

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PLC İLE PÜSKÜRTME VE ATEŞLEME AVANSI DEĞİŞTİRİLEBİLEN DİREKT
PÜSKÜRTMELİ OTTO MOTORU YÖNETİMİ**

ŞAFAK KOŞAR YILMAZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENERJİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. ALP TEKİN ERGENÇ**

İSTANBUL, 2017

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PLC İLE PÜSKÜRTME VE ATEŞLEME AVANSI DEĞİŞTİRİLEBİLEN DİREKT
PÜSKÜRTMELİ OTTO MOTORU YÖNETİMİ**

Şafak Koşar YILMAZ tarafından hazırlanan tez çalışması 16.06.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Alp Tekin ERGENÇ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Alp Tekin ERGENÇ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Orkun ÖZENER
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. O. Akın KUTLAR
İstanbul Teknik Üniversitesi

Bu alışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü' nün 2013-06-01-YL01 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

PLC ile püskürtme ve ateşleme avansı değiştirilebilen direkt püskürtmeli otto motoru yönetiminin analiz edildiği bu yüksek lisans tezi çalışmasında bana yardımcı olan tez danışmanım değerli hocam Doç. Dr. ALP TEKİN ERGENÇ'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tüm yaşantım boyunca benim mutluluğum için hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan ve çalışmalarım sırasında maddi manevi büyük desteğini gördüğüm aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Haziran, 2017

Şafak Koşar YILMAZ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT.....	xiii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	4
1.3 Hipotez	4
BÖLÜM 2	
BENZİNLİ MOTORLARDA YAKIT DONANIMLARI.....	5
2.1 Benzin Püskürtme Sistemlerinin Tarihçesi.....	6
2.1.1 Direkt Benzin Püskürtmeli Motorların Tarihsel Gelişimi	6
2.2 Karışım Teşkilinin Hazırlanması.....	9
2.2.1 Silindir Dışında Karışım Teşkili	9
2.2.2 Silindir içinde karışım teşkili	10
BÖLÜM 3	
DİREKT BENZİN PÜSKÜRTMELİ MOTORLAR.....	12
3.1 GDI Motorların Performans ve Egzoz Emisyonları.....	14
3.1.1. Performans Açısından GDI Motorlar	14
3.1.2 Egzoz Gazı Emisyonları Açısından GDI Motorlar	16
3.2 GDI Motorların Geleceği	17

BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMA	19
4.1 Deney Düzeneği Ve Ekipmanları	19
4.1.1 Motor Teknik Özellikleri	20
4.1.2 Yükleme Sistemi	23
4.1.3 Artımsal Kodlayıcı	25
4.1.4 Silindir İçi Basınç Ölçümü	26
4.1.5 Yakıt Donanımları	28
4.1.6 Egzoz Emisyon Ölçüm Sistemi	29
4.1.7 Elektronik Kontrol Sistemleri.....	31

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE YORUMLAR.....	37
KAYNAKLAR	38
ÖZGEÇMİŞ	40

SİMGE LİSTESİ

Ω	Elektrik direnç birimi
λ	Hava-yakıt oranı
CO	Karbonmonoksit
CO ₂	Karbondioksit
NO _x	Azotoksit

KISALTMA LİSTESİ

AÖN	Alt Ölü Nokta
ÇNP	Çok Noktadan Püskürtme
DP	Direkt Püskürtme
EGR	Exhaust Gas Recirculation
EMP	Emme Manifolduna Püskürtme
EKYP	Emme Kanalına Yakıt Püskürtme
FSI	Fuel Stratified Injection
GDI	Gasoline Direct Injection
HC	Hydrocarbon
KMA	Krank Mili Açısı
nm	Nano Metre
Nm	Newton Metre
PFI	Hydrocarbon
PFI	Port Fuel Injection
rpm	Rounds Per Minute
ÜÖN	Üst Ölü Nokta

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2. 1 Farklı yakıt püskürtme yöntemleri	6
Şekil 2. 2 Farklı yakıt besleme sistemlerine sahip motorların, güç çıkışı ve yakıt ekonomisi yönünden karşılaştırılması	11
Şekil 3. 1 Direkt püskürtmeli (DP) ve emme kanalına yakıt püskürtmeli (EKYP) motorların şematik gösterimi.....	12
Şekil 4. 1 PLC kontrollü yüksek basınç püskürtmeli Lombardini LDA450 motor seti	19
Şekil 4. 2 PLC kontrollü yüksek basınç püskürtmeli Lombardini LDA450 motor seti	20
Şekil 4. 3 Test motoru yanma odasının kesiti	22
Şekil 4. 4 Test motoru	22
Şekil 4. 5 Diesel Motorun orijinal pistonu, işlenmemiş piston, yeniden dizayn edilerek işlenen pistonun resimleri.....	23
Şekil 4. 6 DC motor ve yük hücresi (load cell)	24
Şekil 4. 7 Panel tipi çok fonksiyonlu tartı ekranı	25
Şekil 4. 8 DC motor ve enkoderin test motoruna bağlantısı.....	26
Şekil 4. 9 Silindir içi basınç ölçümü altyapısının şeması	27
Şekil 4. 10 Osiloskobun genel görünümü.....	27
Şekil 4. 11 Yüksek basınç yakıt iletim sistemi sistem çalışmıyorken ve çalışırken	29
Şekil 4. 12 Yakıt iletim sisteminin şematik resmi	29
Şekil 4. 13 Enjektörün kesit görüntüsü	30
Şekil 4. 14 AVL Egzoz emisyon ölçüm cihazının ekranı	31
Şekil 4. 15 Motorun çalışması sırasında osiloskopta görülen sinyaller.....	32
Şekil 4. 16 Sabit ateşleme avansında, püskürtme basıncının değiştirilmesi ile elde edilen motor gücünün değişim grafiği	33
Şekil 4. 17 Siemens S7-200 CPU-224 PLC, EM-231 ADC ve TD200 HM ekranı	34
Şekil 4. 18 Sabit ateşleme avansında, püskürtme basıncının değiştirilmesi ile CO emisyonlarındaki değişim grafiği.....	34
Şekil 4. 19 Sabit ateşleme avansında, püskürtme basıncının değiştirilmesi ile CO ₂ emisyonlarındaki değişim grafiği.....	35
Şekil 4. 20 Sabit ateşleme avansında, püskürtme basıncının değiştirilmesi ile HC emisyonlarındaki değişim grafiği.....	35
Şekil 4. 21 Sabit ateşleme avansında, püskürtme basıncının değiştirilmesi ile NO _x emisyonlarındaki değişim grafiği.....	36

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1	Direkt püskürtmeli benzin motorlarındaki gelişmeler 8
Çizelge 3. 2	Direkt püskürtmeli benzinli motorların üstünlükleri ve sakıncaları..... 18
Çizelge 4. 1	Deney motorunun özellikleri..... 21

**PLC İLE PÜSKÜRTME VE ATEŞLEME AVANSI DEĞİŞTİRİLEBİLEN DİREKT
PÜSKÜRTMELİ OTTO MOTORU YÖNETİMİ**

Şafak Koşar YILMAZ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Alp Tekin ERGENÇ

Kıvılcım ateşlemeli ya da benzinli motorlar iyi derecede hava kullanım oranları nedeniyle yüksek özgül güç ve geniş hız aralığında çalışabilme özelliklerini gösterirken, sıkıştırma ateşlemeli ya da Diesel motorlar ise yüksek sıkıştırma oranları sayesinde daha iyi termik verim ve kısılma kaybı olmaksızın çalışma imkanı sunmaktadır. Araştırma kurumlarının, üniversitelerin ve özellikle otomobil üreten firmaların en önemli çalışma konularının başında, bu iki farklı yöntemin yararlı kısımlarını bir araya getirerek daha düşük yakıt tüketimi ve daha yüksek performans ile daha az kirletici egzoz emisyonlarının salınımı ve kullanıcılara daha iyi bir sürüş konforu sağlamak gelmektedir. Şu anda süregelen çalışmalar ve motorlar üzerinde elde ettiğimiz yüzyılı aşkın tecrübeler, bize bu hedefleri gerçekleştirebilecek en iyi çözüm yöntemlerinden biri olarak direkt püskürtmeli benzin motorlarını göstermektedir. Yanma odasına yakıtın direkt püskürtülmesi, yakıtın buharlaşıp emme havasını soğutması nedeniyle yakıt ekonomisinde iyileşme sağlamaktadır. Ayrıca direkt püskürtme, vuruntu dayanımını ve volümetrik verimi de arttırmaktadır.

Bu tez, direkt püskürtme (DP) teknolojisinin ulaştığı en son nokta hakkında temel bir bilgi vererek gelecek için bir perspektif oluşturmaktadır. Bu tezde literatür araştırmaları incelenecek ardından, tek silindirli içten yanmalı bir diesel motorunun, püskürtme ve ateşleme avansı değiştirilebilen direkt püskürtmeli otto motora dönüşümü anlatılacaktır. Yapılan deneyler ile performans analizi yapılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Benzinli motorlar, direkt püskürtme, DP, direkt benzin püskürtmeli motorlar, motor yönetimi

**CONTROL OF DIRECT INJECTION OTTO MOTOR WHOSE INJECTION AND
IGNITION ADVANCES CAN BE ADJUSTED WITH PLC**

Şafak Koşar YILMAZ

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr. Alp Tekin ERGENÇ

For over a century in the history of internal combustion engines, two concepts have played a dominant role during the process of development and production. The spark ignition or gasoline engine shows the distinctive feature of high specific power and large speed range due to its good level of air utilisation; whilst the compression ignition or Diesel engine, offers better thermal efficiency from the use of a higher compression ratio, and the absence of throttling. Combining the positive aspects of these two engine types has always been a goal of engine research and development in the automobile industry, and Gasoline Direct Injection (GDI) Spark Ignition engine is seen as one of the most promising ways to achieve this aim. The direct injection of fuel into the combustion chamber leads to improved fuel economy because intake air is cooled by fuel evaporation. Direct fuel injection also improves knock resistance and volume efficiency.

As this thesis giving a basic introduction to the state-of-the-art of direct injection (GDI) technology, provides a perspective for the future. At this thesis literature researches will be examined and than transforming of single cylinder diesel engine to the otto engine whose injection and ignition advances can be adjusted will be explained. Performance analysis will be done with the experiments made.

Keywords: Gasoline engines, direct injection, GDI, gasoline direct injection engines, motor control

1.1 Literatür Özeti

(Cheolwoong Park vd. [1]) (2012) tarafından yapılan araştırmada direkt benzin püskürtmeli motorlarda kademeli dolgu, fakir karışımın yanma karakteristiğine etkisi incelenmiş, enjeksiyon ve ateşleme zamanlamasının yanma verimine etkisi gözlenmiştir. 20 MPa yakıt püskürtme basınçlarında, çok fakir karışımlarda dahi buji etrafında zengin karışım elde edilebilmiştir. Ancak aynı koşullarda egzoz emisyonlarında iyileşme sağlanamamıştır. EGR kullanımı ise hedeflenen emisyon değerlerine ulaşılmasında yardımcı olmuştur.

