde etki eden kuvvetler, açılma kuvvetini yener. Püskürtme sürecinin önemli parçalarından bir tanesi, enjektör memesi iğnesidir. Enjektör memesi iğnesi, enjektör memesi yayı ile yuvasına bastırılır. Sürekli olarak yakıtla dolu olan enjektör kapalı durur. Enjektör memesi iğnesi üst tarafındaki odacıkta rail basıncı altında olan yakıt bulunur. Ortak boru hattı basıncının enjektör başlığı yayını kaldırıp sürekli bir püskürtme olmaması için kontrol pistonu tarafından aksi yönde bir basınç oluşturulur. Manyetik supap devre dışıdır armatürün supap bilyası, bastırma yayı tarafından çıkış tıkaçındaki yerine bastırılır. Supap kontrol bölmesine yakıt akar ve railin yüksek basıncı oluşur. Supap kontrol pistonundaki rail basıncı ve enjektör memesi yayının gücü, enjektör iğnesini, basınç basamağını etkileyen açma gücüne karşı kapalı tutarlar. Enjeksiyon başlangıcında selenoid aktüatör elektriksel olarak beslendiğinde, kılavuz iğne yukarı hareket eder ve kesit alanı giriş deliğinden daha büyük olan çıkış deliği açılır. Sonuç olarak, giriş deliği üzerinden yeterli miktarda akış olmadığından dolayı, kumanda odasında mevcut olan dizel yakıtı boşaltılır ve

basınç düşer. Basınç çubuğunun üst kısmına etki eden kuvvet azalır ve açma kuvveti değerinin üzerine çıktığında, püskürtücü açılmaya başlar. Sürekli olarak basınç borusu tarafından doldurulan besleme odasından gelen dizel yakıtı püskürtücü üzerinden akmaya başlar ve yakıt silindirlere gönderilir. Yani selenoid aktüatör devreye alındığında oluşan elektromanyetik alan gücü, bastırma yayı ve armatürün toplam gücünün üstüne çıktığında, çıkış tıkaçı açılır.

Çıkış tıkaçı açıldığında yakıt, supap kontrol bölümünden üstteki boşluk vasıtası ile yakıt geri iletme elemanı üzerinden depoya gider. Supap kontrol bölmesindeki basınç düşer ve kontrol pistonu yukarı doğru hareket eder. Supap kontrol bölmesinin basıncı, odacık basıncından az olduğu için supap kontrol pistonu yukarı doğru itilir ve enjektör yayı bastırılır. Kontrol pistonu üst konumda olduğunda enjektör iğnesi tamamen açıktır. İğnenin açılması ile püskürtme süreci başlar.

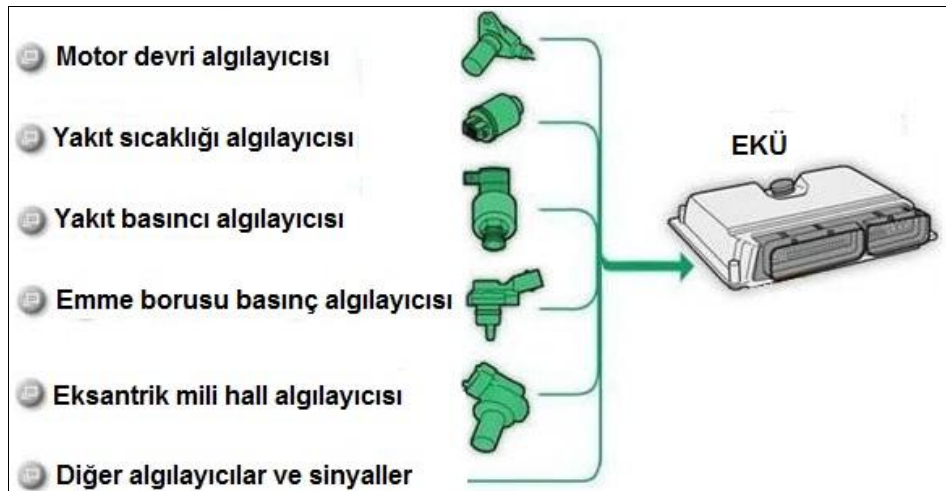
Enjeksiyon sonunda selenoid aktüatörün elektriksel beslenmesinin kesilmesi, çıkış deliğinin kapanmasına sebep olur, bu da daha sonra kumanda odasındaki basıncın hızla artarak orjinal değerine ulaşmasını sağlar. Sonuç olarak, basınç çubuğu pimine etki eden kuvvetler tekrar dengelenirler. Kuvvetlerin dengelenmesi sonucunda, basınç çubuğu ve pimi tekrar aşağı doğru hareket eder. Püskürtücüye yakıt akışı durdurulur ve enjeksiyon sona erdirilir. Yani selenoid aktüatör devre dışı kaldığında armatür, bastırma yayının gücü ile aşağı doğru itilir. Enjektör memesinin kapanması ile supap kontrol bölmesinde yine ortak yakıt hattında olduğu gibi bir basınç oluşur. Supap kontrol bölmesi ile enjektör yayının gücü, yine odacık gücünün üstüne çıktığından enjektör iğnesi kapanarak püskürtme sona erer [27,28]. Şekil 4.19'da uygulanan kontrol sinyaline karşılık enjektörün çalışması gösterilmiştir.



Şekil 4.19. Kontrol sinyaline karşılık enjektörün durumu [30].

4.3.3. Algılayıcılar ve EKÜ

Algılayıcılar geçerli olan çalışma durumunu belirlerler ve bunu yaparken örneğin yakıt sıcaklığı, motor devir sayısı veya yük durumu gibi çeşitli fiziki değerleri elektrik sinyallerine dönüştürerek bu sinyalleri elektronik kontrol ünitesine iletirler. Ortak boru hattı sisteminin en önemli algılayıcıları; motor devir algılayıcısı, yakıt sıcaklığı algılayıcısı, ortak boru hattı basınç algılayıcısı, emme borusu basınç algılayıcısı ve eksantrik mili algılayıcısıdır. Şekil 4.20’de ortak boru hattı sisteminde yer alan algılayıcılardan bazıları ve EKÜ gösterilmiştir.



Şekil 4.20. Algılayıcılar ve EKÜ [28].

Motor devir algılayıcısı; motor üzerine bağlanmıştır. Volan üzerine monte edilmiş sinyal dişlisine bakar. Bu algılayıcının görevi motorun devrini ve açısal konumunu tespit etmektir. Algılayıcı değişken manyetik dirençli bir dönüştürücüdür. Sinyal dişlisinin 60 adet dişi vardır, bunların iki tanesi referans oluşturmak üzere çıkartılmıştır; böylece bir dişin geçişi 60'lik açıya (3600'lik açı 60 dişe bölünür) karşı gelir. Eksik iki dişin oluşturduğu boşluğu takip eden ilk dişin sonu senkronizasyon noktası olarak algılanır. Bu boşluk algılayıcının altından geçerken, motorun 1-4'nolu piston çifti ÜÖN'den 114° öndedir.

Yakıt sıcaklık algılayıcısı; yakıt geri dönüş manifoldu üzerine monte edilmiştir. Algılayıcının aktif kısmı negatif sıcaklık katsayılı, sinterizasyon yolu ile elde edilmiş bir dirençtir. Algılayıcının normal direnci: 100 °C sıcaklıkta 0,186 kΩ ± %2, 200°C sıcaklıkta 2,5 kΩ ± %6'dır. Çalışma aralığı: -40~140 °C'dir.

EGR elektrovanası konum algılayıcısı; emme borusunun üzerine yerleştirilmiştir. Konum kaptörü ise EGR elektrovanasının içine monte edilmiştir. Bu bir potansiyometredir. Elektronik beyin bu bilgiyi; egr elektrovanasının konumunu kontrol etmek için kullanır.

Kam mili konum algılayıcısı; silindir kapağının üzerinde, kam mili kasnağına yakın bir yere yerleştirilmiştir. Manyetik algılayıcı tipindedir. Kam mili kasnağının üzerine, kaptörün elektronik beyne göndereceği kare sinyali üretmesi için bir işaret noktası konulmuştur. Elektronik beyin bu bilgiyi motorun zamanlarına bağlı olarak, püskürtme sırasını belirlemede kullanır.

Ortak boru hattı basınç algılayıcısı; ortak yakıt borusu üzerine monte edilmiştir. Piezoelektrik prensibine göre çalışır. Ortak yakıt hattı içerisinde bulunan yakıtın basıncına göre değişen bir gerilim üretir. EKÜ bu bilgiyi; basınç kontrol valfini kumanda etmek için kullanır.

Emme basıncı algılayıcısı; motor bölümünde göğüs sacı üzerine tespit edilmiştir. Piezoelektrik prensibine göre çalışır. Hava emme borusuna bağlıdır. Emme basıncına

bağlı olarak değişen bir gerilim üretir. Elektronik beyin bu bilgiyi turbo basıncı düzenleme elektrovanasına kumanda etmek için kullanır.

4.3.4. Elektronik Kontrol

Motorlardaki klasik sistemlerin ve mekanizmaların motor performansını ve yakıt tüketimini iyileştirme çalışmaları açısından yetersiz kalması otomotiv endüstrisini başka yollara itmiştir. Gelişen yarı iletken ve bilgisayar teknolojisinin otomotiv sektöründe kullanılması kaçınılmaz olmuştur. Elektronik sistemlerin otomotiv sektöründe kullanılması ilk bakışta yatırım maliyetinin fazla olmasına rağmen uzun vadede bakım, yedek parça, yakıt ekonomisi ve dolayısıyla müşteri memnuniyetini sağlamaıyla sektörde giderek yaygınlaşmıştır. Günümüz otomotiv sektöründe motor ve araç aksamalarında elektronik kontrol yaygın olarak kullanılmaktadır.

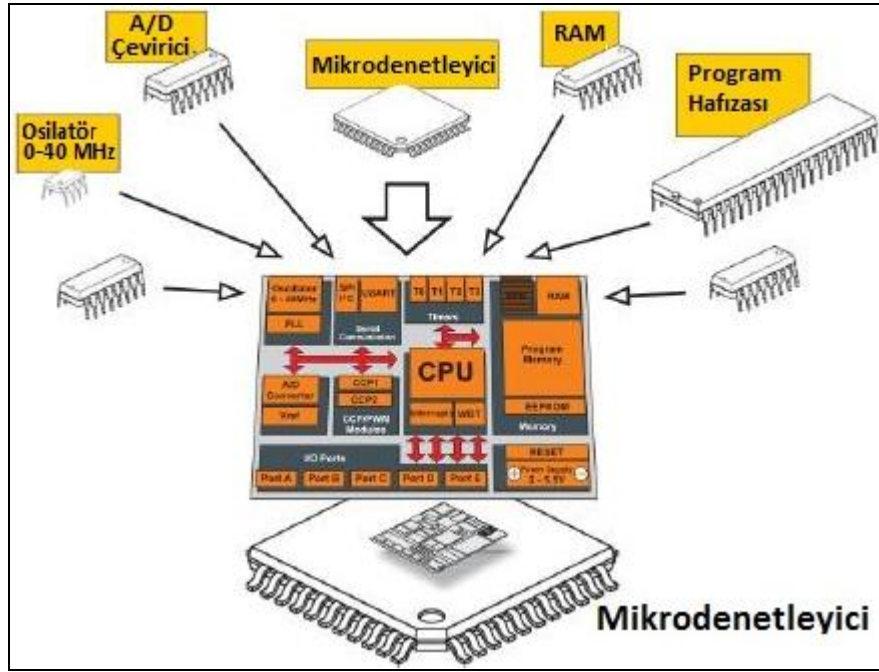
4.3.4.1. Mikrodenetleyicili Kontrol

Bir mikrodenetleyici (Micro Controller Unit), bir mikroişlemcinin, merkezi işlem birimi (MİB), hafıza ve giriş-çıkışlar, kristal osilatör, zamanlayıcılar, sayıcılar, seri ve analog giriş çıkışlar, programlanabilir hafıza gibi bileşenlerle tek bir tümleşik devre üzerinde üretilmiş halidir [31].