(J. Hunicz vd. [2]) (2010) tarafından tek silindirli bir test motorunda direkt yakıt püskürtme stratejileri üzerine deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada, sübap bindirmesi ve iç EGR yapılarak kontrollü otomatik ateşleme ile test düzeneği çalıştırılmıştır. Tekli ve bir miktarı üst ölü noktaya (ÜÖN) yakın zamanda, diğeri değişken zamanlamada olmak üzere çift enjeksiyon ile yakıt püskürtülmüştür. Ek olarak değişken yakıt püskürtme basınçlarında da yanma analizleri yapılmıştır. Araştırmalar göstermiştir ki sübap bindirmesi esnasında tekli enjeksiyon yapılması durumunda ısı transferinde artış olmakta ve NO_x emisyonuna çok büyük etki göstermektedir. Genel olarak daha geç yakıt enjeksiyonu NO_x emisyonları düşürmektedir. Bu arada püskürtme zamanlamasının HC emisyonlarına etkisinin daha az olduğu gözlenmiştir. Diğer taraftan bölünmüş-çoklu enjeksiyon yönteminin, tekil enjeksiyon yöntemine göre oldukça avantajlı olduğu gözlenmiştir. Farklı miktarlarda yakıtın farklı zamanlarda ikincil olarak püskürtülmesi incelenerek optimum karışım formu elde edilmeye çalışılmıştır.

Bunun sonucu olarak eş miktarda yakıtın önce sübap bindirmesi sırasında birinci enjeksiyon olarak ve daha sonrada sıkıştırma stroku başlangıcında ikincil enjeksiyon olarak püskürtülmesiyle en düşük emisyon oranlarına ulaşılmıştır. Bu enjeksiyon yöntemiyle erken enjeksiyon yöntemine kıyasla %60 oranında NOx emisyonlarında düşüş yaşanmıştır.

(F. Bonatesta vd. [3]) (2014) Euro IV GDI motor ile kısmi yük şartlarında deneyler yapmış ve motor egzoz emisyonlarını ölçmüştür. Motor, 1600-3700 dev/dk hızlarında ve 30-120 Nm tork kuvvetlerinde çalıştırılmıştır. Motora emme storukunda erken enjeksiyon uygulanmış ve her deney sırasında fakir, homojen karışım elde edilmiştir. Sonuçlar, 3 barı açan motor fren ortalama efektif basıncında, yanma süresi ile is partikül sayısı arasında sabit lineer bir bağ olduğunu ortaya koymuştur. 4 krank mili açısı değişimde cm³'te partikül sayısı ortalama altı kat artarak 1.0x10⁶'dan 6.0x10⁶'ya çok hızlı bir şekilde yükselmiştir. Ancak bu bağ, 3000 dev/dk ve 7 bar BMEP değerlerinin aşılması durumunda ortadan kaybolmaktadır. Toplam is yoğunluğu kısmi yüklemde, özellikle yüksek kısmi yük değerlerinde cm³'te 1,0x10⁶ - 1,0x77 partikül olarak ölçülmüştür. Ortalama geometrik uzunluğu 23-60 nm arasındadır. En yüksek ortalama partikül boyutu düşük motor hızı ve orta motor yükünde 50-60 nm aralığında ölçülmüştür. Yüksek motor yükünde ise partikül miktarı artmakta (cm³'te 10 milyona kadar) ancak partikül boyutları ise 23-40 nm aralığında oldukça düşük değerde olmaktadır.

(Michela Costa vd. [4]) (2012) yaptıkları sayısal optimizasyon analizi sonucu, yüksek basınçlı çok delikli enjektör ile çalışan GDI motorun tek ve çift püskürtme çalışma koşulları altında toplam verimini arttırmayı amaçlamışlardır. 3D sayısal modeller üzerinde yapılan çalışmada, optimum çift enjeksiyon yönteminin kademeli dolgu fakir karışım çalışma koşullarında tek enjeksiyon sistemine göre motor enerji verimini arttırdığı gözlenmiştir. Ayrıca optimum çift enjeksiyon yönteminde, tek enjeksiyon yöntemine göre yanmamış hidrokarbon atıklarında iyileşme mevcuttur.

(Takagi [5]) (1998) tarafından yapılan araştırmalarda GDI motorların kademeli dolgu - çok fakir karışımlarda çalışmasının bir sonucu olarak geleneksel kıvılcım ateşlemeli motorlara oranla yakıt tüketiminde %20 düşüş sağladığını ortaya konmuştur. Ayrıca

GDI motorlar %10 daha fazla çıkış gücüne ve yaklaşık %30 daha az yanmamış hidrokarbon emisyonuna sahiptir.

(Paolo Sementa vd. [6]) (2012) UltraViolet görüntülü ölçüm cihazları ile GDI motorlarda benzin ve saf bio-etanol yakıtlarının kullanımı esnasında püskürtme ve yanma gelişimlerini araştırmışlardır. Farklı yakıt ve püskürtme stratejilerinin yüksek performanslı turbo şarjlı ticari GDI motorlarda yanma işlemine ve kirliliğine etkisini araştırmak üzere yapılan bu çalışmada, motora püskürtme ve yanma işlemlerini incelemek üzere endoskopik prob ve fiber kablo bağlantısı yapılmıştır. Şehir içi çevrim koşullarını sağlamak üzere motor devri 1000 rpm ve 1500 rpm'de deneysel çalışmalar yapılmıştır. Çalışmalarda λ oranı stikoyometrik değerde sabitlenmiştir. Optik görüntülemelerde benzinin hava hareketlerine ve silindir içi basıncına karşı daha hassas olduğu gözlenmiştir. Buna karşılık etanol sprey taneciklerinin daha ince, daha yoğun olduğu ama basınç değişimlerine karşı benzin kadar hassas olmadığı ortaya çıkmıştır. Etanol kullanımda, benzin kullanımına kıyasla alevler her zaman daha küçük parlak tanecikler göstermiştir. Aynı zamanda etanol kullanımı kademeli dolgu esnasında daha dengeli yanma sağlanmış ve yanmamış hidrokarbon sayısında da azalma sağlamıştır.

(A. Necati Özsezen vd. [7]) (2006) tarafından direkt püskürtmeli benzinli motorların tasarım ve performans açısından incelendiği makalede, gelişen direkt püskürtmeli (DP) yani GDI motor teknolojisi ile emme manifolduna püskürtmeli (EMP) veya diğer bir deyişle emme kanalına yakıt püskürtmeli (EKYP) sistemler, karışım oluşumu ve motor performansı açısından karşılaştırılmıştır ve sonuç olarak direkt püskürtmeli (DP) benzinli motorlarının bulunan üstünlükleri aşağıdaki gibi özetlenmiştir;

- Direkt püskürtmeli (DP) buji ateşlemeli motorlarda pompalama ve ısı kayıplarının az olması geleneksel motorlara göre yüksek termik verim sağlamaktadır.
- Direkt püskürtmeli (DP) sistemler, emme manifolduna püskürtmeli (EMP) sistemlere göre daha yüksek volumetrik verimi sağlamaktadır.
- Volumetrik verimin artması, vuruş eğiliminin azalmasını sağlamakta ve bu sayede benzinli motorlarda yüksek sıkıştırma oranlarına müsaade edilebilmektedir.
- Direkt püskürtmeli (DP) motorlarda, soğuk çalışma şartlarında bile motorun ani hızlanma eğilimi yükselmektedir.

- Ayrıca direkt püskürtmeli (DP) motorlarda, devirler arasında geçişe hızlı cevap verilebilmektedir.

Bunun yanı sıra bu direkt püskürtmeli (DP) motorların bazı dezavantajları da vardır ve incelenen makalede bu dezavantajlar şu şekilde sıralanmıştır;

- Bütün çalışma aralıklarında silindir içinde karışım oluşturma karmaşıktır, özellikle silindir hacmi büyük olan direkt püskürtmeli (DP) motorlarda katmanlı karışımın kontrolü çok zor olmaktadır.
- Benzinin yağlayıcı özelliğinin az olmasından dolayı direkt püskürtme motor parçalarında aşınmalara neden olmaktadır.
- Direkt püskürtmeli (DP) motorlarda püskürtme açısının ve derinliğinin çok hassas olarak ayarlanması gerekmektedir.

1.2 Tezin Amacı

Elektronik kontrollü bir direkt püskürtme sistemi geliştirilerek, püskürtme avansı, püskürtme süresi içerisinde zamana bağlı yakıt miktarı ile ateşleme avansı ve ateşleme uyarı sürelerinin değiştirilebildiği bir otto motor yönetimi elde edilmeye çalışılacaktır. Yapılacak çalışmalar sonucunda, direkt püskürtme (DP) benzinli motorunda en uygun ateşleme ve yakıt püskürtme avansı belirlenebileceği bir deney düzeneği elde edilecektir.

1.3 Hipotez

Dünya genelinde motorlar üzerinde yapılan çalışmalar yakıt tüketimini düşürecek, egzoz emisyonlarını sınırlandıracak sistemler etrafında yoğunlaşmıştır. Bu konuda çalışma talepleri dikkate alındığında bu çalışma ile kullanılacak direkt püskürtme (DP) uygulamasının optimum oranının geliştirilmesi ile ilgili somut sonuçlar elde edilecek ve sonuçlar ışığında performans ve emisyon yönünden optimum değerler belirlenecektir.

BENZİNLİ MOTORLARDA YAKIT DONANIMLARI

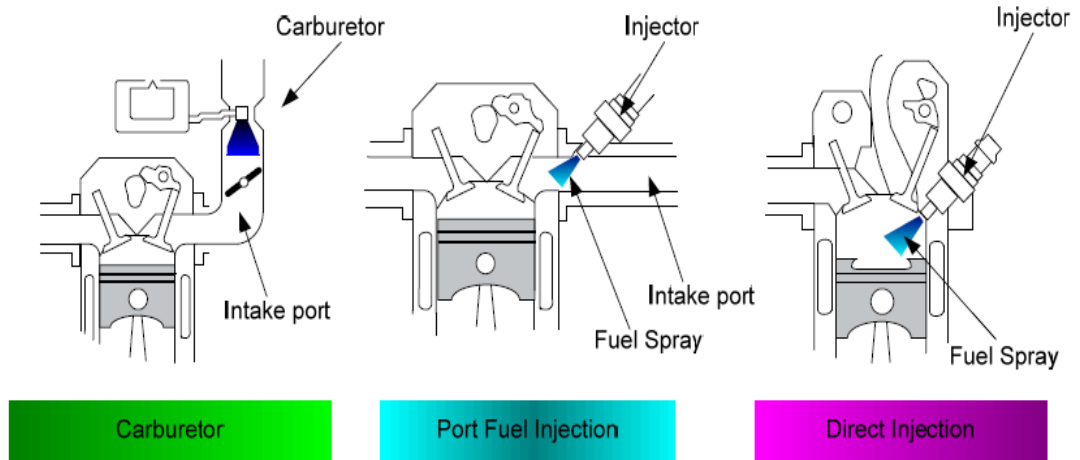
Yüzyılı aşan geçmişe sahip motor teknolojisi ve otomotiv endüstrisinde temel hedef düşük yakıt tüketimi ve yüksek performansın yanı sıra düşük emisyon ve daha iyi sürüş deneyimidir. Sürekli yükselen petrol fiyatları, artan araç sayısı ve buna bağlı olarak egzoz emisyonlarının çevre kirliliği üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle yeni teknoloji arayışları hiç ara vermeden devam etmektedir.

Klasik benzin motorlarındaki yakıtın emme kanalına püskürtülerek yakıt hava karışımı elde edilmesi uygulamasının yerine, yakıtın yani benzinin silindir içerisine emme zamanında veya sıkıştırma zamanında direkt olarak püskürtülmesi şeklinde olan uygulama, direkt püskürtmeli (DP) benzin motorlarının en temel yapısını oluşturmaktadır. Elbette yakıtın yanma odasına direkt püskürtülmesi yeni bir durum değildir. Diesel motorlar, buji ateşlemeli motorlar kadar eskidir. Aslında diesel motorların yakıt ekonomisi, araştırmacıların DP teknolojisi üzerinde çalışmaya başlamalarına öncülük etmiştir. Ancak diesel motorlarının avantajlarının yanı sıra benzin motorlarına kıyasla sınırlı güç aralığında çalışabilmesi, daha gürültülü olması ve daha yüksek NOx emisyonlarına sahip olması gibi dezavantajları vardır. Diesel motorların verimliliği, benzinli motorların daha iyi çıkış gücü gibi özelliklerini bir araya getirerek, içten yanmalı motorlar için en iyi kombinasyonu oluşturmak araştırmacıların öncelikli hedefidir [8].

2.1 Benzin Püskürtme Sistemlerinin Tarihçesi

Uzun tarihsel geçmişe sahip motor teknolojisinin gelişmesinde yakıtların ve yakıt tüketiminin çevre ve hava kirliliği üzerine olan etkileri önemli bir yer kaplamıştır. Temel çalışma etkilerinde çok büyük değişiklik olmamakla birlikte yakıtın silindir içerisine sokulmasında farklı metotlar denenmiş ve daha yüksek performansa ulaşabilmek adına bu alanda çalışmalar devam etmektedir.

Eski tip benzin motorlarında, 1990'lı yılların ortalarına kadar karbüratörlü sistemler kullanılmıştır. Gelişen teknoloji ve yakıt püskürtme sistemlerinde alınan yol ile 1980'li yıllardan sonra emme kanalına ayrı ayrı püskürtmenin yapıldığı (çok noktadan püskürtme) (PFI) ve böylece silindirler arası dengesizliğin önlendiği benzin püskürtme donanımları kullanmaya başlanmıştır. Bu yöntemde gelinebilecek en üst noktaya ulaşılmış ve daha fazla ilerleme kaydedilememiştir. Yakıt tüketimi ve güç artışında daha fazla gelişme arzulayan araştırmacılar 2000'li yıllardan sonra yakıtın tıpkı Diesel motorlarda olduğu gibi doğrudan silindir içine püskürtülmesi fikri üzerine yoğunlaşmış ve GDI motorlar günümüz otomotiv teknolojisinde yer bulmuştur.



Şekil 2. 1 Farklı yakıt püskürtme yöntemleri

2.1.1 Direkt Benzin Püskürtmeli Motorların Tarihsel Gelişimi

Karbüratör sistemleri ilk motorlarda kullanılmaktaydı ve yapısı itibari ile özellikle uçak motorları için uygun bir sistem değildi. Yarattığı bazı sakıncalar nedeniyle benzin ile havanın karıştırılması için farklı yöntemler düşünülmüştür ve benzinin püskürtülerek hava ile karıştırılması fikri ortaya çıkmıştır. Bu fikir üzerine ilk çalışmalara başlayan

Robert Bosch, 1912 yılında benzin püskürtme çalışmalarını ilerletmiştir. Direkt püskürtme sistemleri 1930 yıllarında Alman savaş uçaklarında kullanılmaya başlanmıştır. Bunun en önemli örneklerinden biri Daimler-Benz tarafından 1937 yılında üretilen V-12 DB601A modeli Alman savaş uçağıdır Messerchnitt Me109'dur. O zamanlar kullanılan karbüratörlü sistemlere kıyasla direkt püskürtme (DP), özellikle yüksek irtifalarda yakıtın daha iyi yayılımı sayesinde çok iyi bir uçuş performansı sağlamaktaydı. [9] Geliştirilen teknolojiler sayesinde 19545 yılında Mercedes Benz 300SL sports coupe modelinde direkt püskürtme sistemini uygulamıştır. Amerika'da 1955-56 yıllarında birçok aracın benzin püskürtmeli modelleri piyasaya sürülmüştür ancak bu yöntem ile motordan sağlanan güç artışının yanı sıra sistemin ilk maliyet yüksekliği ve servisinde yaşanan zorluklar gibi olumsuzlukların etkisi nedeniyle sürdürülen araştırmalar daha çok karbüratörler üzerine yönelmiştir.

Benzin püskürtme sistemlerindeki gelişimin, yukarıda belirtilen sebeplerden dolayı karbüratörlü sistemler ile rekabet edememesi sonucu Otto motorlarında gerekli olan yakıt - hava karışımı oluşturmak için uzun yıllar karbüratörlü sistemler kullanılmıştır., Araç kullanımı nedeniyle oluşan hava kirliliğinin artması ve hükümetlerin çevreci politikaları gereği egzoz emisyon değerlerini sınırlayıcı kanunları çıkarmasıyla 1990'lı yıllarda benzin püskürtme sistemleri büyük bir gelişim göstermiştir.

1990 öncesinde direkt püskürtmeli benzinli motorlar üzerine çalışmalar yapılmış olmasına rağmen, motor elemanlarının elektronik donanımlarla kontrolü için 1980'lerde karşılaşılan kısıtlamalar ve engellerin, günümüz teknolojisinin ulaştığı nokta ile aşılması mümkün olmuştur. Bu kısıtların aşılması direkt püskürtmeli buji ateşlemeli motorlara olan ilgiyi yeniden canlandırmıştır ve otomotiv endüstrisi geçtiğimiz yıllar içerisinde bu ilginin dirilişine şahitlik etmiştir. Japon motor üreticisi Mitsubishi'nin otomotiv pazarına başarılı bir DP (direkt püskürtmeli) buji ateşlemeli motor ile tekrar girmesi bu ilgideki en temel etken olarak görülmektedir. Japon Mitsubishi firması 1996 yılında ilk defa direkt püskürtmeli (DP) motora sahip seri otomobil üretimine Galant modeli ile başlamıştır. Hemen ardından 1997 yılında ise Toyota, Ford, Audi, Chrysler, GM, Mercedes-Benz, Nissan, Mazda ve Honda gibi pek çok otomobil firması direkt püskürtmeli (DP) benzin motoru üretimine başlamışlardır [10].

Günümüzde bazı Volkswagen ve Audi modellerinde (2.0 litre, 4 silindirli, turboşarjlı, Fuel Stratified Injection (FSI)) DP yani GDI teknolojisi kullanılmaktadır. GDI, yüksek boost basıncında kullanılabildiğinden ve turbo gecikmesini azalttığı için turbo şarj uygulamalarında yüksek performans göstermektedir.

Çizelge 2. 1 Direkt püskürtmeli benzin motorlarındaki gelişmeler

SENE	GELİŞME
1930	Hesselman motorunun geliştirilmesi, DVL
1934	Daimler-Benz uçak motorlarının geliştirilmesi
1938-1939	Otomotbil motorlarının geliştirilmesi (Daimler-Benz, DKW)
1940	Texaco motorunun geliştirilmesi
1950-1960	İki-zamanlı ve dört-zamanlı motorların seri üretimine başlanması (Mercedes Benz 300SL, Gutbrod, Goliath, Daimler)
1965	Witzky motorunun geliştirilmesi
1968	MAN FM motorunun geliştirilmesi
1971	Ford PROCO motorunun geliştirilmesi
1876	KHD - AD motorunun geliştirilmesi
1989	Daimler-Benz OCC motorunun geliştirilmesi
1990	Volkswagen IRVW-Futura motorunun geliştirilmesi
1996	Direkt Püskürtmeli benzin motorları üzerine yoğun araştırma çalışmaları sürdürülmesi
1997	Mitsubishi'nin Galant modeli seri GDI otomobil üretimine başlaması
1999	Mitsubishi (Galant, Pajero SUV modelleri), Toyota (Corona Premio D-+ motoru), Audi (FDI), Ford (DISI), GM, Chrysler, Nissan (NEODi), Mercedes-Benz, Honda, Mazda'nın DP benzin motoru üretimine başlaması.

2.2 Karışım Teşkilinin Hazırlanması

Benzinli motorlarda yakıt-hava karışımı silindir içinde veya silindir dışında hazırlanır. Karbüratörlü ve emme kanalına yakıt püskürtmeli (PFI) motorlarda, karışım silindir dışında hazırlanırken direkt benzin püskürtmeli motorlarda (GDI) ise karışım silindir içerisinde hazırlanır.

Yakıt püskürtme sistemleri karışımın oluşturulduğu yere göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir;

- 1- Direkt püskürtme
- 2- Emme kanalına püskürtme
- 3- Emme manifolduna püskürtme

2.2.1 Silindir Dışında Karışım Teşkilinin Oluşturulması

Yakıt – hava karışımının, emme manifoldunun başlangıcında (karbüratörlü veya tek noktadan püskürtmeli motorlarda) veya sonunda (emme kanalına düşük basınçta ÇNP motorlarda) oluşturulmasının sağladığı avantaj ve dezavantajlar aşağıda şu şekilde sıralanmıştır;

A. Avantajları

- Karışım silindir içindeki gaz hareketlerinden etkilenmez ve tek başına homojen bir yapı oluşturur.
- Yakıt, yanma odasına ulaşmadan önce buharlaşır ve iyi bir şekilde atomize olur.
- Emme manifoldundaki basınç dalgalarından faydalanılır.
- Karışımın uygun bir hız ve yön temin etmesi için yeterli süre tanınır.

B. Dezavantajları

- Manifold içinde, portta ve supap yüzeylerinde basınç dalgalarından ve kısmi püskürtme darbelerinden dolayı farklı yakıt konsantrasyonuna sahip bölgeler oluşur.
- Yakıt, emilme işlemi esnasında yanma odası cidarlarına çarpar. Bu durum, yerel olarak oksijen eksikliğinden, reaksiyon kinetiğinden veya cidarlardaki düşük sıcaklıklardan dolayı eksik yanmayla sonuçlanır.

- Supap bindirmesi esnasındaki dolgu kayıpları yakıtı da içerir. Bu dezavantaj özellikle 2-zamanlı motorlarda daha fazla önem kazanır.

- Karışımın homojenliği korunmak kaydıyla tam yükten kısmi yüke geçiş, gaz keleşbeği aracılığı ile karışımı kısmakla sağlanır. Bu durum termik verimi azaltarak daha yüksek özgöl yakıt sarfiyatına sebep olur.

2.2.2 Silindir İçinde Karışım Teşkilinin Oluşturulması

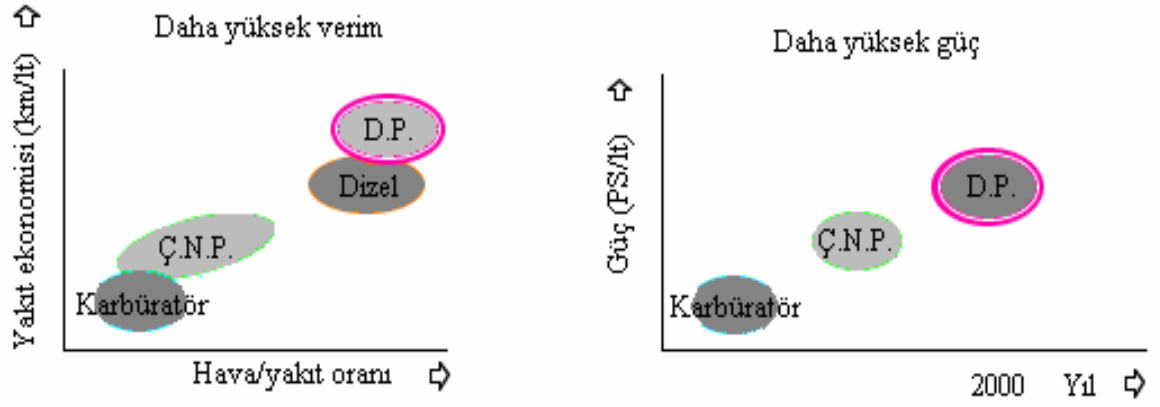
Silindir içinde karışım teşkili oluşturulması silindir dışında karışım teşkilinde bahsedilen dezavantajları giderir ve bunun yanında aşağıdaki avantajları sağlar:

- Kısmi yükte karışımı iki farklı bölgeye ayırarak havanın gaz keleşbeğiyle kısılmasından kaçınılır. Buji çevresinde stokyometrik oranda homojen karışımının bulunduğu bölge birinci bölge, bu bölgenin etrafını saran ve sadece havanın bulunduğu bölge de ikinci bölge diye adlandırılır.