Kısıtlı miktarda olmakla birlikte, yeterince hafıza birimlerine ve giriş-çıkış uçlarına sahip olmaları sayesinde tek başlarına çalışabildikleri gibi, donanımı oluşturan diğer elektronik devrelerle irtibat kurabilir, uygulamanın gerektirdiği fonksiyonları gerçekleştirebilirler. Üzerlerinde analog-dijital çevirici gibi tümleşik devreler barındırmaları sayesinde algılayıcılardan her türlü verinin toplanması ve işlenmesinde kullanılabilirler. Ufak ve düşük maliyetli olmaları gömülü sistem uygulamalarında tercih edilmelerini sağlamaktadır. Şekil 4.21'de mikrodenetleyici ve çevresel birimleri görülmektedir.

Ayrıca mikrodenetleyiciler sıradan mikroişlemcilere nazaran aşağıda listelenen 4 temel avantajları sayesinde elektronik sanayinde günümüzde oldukça büyük bir uygulama alanına sahiptirler:

- Küçük boyutludurlar,
- Çok düşük güç tüketimine sahiptirler,
- Düşük maliyetlidirler,
- Yüksek performansa sahiptirler.



Şekil 4.21. Mikrodenetleyici ve çevresel birimleri [32].

Mikrodenetleyicili kontrol sistemleri açık devre ve kapalı devre kontrol sistemleri olmak üzere iki grupta incelenebilir.

Açık Devre Kontrol Sistemleri

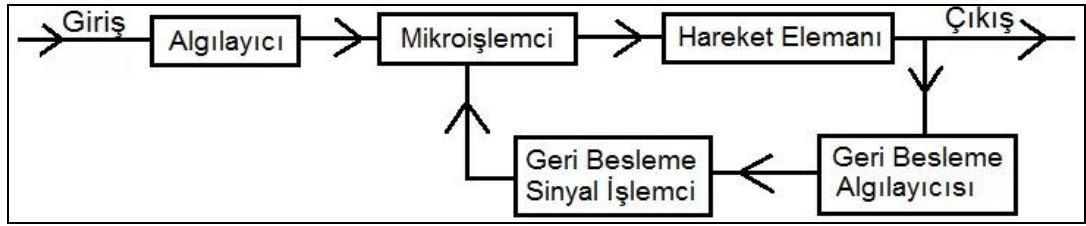
Şekil 4.22’de açık devre kontrol sisteminin genel gösterimi verilmiştir. Sistem giriş sinyalini işleme koyar ve çıkışa iletir. Ancak işlemin ne oranda gerçekleştiği veya gerçek değere uygunluğunu kontrol etme şansı olmaz.



Şekil 4.22. Açık devre kontrol sistemi genel gösterim [33].

Kapalı Devre Kontrol Sistemleri

Şekil 4.23'te kapalı devre kontrol sistemi genel gösterimi verilmiştir. Açık devre sisteme ek olarak bulunan geri besleme algılayıcısı ile çıkış değeri izlenerek sistemin çıkış değeri kontrol altında tutulur. Çıkış değerinin istenilenin altında veya üzerinde olması durumunda mikrobilgisayar çıkışı istenilen seviyeye çeker. Maliyetleri ilave algılayıcı sebebiyle açık devre kontrol sistemlerinden fazladır.



Şekil 4.23. Kapalı devre kontrol sistemi genel gösterim [33].

4.3.4.2. Giriş/Çıkış Sistemleri

Giriş/Çıkış sistemleri mikrodenetleyicinin dış dünya ile iletişimini sağlar. Mikrodenetleyici kontrol sisteminde birtakım verileri algılayarak bu verilere uygun çıkışlar üretir.

Girişler

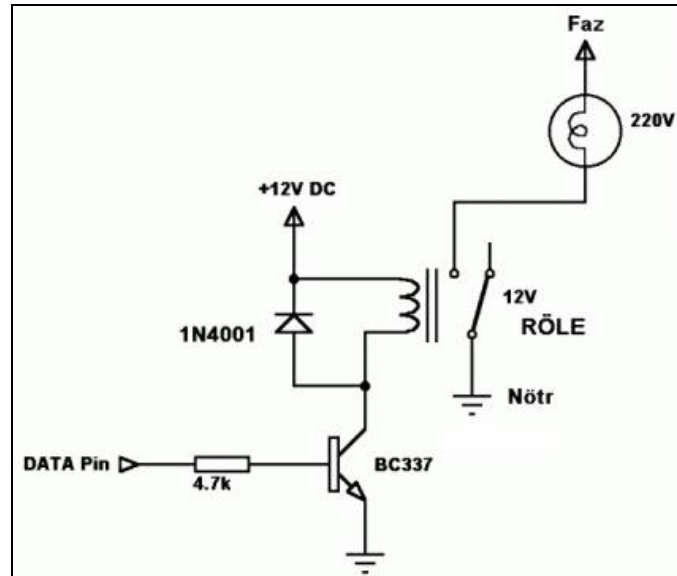
Mikrodenetleyicili kontrol sistemi dijital ve analog olmak üzere iki tip veri girişini kabul eder.

Dijital girişler sadece 1 ve 0 bilgisini içeren ara durumları ifade etmeyen ve sürekliliği olmayan bilgilerdir. Kontrol sisteminde dijital girişler; clock palsleri, 1/0 çıkış veren algılayıcılar ve diğer mikrodenetleyicili sistemler olabilir. Bu girişlere örnek olarak klavye, fare, ekran, tuş takımı, devir algılayıcısı ve sınır anahtarları vb. gösterilebilir.

Analog girişler bir belirli bir elektriksel işaretin tüm durumlarını içeren sürekliliği olan bilgilerdir. Örneğin bir basınç algılayıcısı izin verilen ölçme aralığında tüm basınç değerlerini ifade eden sürekli bir elektriksel işaret üretir. Kontrol sisteminde analog girişler; bir potansiyometre vasıtası ile değiştirilen gerilim, basınç algılayıcısı, sıcaklık algılayıcısı, nem algılayıcısı, yük hücresi vb. olabilir. Mikrodenetleyici bu sinyalleri ADC (Analog to Digital Converter) birimi vasıtası ile dijital karşılıklarına çevirir ve anlamlı hale getirir.

Çıkışlar

Mikrodenetleyici giriş birimlerinden aldığı sinyalleri içine yüklenmiş olan yazılım doğrultusunda değerlendirerek uygun çıkışlar oluşturur. Mikrodenetleyici analog ve dijital çıkışlara sahiptir. Mikrodenetleyici çıkışları çevresel elemanları kontrol etmek için yeterli akım ve gerilimi sağlamadığı durumlarda harici sürme devreleri gereklidir. Örneğin 5V ile çalışan bir mikrodenetleyicinin 220V luk bir lambayı çalıştırabilmesi için transistör veya röle gibi bir anahtarlama elemanı ile 220V gerilimini anahtarlaması gerekir. Şekil 4.24'te örnek bir sürücü devre verilmiştir.



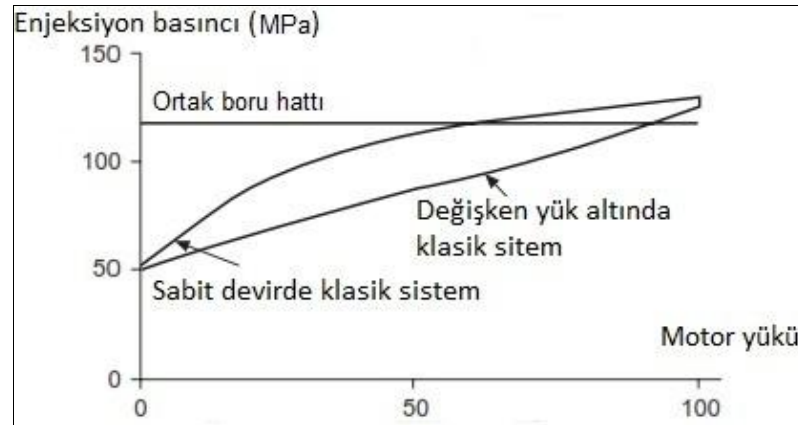
Şekil 4.24. Örnek sürücü devre.

EKÜ'nün sistemdeki görevi; yüksek basınç besleyicisindeki basıncı uygun seviyede tutmak ve gerçek enjeksiyon işlemini başlatıp bitirmektir. EKÜ algılayıcılardan (gez

pedalı konumu, motor devri, yakıt basıncı, vb.) aldığı bilgileri değerlendirerek püskürtülecek yakıt miktarını ve başlangıcını tespit etmektedir.

4.3.5. Ortak Boru Hattı Sisteminin Avantajları ve Dezavantajları

Klasik yakıt enjeksiyon sisteminde püskürtme basıncı motor hızı ve yükünün bir fonksiyonu şeklindedir. Düşük yüklerde yakıt basıncı düşer ve yakıt büyük damlacıklar halinde yanma odasına ulaşır. Ortak boru hattı enjeksiyon sisteminde ise yüksek püskürtme basıncı motorun tüm yük durumlarında sağlanmaktadır. Şekil 4.25'te bu durum gösterilmiştir. Böylece motorun tüm çalışma koşullarında daha etkili ve temiz bir yanma sağlanırken yakıt ekonomisi ve egzoz emisyonlarında iyileşme elde edilir [24, 34].



Şekil 4.25. Geleneksel sistem ve ortak boru hattı sistemi enjeksiyon basıncı [34].

4.3.5.1. Ortak boru hattı Sisteminin Genel Avantajları

- Yüksek basıncın aynı üretim yapısı ve püskürtme miktarı kontrolü sağlar,
- Tanıma alanındaki püskürtme basıncı hemen hemen seçilebilir,
- Düşük devirlerde ve yarım gaz alanında, devamlı yüksek basınç sağlar,
- Ön, ana ve sonradan püskürtmeli esnek püskürtme başlangıcı sağlar,
- İlerdeki dizel motor tipleri için devamlı yüksek gelişme potansiyeli,
- Egzoz bakım sisteminin en uygun integrasyonu sağlar,
- Motor konseptlerinde meydana gelen basit integrasyonlar sağlar.

4.3.5.2. Ortak boru hattı Sisteminin Teknik Avantajları

- Hava-yakıt karışımının oluşumunu iyileştirir,
- Enjeksiyon basıncı, geniş limitler içerisinde serbestçe seçilebilir,
- Yakıt enjeksiyon başlangıcı ve püskürtülen yakıt miktarı belirlenebilir,
- Çalışma koşullarının değiştiği durumlarda, özellikle de soğukta daha esnektir,
- Yanma ekolojiktir ve ekonomiktir,
- Çalışması için daha az motor gücüne ihtiyaç duyulur,
- Daha basit bir sistemdir,
- Modüler bir sistemdir,
- Düşük maliyet ile daha iyi performans sağlar.