- Daha yüksek sıkıştırma oranlarına çıkılabilir. Yüke bağlı olarak stokyometrik karışım konsantrasyonu bazı bölgelerde daha fazla, bazı bölgelerde daha az ve daha kısa sürelerde elde edilerek vuruntu sınırında çalışılabilir. Daha yüksek vuruntu sınırı sıkıştırma oranının arttırılmasına müsaade eder.

- Ateşlemenin başlangıcına kadar karışımın kontrol imkanı vardır. Püskürtme miktarı, püskürtme oranı, püskürtme zamanı ve ateşleme zamanı arasındaki ilişkiler yanmanın ve karışımın tam kontrolüyle sağlanır. Dışarıda karışım teşkilinde, emme supabının kapanmasıyla birlikte karışımın kontrolü biter. Sıkıştırma süresince de karışım karakterini değişen şartlara uygulamak ve düzenlemek mümkün olmaz.

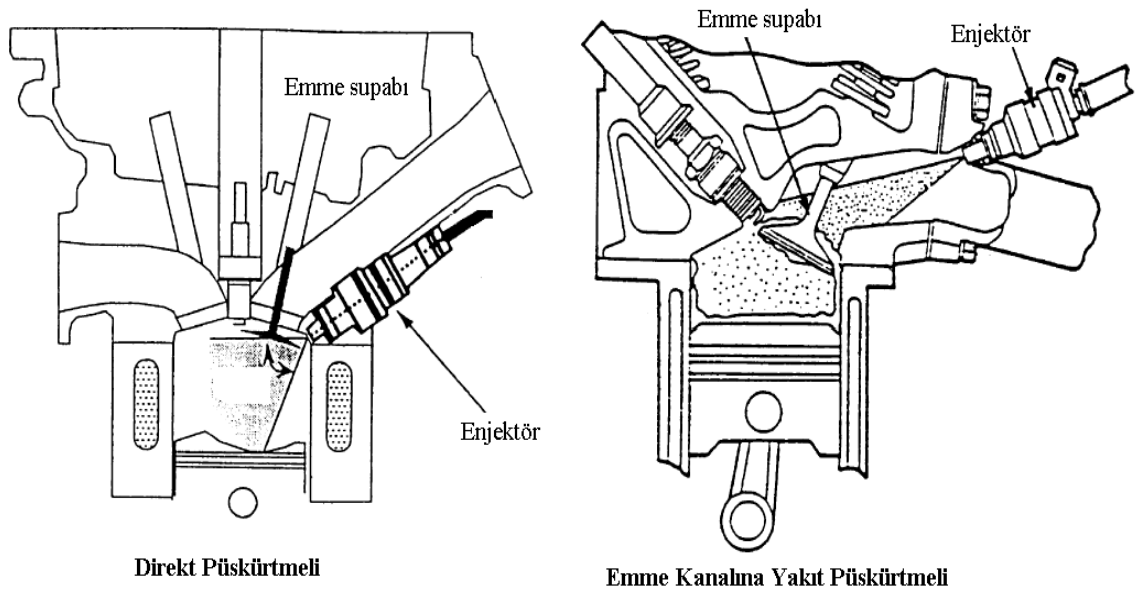
Yanma odası içindeki değişik bölgelerde değişik konsantrasyonlarda karışım oluşumu sağlanarak kirletici emisyon miktarları azaltılır [11].



Şekil 2. 2 Farklı yakıt besleme sistemlerine sahip motorların, güç çıkışı ve yakıt ekonomisi yönünden karşılaştırılması

DİREKT BENZİN PÜSKÜRTMELİ MOTORLAR

Direkt püskürtme (DP) yani gasoline direct injection (GDI) ile emme kanalına yakıt püskürtmeli (EKYP) yani port fuel injection (PFI) motorlar arasındaki en temel fark karışım teşkilinin farklı şekilde hazırlanmasındadır. Her iki yöntemin şematik resmi ve aralarındaki farklar Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3. 1 Direkt püskürtmeli (DP) ve emme kanalına yakıt püskürtmeli (EKYP) motorların şematik gösterimi

Emme kanalına yakıt püskürtmeli (EKYP) yani port fuel injection (PFI) motorlarda yakıt hava karışımını hazırlamak için yakıt, her bir silindirin emme portuna püskürtülür ve bu püskürtme ile yakıt/hava karışımının silindirlere alınması arasında bir zaman farkı doğar. Günümüz otomobil motorlarının büyük çoğunluğunda emme supabının kapanma zamanına kadar, supabının arkasına yakıt püskürtülmesi devam eder. Soğuk zamanlarda motorun ilk hareketi esnasında, emme portuna püskürtülen yakıt nedeniyle emme supabı port yüzeylerinde sıvı yakıt taneciklerinin oluşturduğu geçici bir film veya bir yakıt birikintisi oluşur. Bu durumda yakıtın hava içerisinde dağıtılması gecikir ve biriken yakıtın kısmi buharlaşmasından dolayı ideal stokiometrik oranı yakalamak için püskürtülen yakıt miktarı, doğal bir ölçme hatası olarak önemli miktarda arttırılır. Bu yakıt birikintisi ve zaman gecikmesi, motorun ilk 4-10 çevriminde kısmi yanma sebebiyle oluşan yanmamış hidrokarbon (HC) emisyonlarında önemli bir artışa sebep olurlar. Alternatif olarak yakıtın emme portuna değil, direkt olarak silindirlerin içerisine püskürtülmesi durumunda ise yakıtın port duvarlarını ıslatması problemi tamamen ortadan kalkmaktadır. Ayrıca bu yöntem kullanıldığında yakıtın silindir içerisine gönderilme zamanı oldukça kısalmaktadır ve her bir yanma olayı için gereken ve püskürtülen yakıt çok daha hassas bir şekilde ölçülebilmektedir. Herhangi bir çevrimde silindirlere giren gerçek yakıt miktarı, direkt enjeksiyon sistemi ile emme kanalına yakıt püskürtme (EKYP) sistemlerine göre, çok daha gerçekçi bir şekilde kontrol edilebilmektedir. Direkt Püskürtmeli (DP) motorlarda, karışım daha fakir, yakıt/hava karışımının silindirden silindire değişimi daha az ve özgül yakıt tüketimi daha düşüktür. Ayrıca, soğukta ilk harekette yanmamış HC emisyonları daha az olmakta ve motorun geçiş tepkisi daha iyi olmaktadır. Emme kanalına yakıt püskürtmeli (EKYP, PFI) motorlara göre Direkt püskürtmeli (DP, GDI) sistemlerde yakıt basıncı daha yüksek olduğundan yakıt, silindir içerisinde çok daha iyi atomize olmaktadır ve özellikle soğuk çalışma şartlarında yakıtın silindir içerisinde çok daha iyi buharlaşması sağlanabilmektedir. Direkt püskürtme (DP, GDI) yakıt sistemlerinde, ortalama tanecik boyutu 16 mikron iken, emme kanalına yakıt püskürtmeli (EKYP, PFI) sistemlerinde ise ortalama tanecik boyutu 120 mikron mertebesinde olmaktadır. Direkt püskürtmeli benzin motorlarında (DP, GDI) yakıtın silindir içerisine doğrudan püskürtülmesi ile yakıt filminin oluşması problemi ortadan tamamen kaldırılamamaktadır. Geçici film oluşumu

ve buharlaşmanın değişimi bakımından, pistonun tepe noktalarında ve yanma odasında bulunan diğer yüzeylerde oluşan ıslaklık önemlidir.

3.1 GDI Motorların Performans ve Egzoz Emisyonları

3.1.1 Performans Açısından GDI Motorlar

Direkt püskürtmeli (DP) motorlar fakir karışım ve kısmi yüklerde çalıştıklarında yakıt ekonomisinde dikkat çekici iyileştirmeler sağlarken, zengin karışım ve tam yükte ise daha iyi çıkış gücü sağlamaktadır [12].

Direkt püskürtmeli (DP) benzin motorlarında, tüketilen yakıt miktarı değişmeden ortalama efektif basınçtaki artış sonucu, motor performansı iyileşmekte, motorun özgül yakıt tüketimi azalmaktadır. Hava/Yakıt karışım oranı stokiyometrik değerden, 40:1 mertebesine ulaştığında yakıt ekonomisindeki iyileşme de %25 düzeyine ulaşmaktadır (Kume ve diğ., 1996). Ayrıca vuruntu meyilinin azalması sıkıştırma oranının arttırılmasına izin vermektedir. Tam yük durumunda yakıtın emme zamanında silindir içerisine püskürtülmesi, yakıtın erken buharlaşmasını sağlayarak soğutma etkisi yaratmakta ve vuruntu meyili buna bağlı olarak azalmaktadır [6].

Fakir karışımlı motorlarda genelde ilk tutuşma zorlaşmakta ve yanma kararlılığı azalmakta, çevrimden-çevrime farklılıklar artarak motor performansını olumsuz etkilemektedir. Ortalama indike basınç değerinin standard sapmasının, ortalama değerine oranı olarak tanımlanan basınç değişim katsayısı pratikte %10 düzeyini aştığında taşıtın sürüş yeteneği de olumsuz olarak etkilenmektedir. Bu nedenle fakir karışımlı yanmada genelde bazı önlemlerin alınması gereklidir. Benzinin direkt olarak silindir içerisine püskürtülmesi ve kademeli dolgu elde edilmesi kararlı yanma ortamı sağlamaktadır (Buhr ve diğ, 1996). Emme manifoldu tasarımına bağlı olarak, silindir içerisinde yaratılan gaz hareketleri de yanma kararlılığına ayrıca olumlu katkıda bulunmaktadır.

Motorun tam yük civarında çalışması durumunda, istenilen yüksek performans stokiyometrik karışım oranında sağlanabilecektir. Kademeli dolgu uygulandığında, zengin karışım bölgesinde is oluşacaktır. Bu nedenle, özellikle fakir karışım oranlarından

stokiyometrik karışımla çalışma bölgesine gelindiğinde karışımın tam homojen olması önem taşımaktadır.

Araçlar genellikle şehir içi trafikte kullanıldığından, şehir içi araç kullanımındaki yakıt ekonomisi üzerine olan çalışmalar gittikçe artmaktadır. Kullanıcılar da araç seçimlerinde şehir içi yakıt tüketimi daha düşük motorları tercih etmektedirler. Şehir içi araç kullanımında motorlar genellikle kısmi yüklerde (düşük ve orta) çalışmaktadır. Düşük yüklerde volumetrik verim de düşük olduğundan motora etki eden sıkıştırma oranı azalır (örneğin 8/1'den 3/1-4/1'e). Böylece motor verimi azalır ve yakıt tüketimi artar.

Tam yüklerde, GDI motorlar, PFI motorlar gibi tam gazda çalıştığından yakıt tüketiminde sadece az bir miktar iyileşme sağlar. Bundan dolayı kısmi yüklerdeki yakıt ekonomisi potansiyeli daha fazladır. Sıkıştırma strokunda, hava silindire bir kısımla kaybı olmadan sokulduğundan GDI motorlarda bir pompalama kaybı yaşanmaz. Termik verimdeki artış, düşük motor yüklerinde pompalama kaybındaki düşüş ve yüksek sıkıştırma oranı sayesinde olmuştur. GDI motorlarda, geleneksel PFI motorlara oranla yakıt tüketiminde %20'ye varan azalma ve %10 civarında daha yüksek güç çıkışı elde edilebilmektedir [14]. Teknoloji Geliştirme Bölgesi

Kanuna göre; Teknoloji Geliştirme Bölgesi yüksek/ileri teknoloji kullanan ya da yeni teknolojilere yönelik firmaların, belirli bir üniversite veya yüksek teknoloji enstitüsü ya da AR-GE merkez veya enstitüsünün olanaklarından yararlanarak teknoloji veya yazılım ürettikleri/geliştirdikleri, teknolojik bir buluşu ticari bir ürün, yöntem veya hizmet haline dönüştürmek için faaliyet gösterdikleri ve bu yolla bölgenin kalkınmasına katkıda bulundukları, aynı üniversite, yüksek teknoloji enstitüsü ya da AR-GE merkez veya enstitüsü alanı içinde veya yakınında; akademik, ekonomik ve sosyal yapının bütünleştiği siteyi veya bu özelliklere sahip teknoparkı temsil eder [17].

Yine kanuna göre; Teknoloji Geliştirme Bölgelerinin amacı üniversiteler, araştırma kurum ve kuruluşları ile üretim sektörlerinin işbirliği sağlanarak, ülke sanayinin uluslararası rekabet edebilir ve ihracata yönelik bir yapıya kavuşturulması maksadıyla teknolojik bilgi üretmek, üründe ve üretim yöntemlerinde yenilik geliştirmek, ürün kalitesini veya standardını yükseltmek, verimliliği artırmak, üretim maliyetlerini

düşürmek, teknolojik bilgiyi ticarileştirmek, teknoloji yoğun üretim ve girişimciliği desteklemek, küçük ve orta ölçekli işletmelerin yeni ve ileri teknolojilere uyumunu sağlamak, Bilim ve Teknoloji Yüksek Kurulunun kararları da dikkate alınarak teknoloji yoğun alanlarda yatırım olanakları yaratmak, araştırmacı ve vasıflı kişilere iş imkânı yaratmak, teknoloji transferine yardımcı olmak ve yüksek/ileri teknoloji sağlayacak yabancı sermayenin ülkeye girişini hızlandıracak teknolojik alt yapıyı sağlamaktır.

3.1.2 Egzoz Gazı Emisyonları Açısından GDI Motorlar

Çevre yönetmelikleri, buji ateşlemeli motorlar için egzoz emisyon limitlerini belirlemişlerdir. Egzoz gazları, insan sağlığı açısından önemli olan bu limitlerin içinde yer almalıdır. Üç yollu katalitik konventörler, motor $\lambda=1.0$ düzeyinde çalışırken, CO, HC ve NO_x gazlarının dönüşümünde oldukça başarılıdırlar. Ancak NO_x, fakir karışımda çalışırken, zararsız gazlara tamamen dönüştürülememektedir. Bundan dolayı fakir karışımlarda çalışırken NO_x depolayıcı tipte bir konventör gerekmektedir. Katalitik konventörler GDI motor egzoz sistemleri ile oldukça başarılı çalışmaktadırlar.

CO₂ emisyonları, küresel ısınmaya yol açan başlıca gazlardır. CO₂ emisyonlarını azaltmanın en temel yolu yakıt tüketimini düşürmekten geçer. Motor boyutlarını küçültmek, buji ateşlemeli motorlarda yakıt tüketimini azaltmanın ve sera gazı salınımını düşürmenin en temel yoludur. Motor boyutlarını değiştirmeden CO₂ gaz salınımlarını azaltmak, daha fazla ortalama efektif basınç ve güç elde etmek mümkündür.

CO emisyonları GDI motorlarda oldukça düşük seviyededir. CO vb. gazlar hava/yakıt karışımına bağlı olarak meydana gelmektedir. Zengin karışımlarda CO yüksek seviyededir. GDI motorlar kısmi yüklerde fakir karışımda ve tam yükte de stokiometrik karışımda çalıştığından CO bir problem oluşturmamaktadır. GDI motorlarda piston ve silindir duvarlarının sıvı yakıt ile ıslanmasından ötürü Hidrokarbon (HC) emisyonlarında artış olabilir. HC emisyonları motor sıcaklığının bir fonksiyonu olduğundan soğuk çalışma sırasında artmaktadır. Soğuk çalışma karakteristiği yakıt dağılım karakteristiğine, silindir içi hava akışına, yakıtın buharlaşmasına ve yakıt-hava karışımına bağlıdır [15].

Benzinli motorlar genellikle is salınımı yapmazlar. İis, zengin karışımlarda meydana gelir. Buna rağmen GDI motorlar kademeli dolgu oluştururken silindir içerisinde zengin karışım metdana geldiğinden is salınımı yapmaktadırlar.

Kademeli dolgulu yanmada, zengin karışım bölgeleri yerel olarak yüksek sıcaklıkların elde edilmesini sağlayacak ve azot oksit (NOx) emisyonları da artacaktır. Yüksek oranlarda (%40 - 50) egzoz gazı resirkülasyonu (EGR) uygulanması sonucu NOx emisyonunda azalma sağlanabilmektedir. Ancak GDI benzin motorlarının günümüz teknolojisindeki sorunu NOx emisyonları olarak görülmektedir.

3.2 GDI Motorların Geleceğı

Geleneksel PFI motorlar üzerinde araştırmacıların çalışmaları devam etmesine karşın bu yöntem gelişebileceğı en üst noktalara ulaşmıştır ve yakıt ekonomisi ile emisyonlarda daha fazla gelişme sağlanması beklenmemektedir. Buna karşılık GDI motorların avantajları ve gelişime açık yönleri açıkça ortadadır. Özellikle CO2 emisyonları ve yakıt tüketimindeki ekonomikliliğı GDI motorlara olan ilgiyi çekmiştir. Daha gelişmiş özelliklere sahip GDI motorlar için süperşarj ve/veya turboşarj uygulamaları kullanılmalıdır. Turbo şarj uygulaması ile daha ufak boyutlarda, yüksek motor verimi ve gücüne sahip ve daha düşük egzoz emisyon oranları olan GDI motorlar üretilebilmektedir [16].

Direkt püskürtme sistemleri geleneksel sistemlere göre daha pahalı bir teknolojidir. Yüksek basınç yakıt püskürtme sistemleri bu maliyeti arttıran en önemli etkindir. Ancak geleneksel PFI sistemlerinde kullanılan piston dizaynında ve silindir kafasında yapılacak bir kaç düzenleme ile otomotiv üreticilerinin PFI motorları, GDI motorlara uyarlaması çok zor bir uygulama değildir. Ayrıca seri imalata geçiş sonrası birim parça maliyetindeki düşüş ve artan petrol fiyatları karşısında kullanım sırasında sağlayacağı yakıt ekonomisi ile bu açığı hızla kapatacağı tahmin edilebilir. Günümüzde başta bu teknolojinin yaratıcısı Mitsubishi olmak üzere Volkswagen, Audi, Mercedes-Benz, Mazda, Ford, Hyundai, Ferrari ve Fiat gibi birçok otomotiv firması GDI motorları kullanmaktadır. 2008 yılı itibariyle üretilen benzin motorlu her beş araçtan birinde GDI motor kullanılmaktadır.

Çizelge 3. 2 Direkt püskürtmeli benzin motorlarındaki gelişmeler

Üstünlükler	Sakıncaları
Özgül yakıt tüketiminde %25 seviyesine ulaşan iyileşmeler - Isı kayıplarında azalma yaşanması, - Düşük oktan sayılı benzin kullanımı imkanı (emme strokunda dolgunun soğutulmasına imkan tanır), - Volumetrik verimde artış yaşanması, - Yakıt akışının hız kesme durumunda durdurulma imkanı. - Yüksek sıkıştırma oranı sağlaması, - Kısılma ve pompalama kayıplarında azalma görülmesi, Motor cevap süresinde kısalma - İvmelenme esnasında karışım zenginleştirmenin azaltılması Soğukta ilk çalışma kolaylığı imkanı Egzoz emisyonlarında azalma - Soğuk motorda hidro karbon (HC) emisyonlarında azalma, - CO₂ emisyonlarında azalma, Hava/Yakıt karışım oranında hassas kontrol olanağı	Yakıt donanımına ilişkin sorunlar - Karışım oluşturma sisteminin getirdiği yüksek teknoloji gereksinimi, - Kademesiz yük ayarı zorlukları, - Enjektörde yakıt birikimlerin oluşumu, - Yüksek basınçlı yakıt donanımında yaşanan aşınmalar, - Yakıt sisteminin gerektirdiği elektrik donanımında ek güç artışı. Egzoz gazları emisyonuna ilişkin sorunlar 3-yollu katalizör kullanımında verimin düşmesi, - Tam yük koşullarında is oluşumuna karşı eğilim, - Kısmi yüklerde yanmamış hidro karbon (HC) emisyonlarının artması, - Tam yük koşullarında yüksek azot oksit (NO_x) emisyonlarının oluşması, - Kısmi yüklerde yerel azot oksit (NO_x) oluşumunda artışın gözlenmesi. Silindir aşınması

BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMA

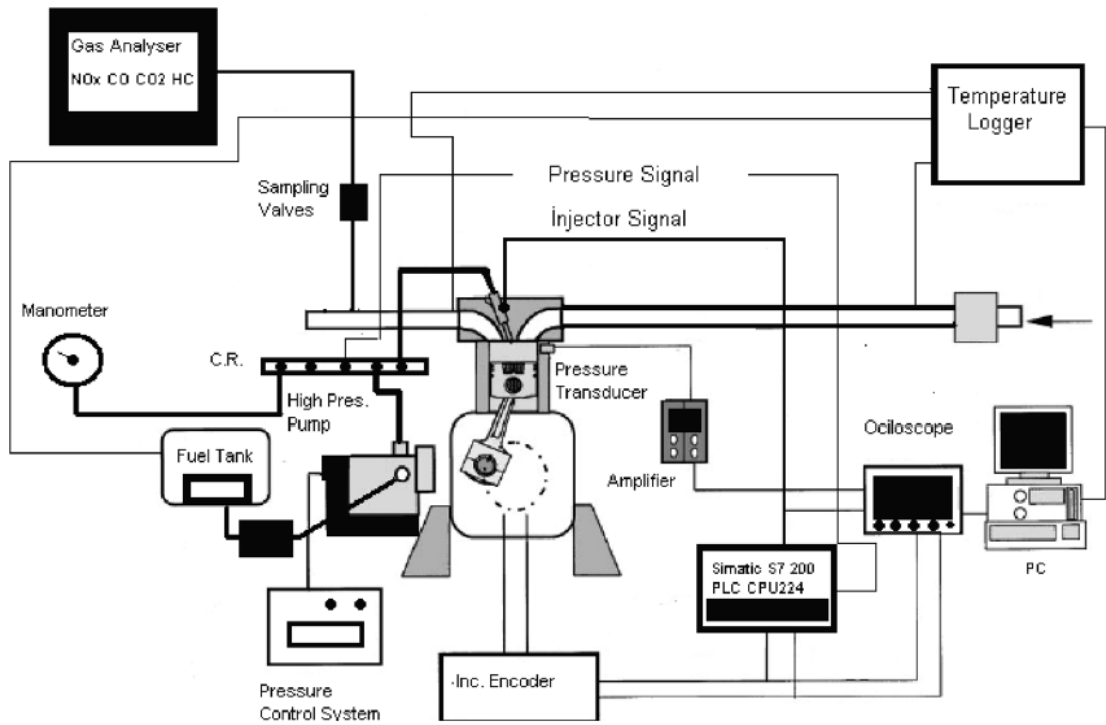
4.1 Deney Düzeneği Ve Ekipmanlar

Bu çalışmada Lombardini marka, hava soğutmalı, tek silindirli bir diesel motoru kullanılmıştır. Tek silindirli diesel motora, silindir içerisine direkt benzin püskürtecek şekilde dönüşüm yapılmıştır. Motorun genel görünümü Şekil 4.1’de, teknik özellikleri Çizelge 4.1’de, motor deney setinin şematik düzeneği ise Şekil 4.2’de gösterilmektedir.