4.3.5.3. Ortak boru hattı Sisteminin Genel Etkileri

- Momentin ve motor gücünün artması,
- Yakıt tüketiminin azalması,
- Kirliliğe sebep olan emisyonların azalması,
- Motor gürültüsünün azalması,
- Aracın sürüş konforunun iyileştirilmesi [24].

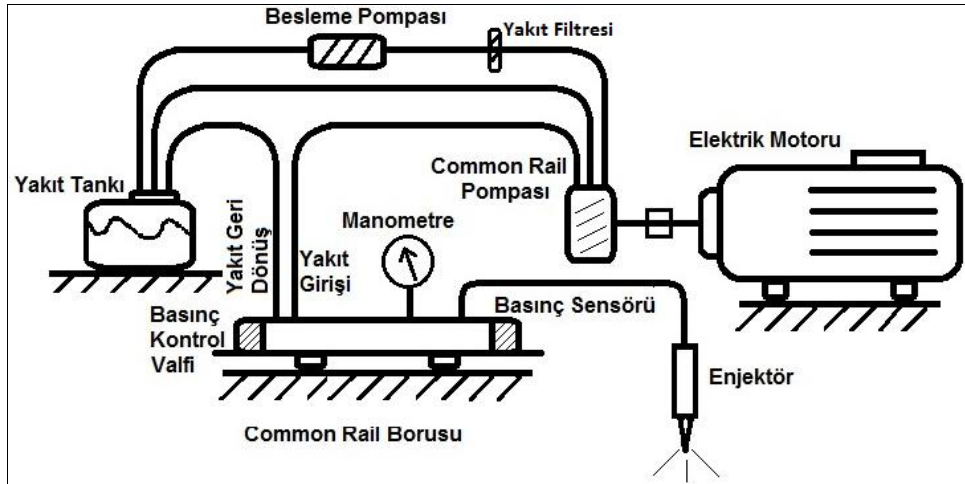
BÖLÜM 5

MATERYAL VE METOD

5.1. MATERYAL

5.1.1. Ortak Boru Hattı Düzeneği Elemanları

Gerçekleştirilen elektronik kontrollü yakıt püskürtme sistemi için FIAT Albea 1.3 Multijet motoruna ait elektrikli besleme pompası, yüksek basınçlı yakıt pompası, ortak yakıt borusu, elektrohidrolik enjektör, basınç ayar valfi, basınç algılayıcısı elemanları kullanılmıştır. Ayrıca hazırlanan düzenekte analog basınç göstergesi (manometre) ve üç fazlı asenkron motor kullanılmıştır. Hazırlanan ortak boru hattı düzeneği blok şeması Şekil 5.1’de gösterilmiştir.

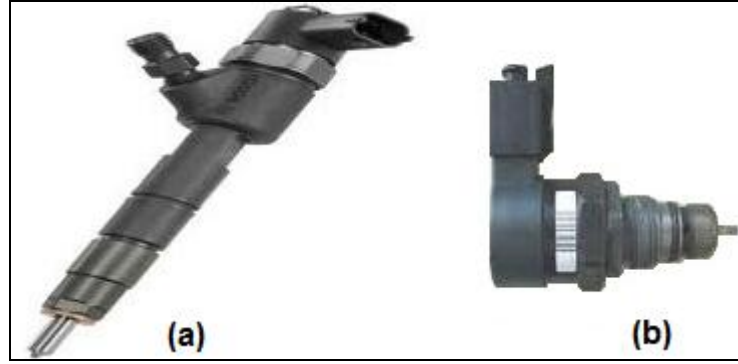


Şekil 5.1. Ortak boru hattı düzeneğinin şeması.

Ortak boru hattı düzeneğini oluşturan elemanlar Şekil 5.2’den Şekil 5.6’ ya kadar gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Ortak boru hattı.



Şekil 5.3. Elektrohidrolik enjektör a) ve b) basınç kontrol valfi.

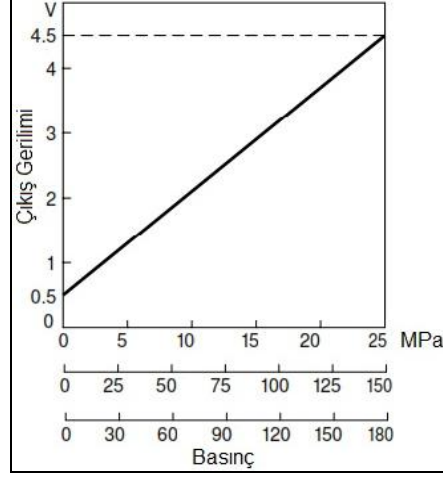
Elektrohidrolik enjektörün teknik özellikleri Çizelge 5.1’de verilmiştir. Enjektörün püskürtme yapabilmesi için gereken minimum kontrol sinyali süresi 0.4 ms’dir.

Çizelge 5.1. Elektrohidrolik enjektör teknik özellikleri.

Motor Silindir Sayısı	2...4
Motor Gücü (kW)	45-130
Maks. Enjeksiyon (MPa)	160
Maks. Enjeksiyon Sayısı	3
Min. Enjeksiyon aralığı (μ s)	800
Çalışma Gerilimi (V)	12-24
Servis Ömrü (km)	150,000

Basınç algılayıcısının yapısında diyafram bulunmaktadır. Basınçtan dolayı diyafram şekli değiştiğinde diyaframla ilişkilendirilen katmanların elektriksel direnci de değiştiğinden dolayı 5V köprü direncinde bir elektriksel fark oluşur. Bu elektriksel fark 0-70 mV arasındadır ve algılayıcı yapısında bulunan yükseltici devre ile 0.5-

4.5V değerlerine regüle edilir. Basınç algılayıcısına ait çıkış gerilimi grafiği Şekil 5.4'te gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Basınç algılayıcısı çıkış gerilimi grafiği.



Şekil 5.5. Analog basınç göstergesi.

Analog basınç göstergesi diyaframlı tip manometre olup 0-60 MPa skalaya sahiptir.



Şekil 5.6. Asenkron motor, 1500 d/dk, 2.2 KW.

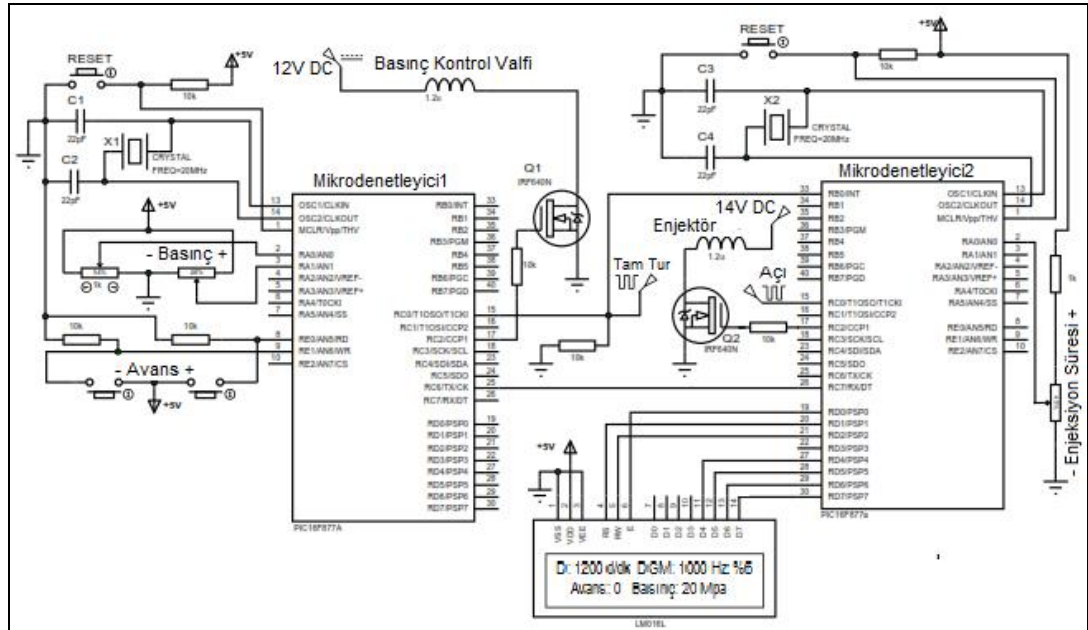
5.1.2. EKÜ Elektronik Devresi Elemanları

Hazırlanan ortak boru hattı düzeneğinin elektronik kontrolünü sağlamak için bir elektronik kontrol ünitesi tasarlanmıştır. Çizelge 5.1’de EKÜ kartı için kullanılan elektronik devre elemanlarının listesi verilmiştir.

Çizelge 5.2. EKÜ kartı elemanları.

Kullanılan Eleman	Adedi	Kullanılan Eleman	Adedi
PIC16F877A	2 Adet	0.1 Ω Akım Algılayıcı	4 Adet
2x16 Paralel LCD	1 Adet	7805 Gerilim Regülatörü	1 Adet
20 Mhz Kristal Osilatör	2 Adet	BC347 NPN Transistör	1 Adet
22 pF Kondansatör	2 Adet	BC557 PNP Transistör	1 Adet
10 k Ω Potansiyometre	2 Adet	100 nF Kondansatör	4 Adet
Buton	4 Adet	16V 220uF	1 Adet
6N137 Optokuplör	2 Adet	50V 220uF	1 Adet
IRFP640N Mosfet	2 Adet	10 k Ω ¼ Watt Direnç	4 Adet
1 k Ω ¼ Watt Direnç	4 Adet	330 Ω ¼ Watt Direnç	2 Adet
5W 47 Volt Zener Diyot	1 Adet	Led Diyot	2 Adet

EKÜ için hazırlanan elektronik devre şeması Şekil 5.7’de gösterilmiştir.



Şekil 5.7. EKÜ elektronik devre şeması.

EKÜ beslemesi için Şekil 5.8’de gösterilen 12V 16A Switch Mode Power Supply (SMPS) tipi güç kaynağı kullanılmıştır. Kullanılan güç kaynağı 220 VAC giriş gerilimi ile çalışmaktadır.



Şekil 5.8. Güç kaynağı.

5.1.3. Çalışmada Kullanılan Enkoder

Deneyle sırasında piston konum bilgisini tespit etmek için Şekil 5.9’da gösterilen OPKON marka PRI 50 360 model enkoder kullanılmıştır. Enkoderin teknik özellikleri Çizelge 5.3’te verilmiştir. Enkoderin A,B ve index olmak üzere üç çıkışı vardır Enkoder bir tam turuna karşılık olarak A çıkışından 360 tane, index ucundan ise bir tane kare dalga üretmektedir. A kanalının bu özelliği sayesinde bir tam tur 360 adıma bölünerek, her bir adımlık değişim 1° derecelik açısal yer değiştirmeye karşılık gelmektedir. Böylece enkoderin sabitlendiği döner milin açısal yer değişimi bilinebilmektedir. Index ucu ise milin birim zamandaki dönme sayısının bilinmesinde kullanılmaktadır. B kanalı çıkışı A kanalı çıkışının ötelenmesi ile elde edilmektedir. Bu kanal uygulamalarda genellikle yön tayininde kullanılmaktadır.

Çizelge 5.3. Enkoder özellikleri.

Markası	OPKON Optic Electronic Ltd.
Çözünürlük (tur)	100, 200, 360
Çıkış Sinyalleri	A,B, Index
Besleme Gerilimi (DCV)	5-24
Maksimum Hızı (d/dk)	5000
Sıcaklık Aralığı (°C)	-20...+80
Koruma Sınıfı	IP 50



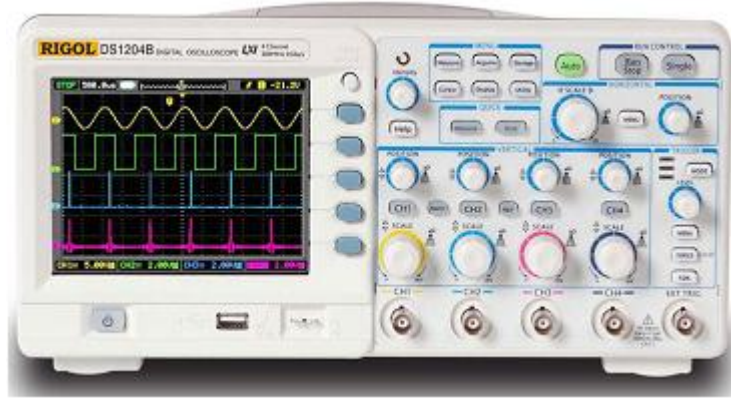
Şekil 5.9. Enkoder.

5.1.4. Dijital Osiloskop

Şekil 5.10’da deneyler sırasında kullanılan RIGOL DS1064B dijital osiloskop görülmektedir. Osiloskop cihazları elektronik devrelerin dizayn ve test aşamalarında elektriksel sinyallerin görüntülenmesinde sıklıkla kullanılmaktadır. Deneyler sırasında tüm akım ve gerilim ölçümleri bu cihazla gerçekleştirilmiş olup teknik özellikleri Çizelge 5.4’te verilmiştir.

Çizelge 5.4. RIGOL DS1064B dijital osiloskop özellikleri.

Bant Genişliği (MHz)	60
Kanal Sayısı	4
Yükselme Zamanı (ns)	5.8
Örnekleme Hızı (GSa/s)	2 Yarım Kanal, 1 Bir Kanal
Denk Örnekleme Hızı	10
Dikey Hassasiyet (V/div)	0.02 10
Kayıt Uzunluğu	-
Timebase Sahası (ns/div)	5... 50
Tetikleme Modları	Edge, Pulse, Video, Alternate
Kayıt (Waveform)	10
Frekans Sayıcı	-
Pc Bağlantısı	USB Sürücü, USB Host, LXI-C Compliant LAN
Ekran	5.7 inch TFT 64K Full Renkli ve Ekran Aydınlatmalı
Matematik İşlemleri	- , + , x FFT
Güç	100-240V AC ,45Hz-65Hz. 60VA Max.
Ağırlık (kg)	3

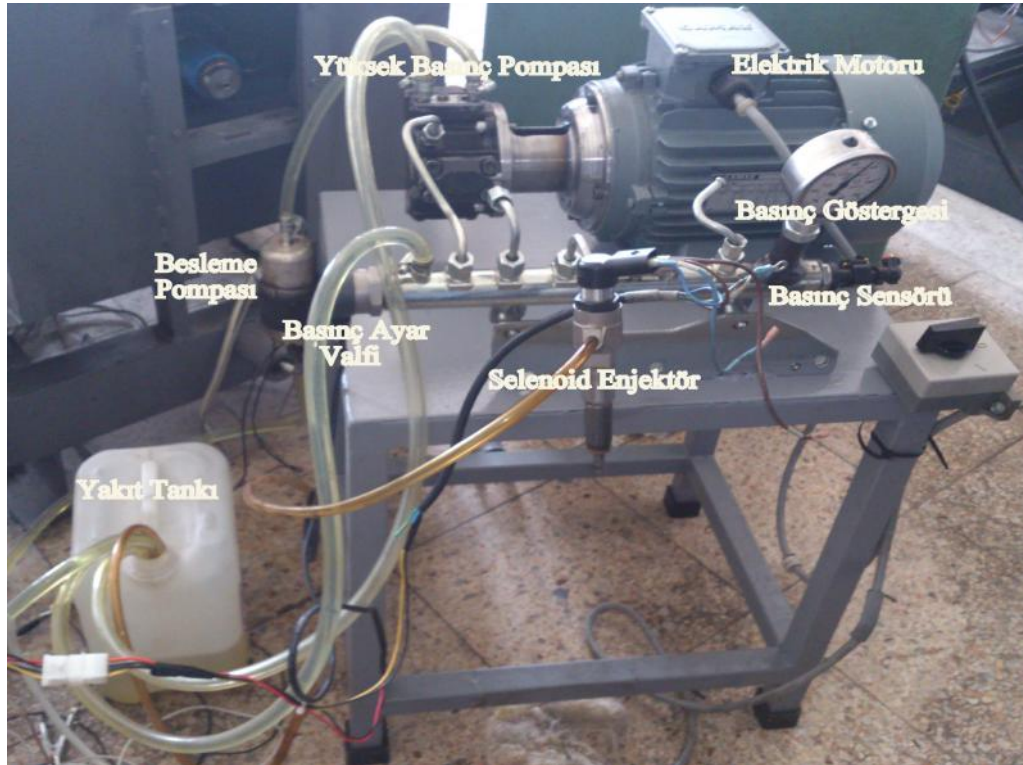


Şekil 5.10. RIGOL DS1064B Dijital Osiloskop.

5.2. METOD

5.2.1. Ortak Boru Hattı Düzenəğinin Oluşturulması

Çalışma için hazırlanan düzenek Şekil 5.11’de gösterilmiştir. Burada ortak boru hattı elemanları bir metal sehpa üzerine monte edilmiştir.



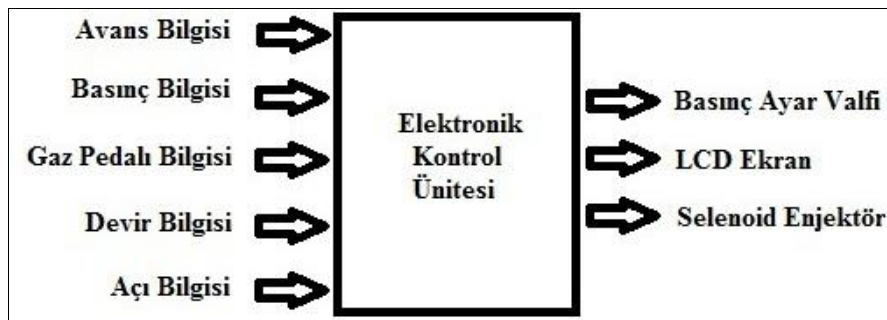
Şekil 5.11. Ortak boru hattı düzenəğı.

Yüksek basınçlı yakıt pompasının hareketini sağlamak için 2.2 kW 1500 d/dk bir asenkron motor kullanılmıştır. Kullanılan asenkron motor yıldız bağlantıda doğrudan on-off olarak çalıştırılmıştır. Ortak yakıt hattının dört adet çıkış deliğinden ikisi kapatılmış, diğer iki çıkışa analog basınç göstergesi ve elektrohidrolik enjektör bağlanmıştır.

5.2.2. EKÜ Kartının Yazılım ve Donanımı

Ortak boru hattı düzeneğinin elektronik kontrolünü sağlamak için bir EKÜ tasarlanmıştır. EKÜ'nün sistemdeki görevi giriş verilerini algılamak, değerlendirmek ve uygun olan püskürtme süresini ve püskürtme basıncını ayarlamaktır. Şekil 5.12'de tasarlanan EKÜ blok diyagramı gösterilmiştir. EKÜ'nün enjeksiyon sistemini kontrol etmek için kullandığı giriş verileri; avans bilgisi, yakıt basıncı bilgisi, gaz pedalı konumu bilgisi, devir bilgisi, ve kam mili konumu bilgisidir.

EKÜ yazılımı CCS (Custom Computer Services) C PIC programlama dili ile yazılmıştır. İki ayrı mikrodenetleyici için iki farklı program hazırlanmıştır. Mikrodenetleyici1 programında yakıt hat basıncının ayarlanması ve ölçülmesi ve avans değerinin kontrolü yazılımı vardır. Mikrodenetleyici2 programında ise enjeksiyon işleminin süresi ve zamanlamasını kontrol eden yazılım vardır.

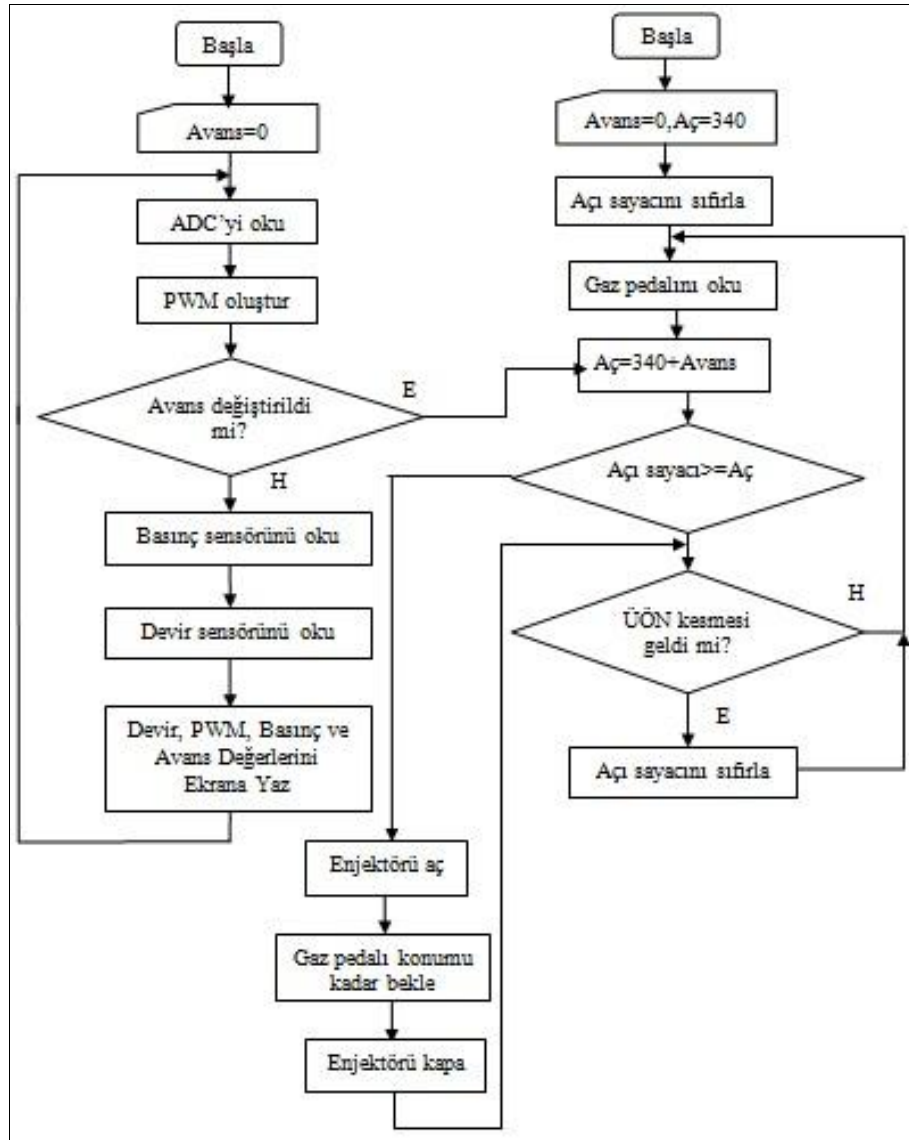


Şekil 5.12. EKÜ blok diyagramı.