Şekil 4.1 PLC kontrollü yüksek basınç püskürtmeli Lombardini LDA450 motor seti

Eski modele göre tutuşma ve yanma sistemi tamamen değişeceğinden ve yakıt olarak benzin kullanılacağı için, mevcut enjektör yüksek basınçta benzin püskürtebilecek bir enjektör ile değiştirilmiştir. Kıvılcım ateşlemesini sağlayacak bujiyi yerleştirmek üzere silindir kafası üzerinde bir delik açılmış ve buji yerleştirilmiştir. Ayrıca silindir içi basıncının ölçülebilmesi için kullanılacak sensör için de bir delik açılmış ve yerleştirilmiştir. Mevcut piston, yakıtın yanma odasında daha iyi karışmasını sağlayacak ve daha düşük bir sıkıştırma oranı verecek bir piston ile değiştirilmiştir. Püskürtme ve ateşleme avansı ile sürelerini kontrol edebilen bir PLC sistemi motoru entegre edilerek deney düzeneği oluşturulmuştur.



Şekil 4.2 PLC kontrollü yüksek basınç püskürtmeli Lombardini LDA450 motor seti

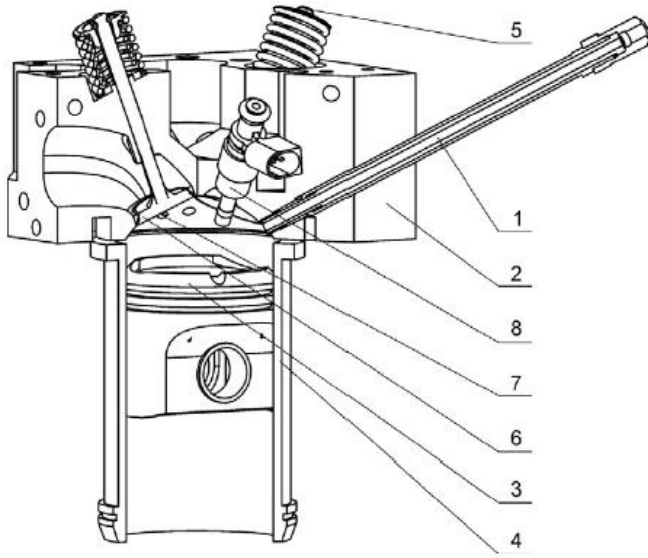
4.1.1 Deney Düzeneği Ve Ekipmanlar

Antor Lombardini marka tek silindirli diesel motorun orijinal özellikleri Çizelge 4.1’de gösterilmiştir. Şekil 4.3’te yanma odası kesitinin şematik resmi verilmiştir. Diesel motordan direkt püskürtmeli otto motora dönüşüm yaparken ilk olarak sıkıştırma oranını 17:1’den 14,5:1’e indirebilmek ve püskürtülen yakıtının silindir içerisinde daha iyi karışmasını sağlayabilmek için piston geometrisinde değişikliğe gidilmiştir. Pistonun bir kenarı oyulmuştur. Bu sayede hem sıkıştırma oranı düşürülmüş hem de püskürtülen

yakıtın buji bölgesine doğru hareketi sağlanmıştır. Şekil 4.4'te test motorunu, Şekil 4.5'te diesel motorunun orijinal pistonunu, işlenmemiş pistonu ve direkt püskürtmeli otto motora göre yeniden dizayn edilmiş pistonun resimleri gösterilmiştir.

Çizelge 4. 1 Deney Motorunun Özellikleri

Markası	ANTOR- LOMBARDINI
Modeli	LDA 450
Silindir sayısı (adet)	1
Silindir çapı (mm)	85
Stroku (mm)	80
Strok hacmi (cm ³)	454
Sıkıştırma oranı	13,5
Devir (d/d)	3000
Güç (N DIN70020) (kW)	7,5
Maksimum tork (Nm)	28,5
Yakıt tüketimi (lt/h)	1,7
Yağ tüketimi (kg/h)	0,007
Boş ağırlık (kg)	57
Yanma havası ihtiyacı (3000 d/d) (lt/1')	560
Soğutma havası ihtiyacı (3000 d/d) (lt/1')	9000
Krank mili maksimum eksenel yük (kg)	250

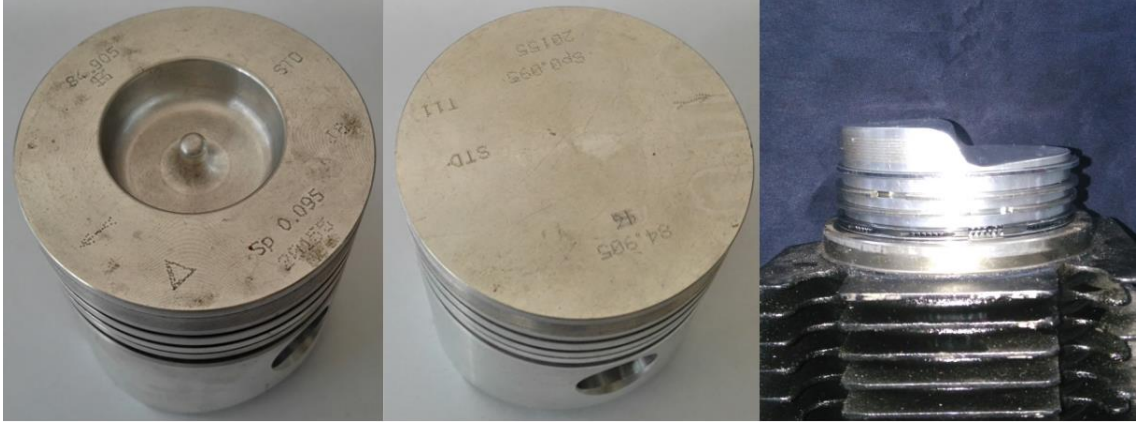


1. Piezzo sensör
2. Silindir kafası
3. Piston
4. Silindir
5. Emme valfi
6. Egzoz valfi
7. Buji
8. Enjektör

Şekil 4.3 Test motoru yanma odasının kesiti



Şekil 4.4 Test motoru



Şekil 4.5 Diesel Motorun orijinal pistonu, işlenmemiş piston, yeniden dizayn edilerek işlenen pistonun resimleri

4.1.2 Yükleme Sistemi

İçten yanmalı motora karşı yük yüklemek için bir elektrik motoru kullanılmıştır. DC motorun maksimum çalışma devri 3000 d/d olması nedeniyle, motor ile DC motor çift V kayışlı, ½ çevrim oranlı kayış kasnak bağlantısı ile birbirine bağlanmıştır.

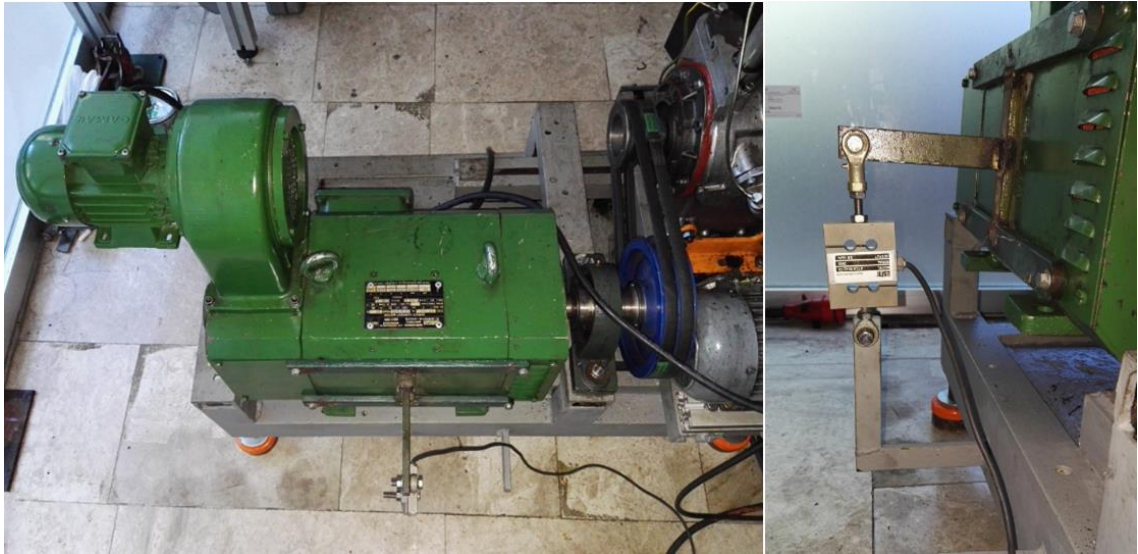
Bağlantı, DC motor askıda kalacak şekilde iki tarafından yataklanmış ve yükleme momenti ölçümü yapılabilecek şekilde elektrik motoruna moment kolu bağlanmıştır. Motor tarafından DC motora uygulanan momentin ölçülebilmesi için moment kolu ucuna S tipi yük hücresi ve kontrol paneli üzerine dijital gösterge bağlantısı yapılmıştır. DC motoru, motor ve generatif çalıştırabilmek amacı ile bir DC motor sürücü kullanılmıştır. DC motor alan sargılarının 0-200 volt gerilim ile uyarılması ve deney motorunun DC motoru döndürmesi ile üretilen elektrik, yükleme direncinde harcanmıştır.

DC motor birinci bölgede çalıştırılarak motora marş verilir, yük dirençleri vasıtası ile ikinci bölgede çalıştırılarak dinamik yükleme elde edilir. DC motor bu sistemde dinamometre olarak görev yapmıştır. Bu sistemde, motorun belli devir ve yük şartlarında yüklenmesi sağlanarak rotora karşı bir direnç oluşturulup motorun gücü ölçülmektedir. Dinamonun üzerinde bir kol mevcut olup ucunda yükü tespit etmemizi sağlayan 300 kg kapasiteli load cell bulunmaktadır. Statorun doğurduğu manyetik alanda dönen rotor, statoru ve gövdeyi yatırır. Gövdenin dönmesine karşı koymak için gerekli ağırlık load cell vasıtasıyla kontrol panelindeki yük göstergesinden okunur.