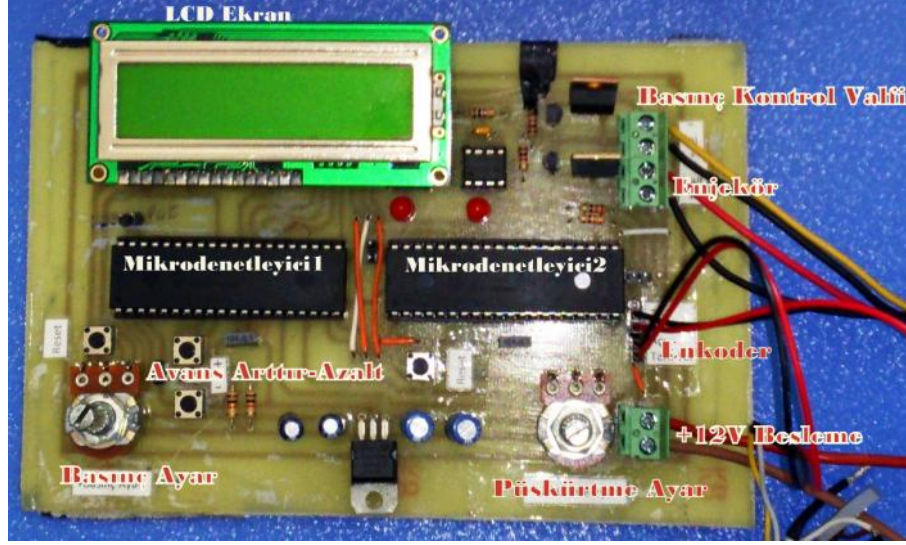
EKÜ için hazırlanan devre Şekil 5.14'te gösterilmiştir. Sistemin elektrik beslemesi için kullanılan güç kaynağı 12V 16A SMPS tipidir. Yüksek hız gereksinimlerini karşılayabilmek için devrede iki adet mikrodenetleyici kullanılmıştır. EKÜ devir ve açı bilgilerini motorun kam miline bağlı bir enkoder vasıtası ile algılar. Motorun

maksimum 6000 d/dk hızına karşılık 500 devir/sn ile dönen kam miline bağlı enkoder 18 kHz'lik bir çıkış sinyali üretir. Bu nedenle püskürtme ve püskürtme basıncının ayarlanması görevleri iki mikrodenetleyiciye dağıtılmıştır. Mikrodenetleyici1 d/dk bilgisini, avans bilgisini ve yakıt hat basıncı bilgisini ekrana yazdırır. Mikrodenetleyici2 püskürtmenin başlangıcını tespit etmek için kam mili açılış bilgisini kullanır.

EKÜ kartı yazılımı için hazırlanan akış diyagramı Şekil 5.13'te verilmiştir.



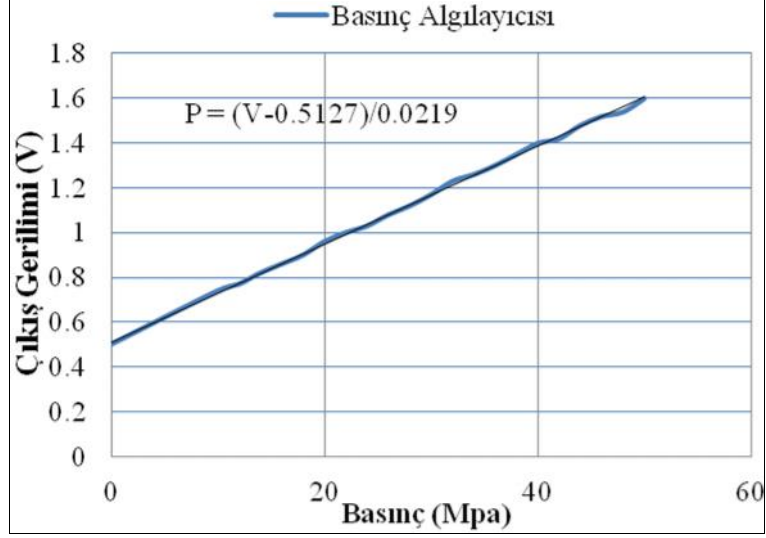
Şekil 5.13. EKÜ kartı akış diyagramı.



Şekil 5.14. EKÜ kartı.

5.2.3. Basınç Kalibrasyonunun Sağlanması

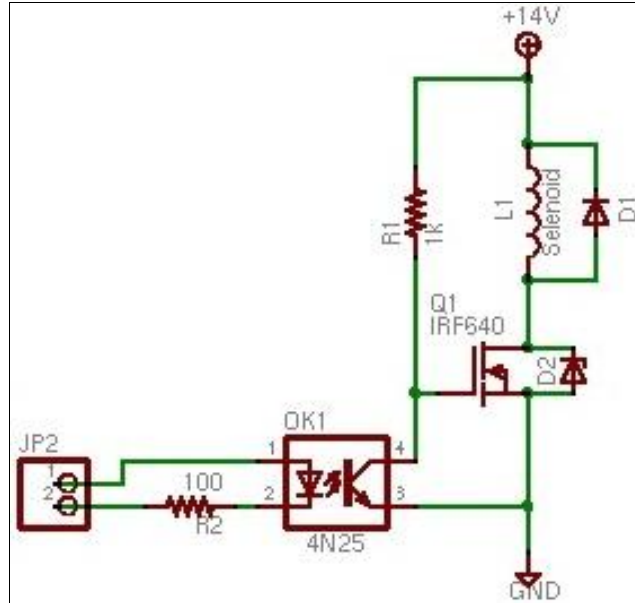
Basınç bilgisi ortak boru hattı üzerinde yerleştirilmiş olan basınç algılayıcısı tarafından EKÜ' ye iletilir. Basınç algılayıcısı sistem boştaki 0.5V çıkış gerilimi vermektedir. Sistemin çalıştırılması ile birlikte yüksek basınçlı yakıt pompasının ortak boru hattına pompaladığı yakıt yaklaşık 10 MPa'lık bir basınç oluşturur. Bu durumda basınç algılayıcısı 0.74V gerilim çıkışı verir. Basınç kontrol valfine uygulanan PWM sinyali ile basıncı arttırılan sistemde basınç algılayıcısının çıkış gerilimi de basınç seviyesi ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Basınç ekranının kalibrasyonu ortak boru hattı üzerine yerleştirilen bir manometre ile yapılmıştır. Manometrenin gösterdiği basınç seviyesi ile basınç algılayıcısının çıkış gerilimi doğrudan ilişkilendirilmiştir. Şekil 5.15'te sistemde kullanılan basınç algılayıcısının sistemde oluşturulan basınç seviyelerine karşılık gelen çıkış gerilimi grafiği verilmiştir. Elde edilen grafik doğrusal bir grafik türü olup eğrinin denklemi çıkartılmış ve basıncın hesaplanabilmesi için mikrodenetleyici1 yazılımına eklenmiştir. Mikrodenetleyici1 ortak boru hattı sisteminin basıncını LCD ekrana yazdırır.



Şekil 5.15. Ortak boru hattı basınç algılayıcısı çıkışı.

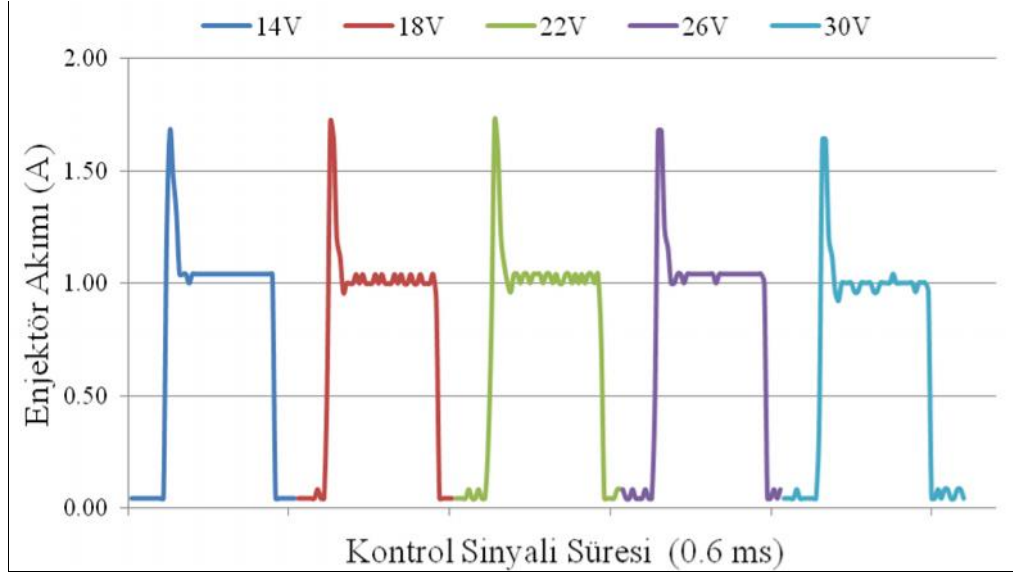
5.2.4. Enjektörün Uygun Çalışma Geriliminin Tespiti

Deneyler sırasında enjektör tek gerilim kaynağı ile çalıştırılmıştır. Enjektörün uygun çalışma gerilimi belirlenmesi için farklı gerilim seviyelerinde çalıştırılmış ve selenoid valfin çektiği akım gözlenmiştir. Şekil 5.16’da optik olarak yalıtılmış sürme devresi gösterilmiştir. Aynı sürücü devre basınç kontrol valfinin sürülmesinde de kullanılmıştır.



Şekil 5.16. Enjektörün sürülmesi.

Enjektörün çalışma gerilimi EKÜ çalışma geriliminden büyük olduğundan dolayı sürme işleminde değişik gerilim seviyelerinin yalıtımı için optokuplör kullanılmıştır.



Şekil 5.17. Farklı çalışma gerilimlerinde enjektörün çektiği akım.

Enjektör çalışma gerilimi 14V gerilim seviyesinden 30V gerilim seviyesine kadar 4V aralıklarla arttırılmış ve her gerilim seviyesi için çekilen akımın durumu grafiksel olarak gösterilmiştir. Gerilim seviyesinin artması ile birlikte selenoid enjektörün açılma ve tutma akımlarında azalmalar gözlenmiştir.

5.2.5. Yakıt Enjeksiyon Deneyinin Yapılması

Yakıt enjeksiyon deneyi Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Eğitimi A.B.D. laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Deneyler sırasında 20, 30, 40, 50 MPa basınç değerlerinde, 0.4ms, 0.6 ms, 1 ms, ve 1.4 ms enjeksiyon sürelerinde 1000 çevrim periyodu boyunca püskürtülen yakıt darası alınmış kaplarda biriktirilerek çevrim başına püskürtülen yakıt miktarı tespit edilmiştir. Püskürtülen yakıt miktarları klasik yakıt enjeksiyon sistemine sahip Katana marka KM178F ve Antor marka 6 LD400 model tek silindirli bir motorlara ait yakıt tüketim miktarları ile karşılaştırılmıştır. Kullanılan motorlara ait teknik özellikler Çizelge 5.5 ve Çizelge 5.6' da verilmiştir.

Yakıtın ÜÖN'den KMA cinsinden kaç derece önce püskürtülmeye başlandığını ifade eden değişik avans değerlerinde sistemin püskürtme başlangıcını ve bitimini kontrol edip etmediği gözlenmiştir. EKÜ'nün üzerinde bulunan avans arttır azalt butonları ile avans değeri değiştirilerek kontrol sinyali ve enjektör akımının durumu gözlenmiştir. Avans değerlerinin değiştirilmesinde motorun krank mili ve kam mili dönüş hızları kıyaslanmış ve motor devrinin yarı hızında dönen kam milinin durumuna göre avans değerleri ekrana yazdırılmıştır. Örneğin 5°'lik kam mili avansı KMA cinsinden 10°'lik bir avansa denk gelmektedir. Deney sırasında elektriksel sinyaller RIGOL DS1064B osiloskop cihazı ile gözlenip kaydedilmiştir.

Çizelge 5.5. Katana KM178F teknik özellikleri [35].

Model	DIESEL 6 LD 400
Silindir Sayısı	1
Silindir Hacmi (cm ³)	395
Silindir Çapı (mm)	86
Strok (mm)	68
Sıkıştırma Oranı	18:1
Motor Devri (d/dk)	3600
Motor Gücü (BG)	8,5
Max.Tork (kgm)/Devir(d/dk)	2/2200
Yakıt Depo Kapasitesi(lt)	4,5
Özgül Yakıt Sarfıyatı (gr/BG saat)	220
Yağ Tüketimi (gr/saat)	13
Karter Yağ Kapasitesi (lt)	1,2
Kuru (Boş) Ağırlık (kg)	45

Çizelge 5.6. Antor 6 LD400 teknik özellikleri [36].

Motor Tip	4 Zamanlı, Üstten Valfli
Çap Strok (mm)	78X62
Silindir Hacmi (cm ³)	296
Yakıt Sistemi	Direkt Püskürtme
Maksimum Çıkış Gücü (Hp)	6,7
Devamlı Çıkış Gücü (Hp)	6,0
Motor Hızı Maksimum (d/dk)	3600
Çalıştırma Sistemi	Otomatik Mekanizmalı / İpli
Elektrik Sisitemi (V/ Ah)	12/24
Hava Filtresi	Çift Elemanlı–Yağ Banyolu
Yakıt Depo Kapasitesi (lt)	3,5
Yakıt Cinsi	Dizel
Yakıt Tüketimi (lt/saat)	1,20
Yağ Haznesi Kapasitesi (lt)	1,10
Soğutma Sistemi	Cebri Hava Soğutmalı
Ölçüler (Enxboyxyükseklik) (mm)	383X421X450
Ağırlık (kg)	38

BÖLÜM 6

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Gerçekleştirilen elektronik kontrollü yakıt enjeksiyon sistemi laboratuvar ortamında denenmiştir. Deney düzeneği ile dizel yakıtının enjeksiyon basıncı ve süresi değiştirilerek püskürtülen yakıt miktarları ölçülmüş, elde edilen sonuçlar klasik yakıt enjeksiyon sistemine sahip iki farklı dizel motor yakıt tüketim miktarları ile karşılaştırılmıştır.

6.1. ENJEKSİYON SÜRESİNE BAĞLI PÜSKÜRTÜLEN YAKIT MİKTARI

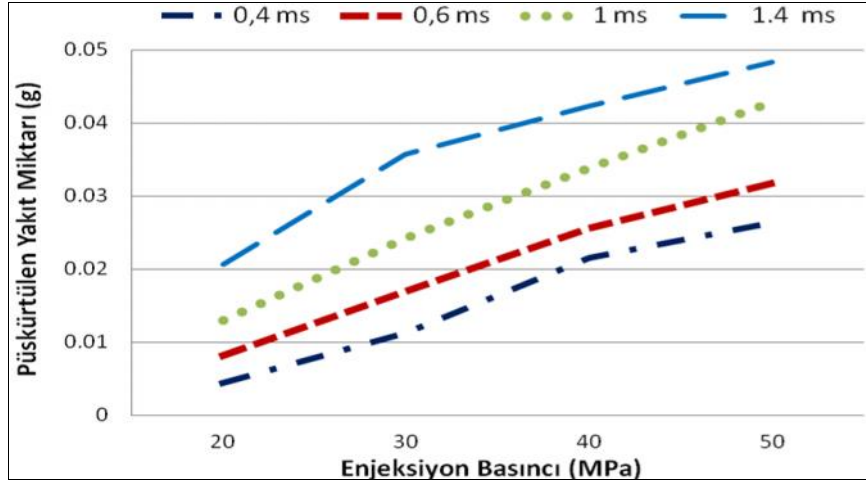
Elektronik kontrollü yakıt enjeksiyon sistemi ile enjeksiyon süresine bağlı deneysel olarak ölçülmüş püskürtülen yakıt miktarları Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Enjeksiyon basıncına ve süresine bağlı yakıt miktarı.

Enjeksiyon Basıncı (MPa)	Enjeksiyon Süresi (ms)				Yakıt Miktarı
	0.4	0.6	1	1.4	
20	0.0044	0.00821	0.01302	0.02064	g/çevrim
30	0.01122	0.01699	0.02417	0.03571	
40	0.021505	0.0256	0.03379	0.0423	
50	0.02628	0.03178	0.04278	0.04829	

Elde edilen verilerden enjeksiyon basıncı ve süresi arttığında püskürtülen yakıt miktarının da arttığı gözlenmiştir. Çizelge 6.1’de de görüldüğü gibi 20 MPa enjeksiyon basıncında 0.4 ms enjeksiyon süresinde, 0.0044 g/çevrim dizel yakıtı püskürtülürken 0.6 ms enjeksiyon süresinde 0.00821 g/çevrim dizel yakıtı püskürtülmüştür. 50 MPa enjeksiyon basıncında 1 ms enjeksiyon süresinde püskürtülen dizel yakıtı miktarı 0.04278 g/çevrim olurken 1.4 ms enjeksiyon süresinde püskürtülen yakıt miktarı 0.04829 g/çevrim olmuştur. Püskürtülen yakıt miktarının kontrolü için enjeksiyon basıncı ve süresinin kontrol edilmesi gereklidir.

Enjeksiyon basıncı sabit tutulup enjektörün açık kalma süresi artırıldığında püskürtülen yakıt miktarı da artmıştır. Şekil 6.1’de enjektörün açık kalma süresi sabit iken değişen enjeksiyon basınçlarında püskürtülen yakıt miktarı gösterilmektedir.



Şekil 6.1. Enjeksiyon basıncına bağlı püskürtülen yakıt miktarı.

6.2. ENJEKSİYON BASINCINA BAĞLI PÜSKÜRTÜLEN YAKIT MİKTARI

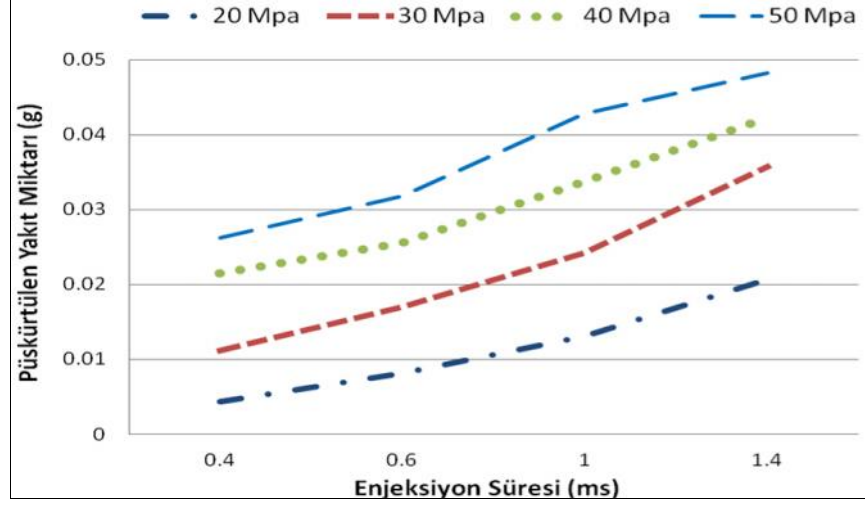
Çizelge 6.2’de enjeksiyon süresine ve basıncına bağlı deneysel olarak ölçülmüş yakıt miktarı değişimi gösterilmiştir.

Çizelge 6.2. Enjeksiyon süresine ve basıncına bağlı yakıt miktarı.

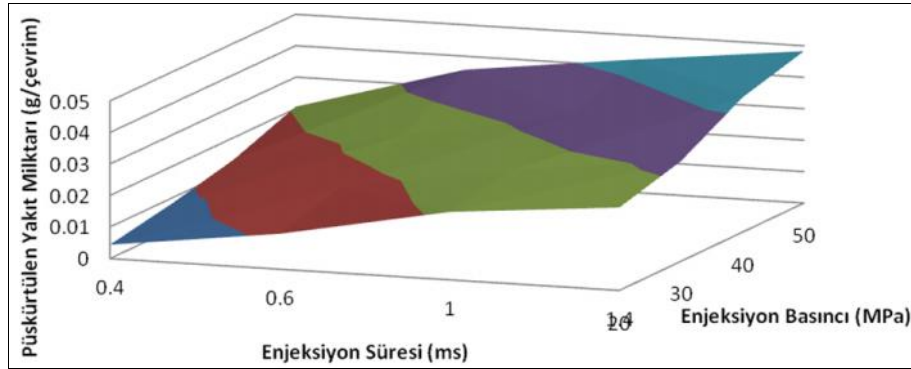
Enjeksiyon Süresi	Enjeksiyon Basıncı (MPa)				Yakıt Miktarı
	20	30	40	50	
0.4	0.0044	0.01122	0.021505	0.02628	g/çevrim
0.6	0.00821	0.01699	0.0256	0.03178	
1	0.01302	0.02417	0.03379	0.04278	
1.4	0.02064	0.03571	0.0423	0.04829	

Çizelge 6.2’de görüldüğü gibi enjektörün açık kalma süresi sabit tutulup enjeksiyon basıncı arttırıldığında püskürtülen yakıt miktarı da artmıştır. Enjektörün açık kalma süresi 0.4 ms iken 20 MPa enjeksiyon basıncında püskürtülen dizel yakıtı miktarı 0.0044 g/çevrim, 30 MPa enjeksiyon basıncında püskürtülen dizel yakıtı miktarı 0.01122 g/çevrim olmuştur.

Şekil 6.2’de sabit enjeksiyon basınçlarında enjektörün açık kalma süresine bağlı olarak püskürtülen yakıt miktarı gösterilmektedir. Şekil 6.3’te enjeksiyon süresine ve basıncına bağlı olarak püskürtülen yakıt miktarı alan grafiği görülmektedir.



Şekil 6.2.Enjeksiyon süresine bağlı püskürtülen yakıt miktarı.



Şekil 6.3. Enjeksiyon süresine ve basıncına bağlı püskürtülen yakıt miktarı.

6.3. DENEYSEL VERİLER İLE GERÇEK BİR MOTOR YAKIT İHTİYACININ KARŞILAŞTIRILMASI

Gerçekleştirilen yakıt enjeksiyon sisteminin gerçek koşullarda bir motorun yakıt ihtiyacını karşılayıp karşılayamayacağını tespit edilebilmesi için sabit hız değişik yük koşullarında ve tam yük değişik hız koşullarına ait yakıt tüketimi verileri ile elektronik kontrollü yakıt enjeksiyon sistemine ait püskürtülen yakıt miktarları karşılaştırılmıştır. Tam yük değişik devir koşullarına ait yakıt tüketimi verileri Antor

marka 6 LD 400 motoru ile sabit hız değişik yük koşullarına ait yakıt tüketimi verileri ise Katana marka KM178F motoru ile bu çalışma kapsamında Karabük Üniversitesi motor test laboratuvarında elde edilmiştir.