Dirençler yüklenerek rotor ile stator arasında oluşan manyetik alanın değişmesiyle motordan alınan yük, dolayısıyla moment ile tork arasında olan bağlantısı kurulur. DC motor, test motoruna kayış-kasnak sistemiyle bağlanmış olup, yük miktarı kontrol panelindeki kumanda kolu vasıtasıyla ayarlanmaktadır.

DC motora gelen dinamik yüklerin değerinin belirlenmesi amacıyla load cell kullanılır. Esas olarak çalışma prensibi, içinde bulunan “Strain Gauge” isimli elemanın üzerindeki yük sebebi ile şekil değiştirmesidir. Bu şekil değiştirme üzerinden sürekli akım geçirilen Strain Gauge elemanının boyut değiştirmesinden dolayı direncinin de değişmesiyle oluşan voltaj farklarından yararlanılarak üzerine uygulanan yük ölçülebilir. Bu elemandan gelen sinyal milivolt mertebesinde. Şekil 4.6’da DC motor (a) ve üzerine kuvvet kolu ile bağlanmış Pulse Elektronik marka T-3C model 300 kg kapasiteli S tipi yük hücresi (load cell) (b) görülmektedir. [18]

Load cell’den alınan değerler Esit marka panel tipi çok fonksiyonlu tartı kontrolörü tarafından görüntülenebilmektedir. Şekil 4.7’de bu cihaz gösterilmektedir.



Şekil 4.6 DC motor ve yük hücresi (load cell)



Şekil 4.7 Panel tipi çok fonksiyonlu tartı ekranı

4.1.3 Artımsal Kodlayıcı

Pistonun konumunun ve hızının belirlenebilmesi için devir başına 360 pulse üreten bir artımsal kodlayıcı (enkoder) kullanılmıştır. Opkon marka PRI 50 LTP model 360 pulse değerine sahip enkoder, motor bir çevrimini 720 derecede tamamladığından, 2:1 kayış kasnak sistemi ile motora bağlanmıştır. Enkoder'dan çıkan A,B ve Z sinyalleri bir osiloskop vasıtasıyla görüntülenmiştir. Piston, emmenin üst ölü noktasında (ÜON) iken enkoder'ın Z sinyali sıfır değerini verecek şekilde sistem ayarlanmıştır. Motorun her bir çevrimi sonrası enkoder'dan yalnızca bir sinyal alınmaktadır. Bu sayede pistonun anlık olarak konumu tespit edilebilmekte ve PLC aracılığı ile ateşleme, püskürtme avansları değiştirilebilmektedir. Ayrıca yine bu enkoderdan alınan konum bilgisinin ile motor hızı hızı sürekli gözlemlenebilmiştir.

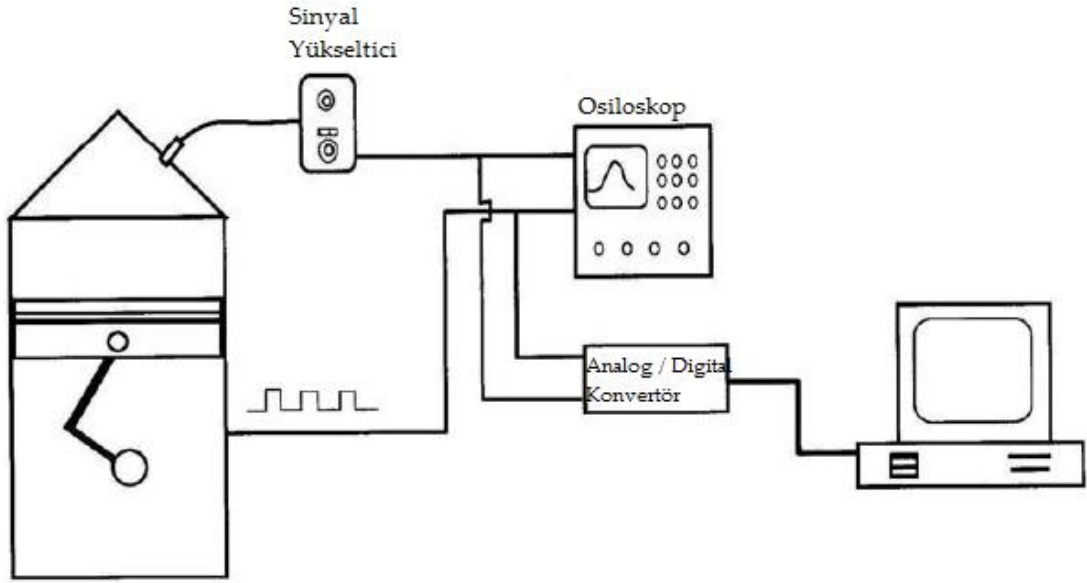
Şekil 4.8'de test motorunun DC motor ve enkoder ile bağlantısı görülmektedir.



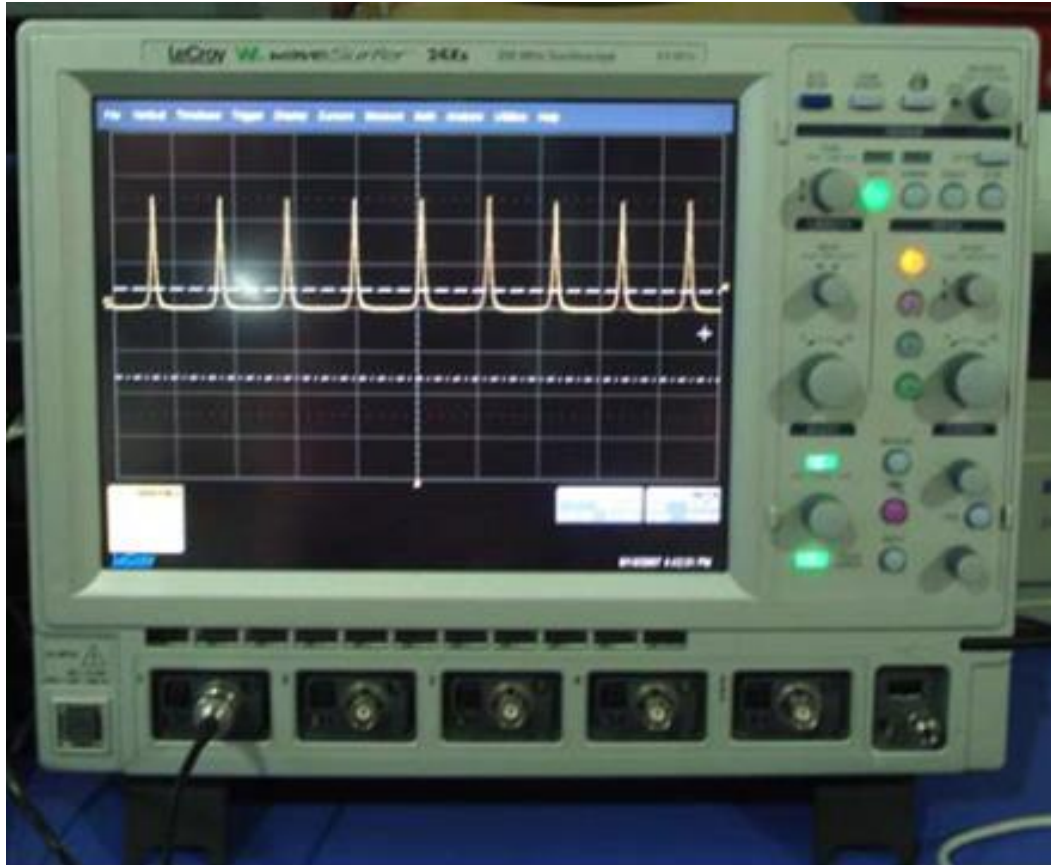
Şekil 4.8 DC motor ve enkoderin test motoruna bağlantısı

4.1.4 Silindir İçi Basınç Ölçümü

Genellikle laboratuvarlarında silindir içi basınç ölçümleri için piezzo elektrik basınç transduserleri kullanılmaktadır. Bu düzeneğin şematik görüntüsü şekil 4.9’da görülmektedir. Bu çalışmada, deney düzeneğinde silindir içindeki basınç değerlerinin gözlenebilmesi için Kistler marka 6052 B serisi piezoelektrik basınç sensörü kullanılmıştır. Gelen basınç değişikliklerine hızlı tepki verebilmesinden dolayı, ani basınç değişikliklerini izlemede piezoelektrik basınç sensörleri etkili şekilde kullanılabilir. Kullanılan piezoelektrik basınç sensörü, içinde bulundurduğu piezokristal üzerine etkiyen basınçla doğru orantılı elektriksel potansiyel üretir. Basınç sensöründen gelen çok düşük seviyedeki gerilim, yani sensörün çıkış sinyali, Kistler 5011 serisi yükselticiden geçirilmiş ve Lecroy marka 4 kanal dijital Osiloskopta kayıt edilmiştir. Bu verinin işlenmesi ile silindir içi basınç değişimi elde edilmiştir. Osiloskopun genel görünümü Şekil 4.10’da görülmektedir.



Şekil 4.9 Silindir içi basınç ölçümü altyapısının şeması [17]



Şekil 4.10 Osiloskobun genel görünümü

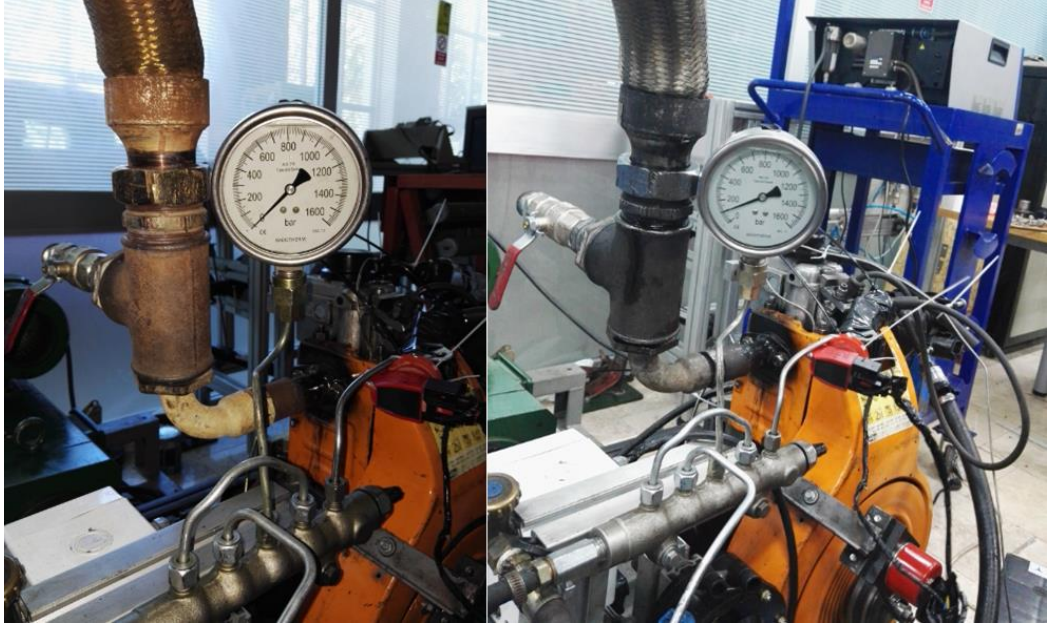
4.1.5 Yakıt Donanımları

Yakıt donanımı, yakıt deposu, besleme pompası, yakıt filtresi, yakıt püskürtme pompası, yakıt boruları ve enjektörden oluşmaktadır.