Klasik yakıt enjeksiyon sistemine sahip motorlardan KM178F'e ait 20.5 MPa püskürtme basıncında ve 3000 d/dk sabit motor hızında değişik yükler altında deneysel olarak ölçülen yakıt tüketimi değerleri Çizelge 6.3'te verilmiştir. 6 LD 400 motoruna ait 20 MPa enjeksiyon basıncında tam yük değişik motor hızlarında deneysel olarak ölçülmüş yakıt tüketimi verileri Çizelge 6.4'te verilmiştir.

Çizelge 6.3. Katana KM178F motoruna ait 3000 d/dk sabit motor hızında çevrim başına yakıt tüketimi.

Yakıt Tüketimi (g/çevrim)	Motor Yüğü (%)					
	0	20	40	60	80	100
	0.003076	0.0052	0.00668	0.00832	0.01108	0.01248

Çizelge 6.4. Antor LD 400 motoruna ait tam yük değişik motor hızlarında çevrim başına yakıt tüketimi.

Yakıt Tüketimi (g/çevrim)	Motor Devri (d/dk)					
	1400	1800	2200	2600	3000	3400
	0.0088	0.0092	0.00886	0.0091	0.00938	0.0099

Dizel motor araştırma çalışmalarında en sık yapılan tam yük değişik hız ve sabit hız değişik yük koşullarına ait yakıt tüketimi verileri ile elektronik kontrollü yakıt enjeksiyon sistemine ait çevrim başına püskürtülen yakıt miktarları karşılaştırıldığında motorun çevrim başına ihtiyaç duyduğu yakıt miktarının elektronik kontrollü yakıt enjeksiyon sistemi ile sağlanabildiği görülmektedir.

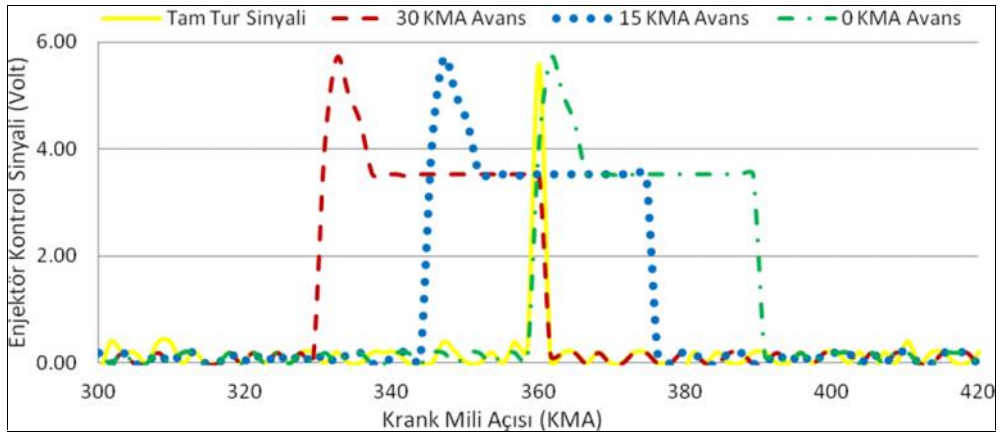
KM178F'e ait sabit hız değişik yük koşullarındaki yakıt tüketimi verilerine bakıldığında 3000 d/dk %60 yük durumunda tüketilen 0.00832 g/çevrim dizel yakıtının elektronik kontrollü yakıt enjeksiyon sisteminde 20 MPa enjeksiyon basıncı 0.6 ms enjeksiyon süresi değerlerinde elde edildiği görülmektedir. 3000 d/dk %100 yük durumunda tüketilen 0.01248 g/çevrim dizel yakıtının elektronik kontrollü yakıt

enjeksiyon sisteminde 20 MPa enjeksiyon basıncı 1 ms enjeksiyon süresi, 30 MPa 0.4 ms- 0.6 ms enjeksiyon süresi aralığı değerlerinde sağlandığı görülmektedir.

6 LD 400'e ait tam yük değişik hız deneyi yakıt tüketimi verilerine bakıldığında tam yük 2200 d/dk durumu için tüketilen 0.00886 g/çevrim dizel yakıtının elektronik kontrollü yakıt enjeksiyon sisteminde 20 MPa enjeksiyon basıncı 0.6 ms-1 ms enjeksiyon süresi aralığında sağlandığı görülmektedir.

6.4. FARKLI AVANS DEĞERLERİNDE SİSTEMİN ÇALIŞMASI

Gerçekleştirilen elektronik kontrollü yakıt enjeksiyon sistemi çalıştırılarak avans değerlerine müdahale edilmesi sonrasında elde edilen bazı veriler. Şekil 6.4'te 30° KMA, 15° KMA ve 0° KMA avans değerlerine karşılık kontrol sinyalinin durumu gösterilmiştir.



Şekil 6.4. 30°-15°-0° KMA avans değerlerinde kontrol sinyali.

Gerçekleştirilen elektronik kontrollü yakıt enjeksiyon sistemi ile KMA cinsinden 2°'lik hassasiyetle manuel olarak avans değerleri sağlanabilmektedir. Motorlarda genellikle ihtiyaç duyulan 20°-30° KMA avans değerleri bu sistemle rahatlıkla sağlanabilmektedir. Hazırlanan yakıt enjeksiyon sisteminin istenilen avans değerlerinde selenoid enjektör kontrolünü sağladığı görülmektedir. Sistemin hassasiyetinin artırılması ve manuel olarak sağlanan avans değişiminin çalışma koşullarına göre kendiliğinden değişebilir hale getirilmesi geliştirmeye açık olan yönleridir.

BÖLÜM 7

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Gerçekleştirilen elektronik kontrollü yakıt enjeksiyon sisteminin test edilmesi ve elde edilen verilerin değerlendirilmesi ile varılan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Elektronik kontrollü yakıt enjeksiyon sistemi ile dizel yakıtı enjeksiyon basıncı ve avansı değerlerinin kesin ve hassas olarak kontrol edilebildiği görülmüştür.

Dizel motorları performans ve emisyon araştırmalarında en sık yapılan tam yük değişik hız ve sabit hız değişik yük koşullarına ait yakıt tüketimi verileri ile elektronik kontrollü yakıt enjeksiyon sistemine ait çevrim başına püskürtülen yakıt miktarları karşılaştırıldığında motorun çevrim başına ihtiyaç duyduğu yakıt miktarının elektronik kontrollü yakıt enjeksiyon sistemi ile sağlanabileceği tespit edilmiştir.

Sistem dizel motorlarının ihtiyaç duyduğu avans değerleri değiştirilerek kontrol edilmiş ve istenilen avans değerlerini rahatlıkla sağlayabilmektedir. Sistem avans değerini 2° KMA hassaslıkta ayarlamaktadır.

Hazırlanan elektronik kontrollü yakıt enjeksiyon sisteminin geliştirilmesi için; EKÜ kartının donanım ve yazılım olarak iyileştirilmesi, kullanılan elektronik devre elemanı sayısının azaltılması, mikrodenetleyici çalışma frekansının yükseltilmesi ve enjektör sürücü kısmında değişiklikler yapılabilir. Açık bilginin krank milinden okunması sistemin hassasiyetini arttıracaktır.

Sistemin otomatik hale getirilmesi ve motora uygulanması bu çalışmanın sonraki aşamalarında düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Roy, M. M., "Effect of fuel injection timing and injection pressure on combustion and odorous emissions in di diesel engines," *J. Energy Resour. Technol.*, 131 (3): 032201 (2009).
2. Roy, M. M., and Tsunemoto, H., "Investigation of odorous components and improvement in odor assessment procedure in di diesel engines," *SAE*, Paper No: -01-2875 (2002).
3. Li, M., Cui, H., Wang, J. and Guan, Y. "Improvement of fuel injection system of locomotive diesel engine", *Journal of Environmental Sciences Supplement*, 21 (1): 139-141 (2009).
4. Salman, S., ve Topgöl, T., "Bir dizel motorunda enjeksiyon basıncının motor performansına, soğutma suyu ve egzoz gazı yoluyla kaybedilen ısı enerjisine etkisi", *Politeknik Dergisi*, 4 (2): 27-30 (2001).
5. Gümüş, M., Sayın, C. ve Çanakcı, M., "The impact of fuel injection pressure on the exhaust emissions of a directinjection diesel engine fueled with biodiesel-diesel fuel blends", *Fuel*, 95: 486-494 (2012).
6. Sekmen, Y., ve Aktaş, A., "Biyodizel ile çalışan bir dizel motorda yakıt püskürtme basıncının performans ve egzoz emisyonlarına etkisi", *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 11 (2): 32-39 (2008).
7. Sayın, C. and Çanakcı, M., "Effects of injection timing on the engine performance and exhaust emissions of a dual-fuel diesel engine" *Energy Conversion and Management*, 50: 203-213 (2009).
8. Aktaş, A., ve Sekmen, Y., "Biyodizel ile çalışan bir dizel motorda yakıt püskürtme avansının performans ve egzoz emisyonlarına etkisi", *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 23 (1): 199-206 (2008).
9. Özsezen, A. N., ve Çanakcı, M., "Dizel motorlarında elektronik yakıt kontrol teknolojisi" *Mühendis ve Makine*, 47 (561): 39-46 (2006).
10. Wenchun, T. and Jinlong, Z., "Design of high pressure common rail diesel ECU based on MC68376", *Chinese Internal Combustion Engine Engineering*, 2: 11-15 (2005).
11. Song, G. and Li, J., "Research and development on a novel driving module for injector high-speed solenoid valve of high-pressure common rail system", *Chinese Internal Combustion Engine Engineering*, 6: 1-5 (2005).

12. An, S., Ouyang, G., Zhang, J. and Yang, K., "Experiment study on control methods of common rail pressure by entering flow", *Electronic Measurement & Instruments, 9th International Conference*, Beijing, China, 3: 806-809 (2009).
13. Sujing, W., Lide, W., Ping, S., Biao, L. and Xiaobo, N., "Research on electronically controlled fuel injection system" *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*, Harbin, China, 3-5, (2008).
14. An, X., Liu, B., Cui, T., Xie, Z. and Zhang, F., "Electronic control unit development for unit pump diesel engine", *International Conference on Optoelectronics and Image Processing*, Haikou, China, 1: 479-482 (2010).
15. Scheibert, K. and König, M., "Peak & Hold Current Shape generated by TriCore derivative TC1775 AP3229 Application Note", V 2.0, *Infineon Technologies*, Germany, Sept. (2001).
16. Chae, J.O., Lee, S.M. and Hwang, J.W., "Experimental study on the electromagnetic drive for diesel fuel injection pump", *KSME/JSME THERMAL and FLUID Engineering Conference*, Gyeongju, South Korea, 10: 351-354 (1996).
17. İnternet: Toyota Motor Sales, U.S.A. Inc., "Fuel Systems 2-Injection Duration Controls", [http:// www.autoshop101.com/forms/h43.pdf](http://www.autoshop101.com/forms/h43.pdf) (2012).
18. Bianchi, G.M., Falfari, S., Pelloni, P., Filicori F., and Milani, M., "Development of a dynamic model for studying the 1st generation of common rail injectors for HSDI diesel engines", *SAE*, Paper Number: 24-0013 (2001).
19. Borat, O., Balçı, M., ve Sürmen, A., "İçten Yanmalı Motorlar Ders Kitabı Cilt:I", *G.Ü. Teknik Eğitim Vakfı Yayınları 2*, İstanbul, 1-65 (1994).
20. Kegl, B., "Experimental investigation of optimal timing of the diesel engine injection pump using biodiesel fuel", *Energy & Fuels*, 20 (4): 1460-1470 (2006).
21. Karakuş, N., "Yakıt özelliklerinin dizel motor performansına ve emisyonlarına etkisi", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 98 (2000).
22. Sönmez, İ., "Dizel motorlarına ilave oksijen verilmesinin motor performansı ve emisyonlarına etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Zonguldak, 10-24 (2006).
23. İlkılıç, C., "Bir dizel motorunda enjeksiyon basıncının egzoz emisyonlarına etkisinin araştırılması" *Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi*, 20 (3): 483-491, (2008).

24. İingür, Y., "Dizel motorları ve yakıt enjeksiyon sistemleri Gazi Üniversitesi ders notları", *Gazi Üniversitesi Otomotiv Eğitimi Anabilim Dalı*, Ankara (2003).
25. Skrutek, I., "Seal plugs design for common-rail system pressure reservoir high-cyclic fatigue testing", Msc. Thesis, *Institue of Automotive Engineering, Brno University Of Technology*, Brno, Czech Republic, 10-21 (2011).
26. İnternet: MEGEP (Mesleki Eğitim Ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi), "Motorlu Araçlar Teknolojisi", http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/modul_pdf/525MT0081.pdf (2012).
27. İnternet: Gazi Üniversitesi, "Dizel Motorlarının Tarihi", http://www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/comman_rail/cdi2.htm (2012).
28. Erdöl, E., "Enjektör parametrelerinin motor egzoz emisyonlarına etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 3-22 (2007).
29. İnternet: Kitchen, T., "Welcome to A Technical Overview Of Common Rail Diesel Fuel Systems", <http://www.yildiz.edu.tr/~oisin/Dersler/Dersnotlari/0653611/dinjection.pdf> (2012).
30. Denso International Thailand Co., Ltd., "Service Manual For Common Rail System (HP3) For Mitsubishi Triton 4D56/4M41 Engine" *Denso International Thailand Co., Ltd*, Thailand (2005).
31. İnternet: MEGEP (Mesleki Eğitim Ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi "Elektrik-Elektronik Teknolojisi", http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/modul_pdf/523EO0019.pdf, (2012).
32. İnternet: "Gömülü Sistem(embedded system) Nedir?", <http://ikiliksistemler.wordpress.com/2010/08/01/gomulu-sistem-embedded-system-nedir/> (2012).
33. Sürmen, A. ve Aslan, R., "Otomotiv Elektroniği", *Alfa Yayınları*, İstanbul, 30-32, 178 (2004).
34. Woodyard, D., "Pounder's Marine Diesel Engines and Gas Turbines 8th Edition" *Elseiver Books & Journals*, USA, 227-230 (2004).
35. İnternet: Saar Makina Ltd Şti, "Katana marka KM178 Model Dizel Motorunun Katalog Değerleri", https://www.katanashop.com.tr/index.php?route=product/product&product_id=84, (2012).
36. Anonim, Anadolu Motor A.Ş., "Antor Marka 6 LD 400 Model Dizel Motorunun Katalog Değerleri", <http://www.anadolumotor.com.tr/urunler/Antor/Dizel-Motor/6-LD-400.aspx>, (2012).

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa AYDIN 1986 yılında Aydın'da doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Mimar Sinan Anadolu Meslek Lisesi Tıp Elektronik Bölümü'nden mezun oldu. 2004 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Bölümü'nde öğrenime başlayıp 2008 yılında iyi derece ile mezun oldu. 2009 yılında İstanbul Unkapanı Sosyal Güvenlik Merkezi'nde V.H.K.İ. olarak göreve başladı. 2010 yılında Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Eğitimi Programı'na araştırma görevlisi olarak başladı ve halen aynı yerde çalışmaya devam etmektedir.

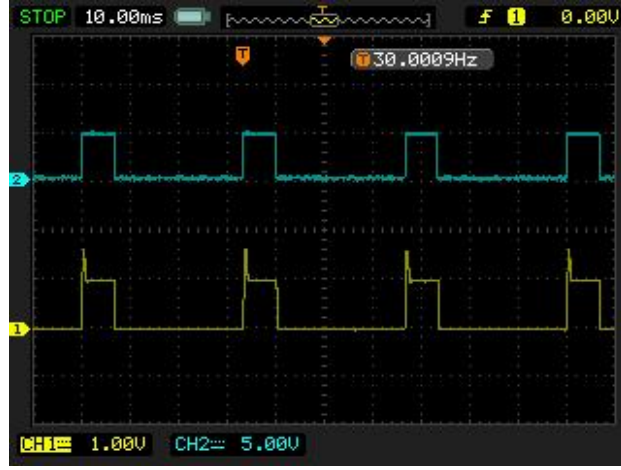
ADRES BİLGİLERİ

Adres : Karabük Üniversitesi
Teknik Eğitim Fakültesi
Balıklarkayası Mevkii / KARABÜK

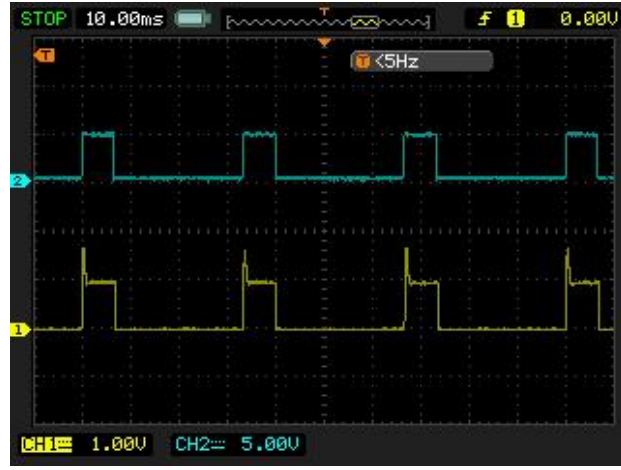
Tel : (505) 696 06 16
E-posta : m.aydin@karabuk.edu.tr

EK AÇIKLAMALAR A.

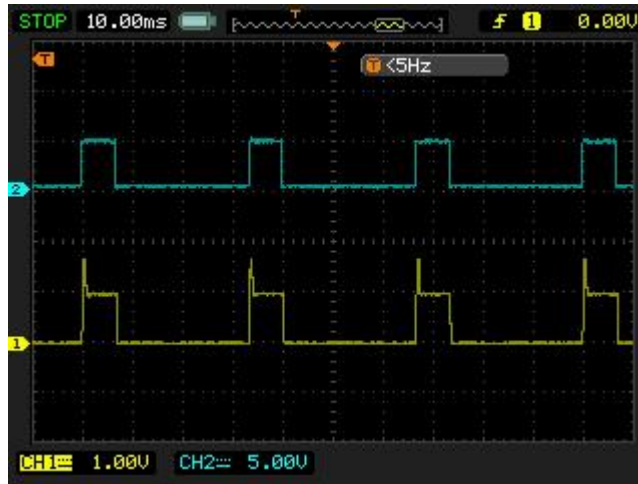
**FARKLI ÇALIŞMA GERİLİMLERİNDE ENJEKTÖRÜN ÇEKTİĞİ AKIM
GRAFİKLERİ**



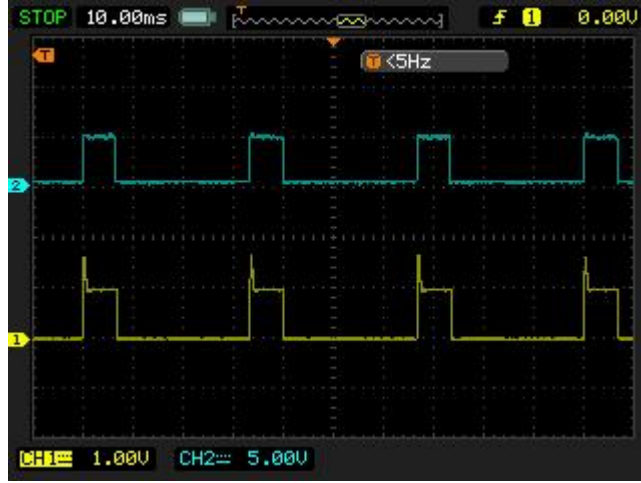
Şekil Ek A.1. 14V Çalışma geriliminde çekilen enjektörün çektiği akım.



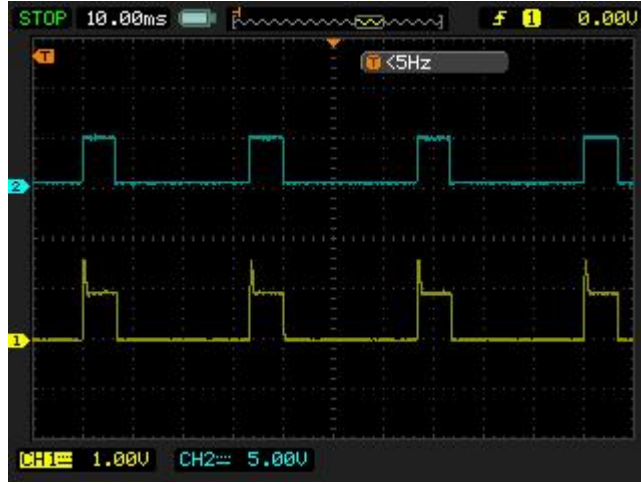
Şekil Ek A.2. 18V Çalışma geriliminde çekilen enjektörün çektiği akım.



Şekil Ek A.3. 22V Çalışma geriliminde çekilen enjektörün çektiği akım.



Şekil Ek A.4. 26V Çalışma geriliminde çekilen enjektörün çektiği akım



Şekil Ek A.5. 30V Çalışma geriliminde çekilen enjektörün çektiği akım

EK AÇIKLAMALAR B.

**FARKLI AVANS DEĞERLERİNDE ENJEKTÖR KONTROL SİNYALİ VE
ENJEKTÖR AKIMI**



Şekil Ek B.1. 35° KMA avans değerinde tam tur, enjektör kontrol sinyalleri ve çekilen akım



Şekil Ek B.2. 30° KMA avans değerinde tam tur, enjektör kontrol sinyalleri ve çekilen akım



Şekil Ek B.3. 25° KMA avans değerinde tam tur, enjektör kontrol sinyalleri ve çekilen akım



Şekil Ek B.4. 20° KMA avans değerinde tam tur, enjektör kontrol sinyalleri ve çekilen akım



Şekil Ek B.5. 15° KMA avans değerinde tam tur, enjektör kontrol sinyalleri ve çekilen akım



Şekil Ek B.6. 10° KMA avans değerinde tam tur, enjektör kontrol sinyalleri ve çekilen akım



Şekil Ek B.7. 5° KMA avans değerinde tam tur, enjektör kontrol sinyalleri ve çekilen akım



Şekil Ek B.8. 0° KMA avans değerinde tam tur, enjektör kontrol sinyalleri ve çekilen akım