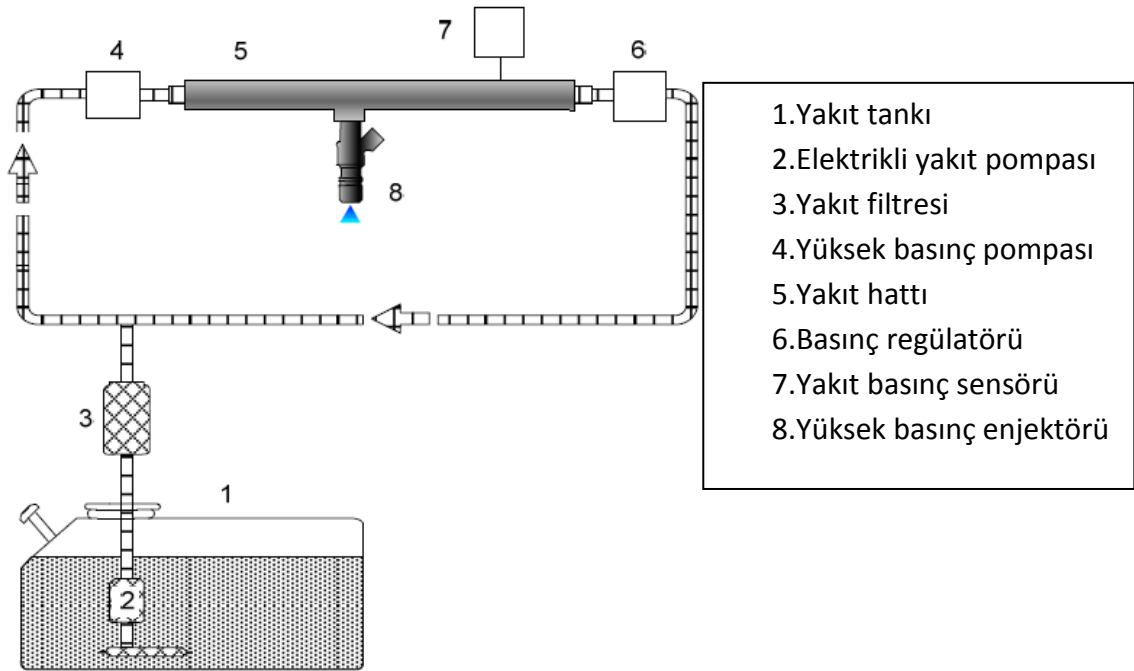
GDI motorlar yüksek basınçta yakıta ihtiyaç duymaktadır. PFI motorlarda yakıt genellikle 0,25-0,45 Mpa seviyelerinde silindir içerisine püskürtülürken, GDI motorlar ise bu seviye 4-13 Mpa aralığında olmaktadır. Çalışmalar bu seviyenin daha da yükseltilmesi yönünde ilerlemektedir. Daha yüksek yakıt basıncı, yakıtın daha iyi atomize olmasını ve buharlaşmasını sağlamaktadır. Hava ile çok iyi derecede karışan yakıt sayesinde tutuşma gecikmesinde önemli ölçüde azaltılmaktadır. Ayrıca sıkıştırma basıncına karşı iş yapıldığından daha yüksek püskürtme basınçlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak püskürtme basıncının artması duvar ıslanma problemlerine de yol açtığı bilinmektedir [18].

Yakıt, 750 watt gücündeki bir elektrik motoru ile yakıt tankından alınarak, 100 bar mertebesinde silindir içine püskürtülebilecek bir yüksek basınçlı yakıt pompası ile yakıt hattına gönderilmektedir. Yakıt hattındaki basıncı sürekli istenilen değerde tutabilmek için, basınç valfi PWM sinyali ile kare dalga uygulanarak uyarılmıştır. Bu dalganın genliği değiştirilerek valfin açık kalma süreleri değiştirilmiştir. Bu sayede yakıt hattı içindeki yakıt sürekli olarak istenilen basınç değerinde tutulabilmektedir.

Deney düzeneğinde kullanılan yüksek basınç yakıt iletim sisteminin çalışıyor ve çalışmıyorken durumu Şekil 4.11’de, şematik resmi Şekil 4.12’de gösterilmiştir.



Şekil 4. 11 Yüksek basınç yakıt iletim sistemi; sistem çalışmıyorken ve çalışırken

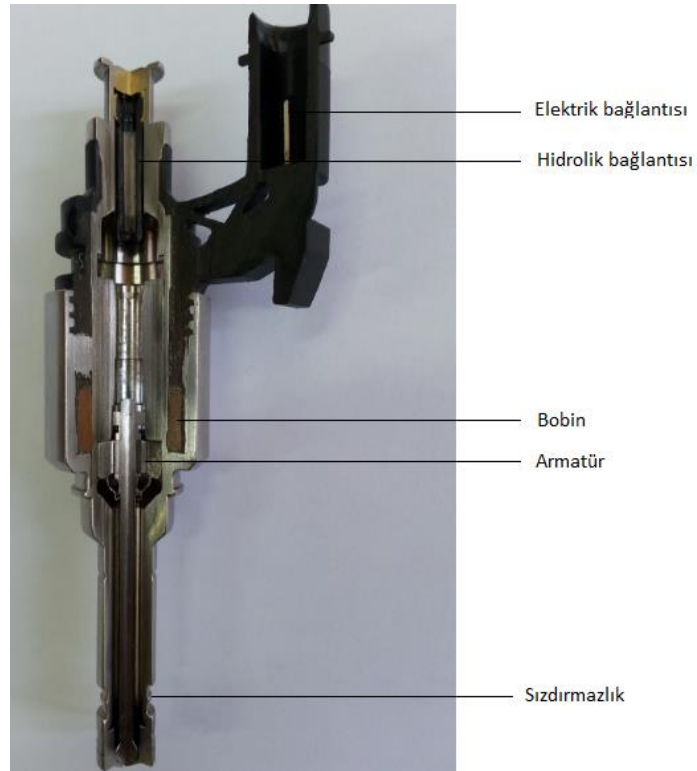


Şekil 4. 12 Yakıt iletim sisteminin şematik resmi

Enjektörler yakıt püskürtme sisteminin en önemli ve hassas elemanlarıdır. Yakıt tankından alınan yüksek basınçtaki yakıtın silindir içerisine istenilen şekilde püskürtülebilmesi motordan istenilen performansı oldukça etkilemektedir. Nozul ve spray özellikleri yanma odası tasarımı ve yanma sistemi ile mutlaka eşleşmelidir.

Çoğu GDI motorlar, PFI motorlarda olduğu gibi selenoid etkileşimli enjektör kullanılmaktadır. Ancak bazı GDI motorlarda piezoelektrik enjektörler de kullanılmaktadır. Bosch, Delphi ve Siemens GDI motorlar için piezo enjeksiyon sistemleri geliştirmiştir. Selenoid enjektörlere kıyasla çok daha hızlı tepki verebildiklerinden bu tip enjektörler sayesinde çevrim başına daha çok yakıt püskürtmesi yapılabilmektedir.

Deneyisel çalışmalar sırasında kullanılan enjektörün kesit görüntüsü Şekil 4.13'te görülmektedir.



Şekil 4. 13 Enjektörün kesit görüntüsü

4.1.6 Egzoz Emisyon Ölçüm Sistemi

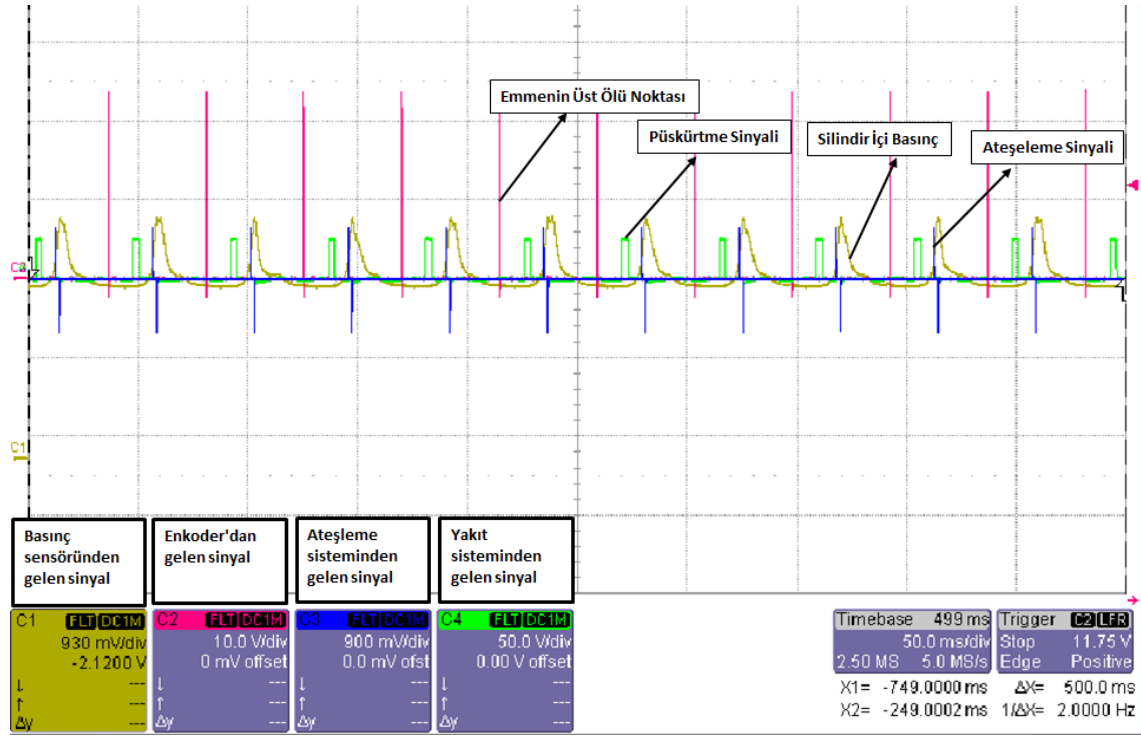
Bu çalışmada AVL marka egzoz emisyon ölçüm cihazı kullanılmıştır. Egzoz manifolduna yerleştirilen bir prob ile istenilen anda egzoz gazlarının içinde bulunan CO, CO₂, HC, O₂, NO_x ve lambda miktarlarının ölçümü yapılabilmektedir. Resim 4.14'te egzoz emisyon cihazının ekranı görülmektedir.



Şekil 4. 14 AVL Egzoz emisyon ölçüm cihazının ekranı

4.1.7 Elektronik Kontrol Sistemleri

Deneylerde motor yönetim sistemi olarak micro-PLC serisinden S7-200 CPU224 modeli kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan Siemens S7-200 tipi PLC, bu marka için geliştirilmiş Step7-Micro/WIN yazılımı ile Fonksiyon Blok Diyagram (FBD) yapısında programlanmıştır. Motor alt ölü noktasından belirli bir aç değeri sonra (üst ölü noktasından önce – Avans açısı) değiştirilebilen miktarda püskürtölme yapılmakta ve yük durumuna bağılı olarak motor belirli hızda dönmektedir. Bu çalışmada alınan ve üretilen sinyaller ve deney motorunun çalışma sırasındaki sinyal mantığını Şekil 4.15'teki gibidir. Şekilde görüldüğü üzere piston üst ölü noktaya yaklaşırken silindir içi basınç artmakta, ateşlemeye bağılı basınç sıçraması yaşanmakta ve ardışık patlamalarla osilasyonlu bir şekilde pistonun da üst ölü noktadan uzaklaşması ile basınç düşmesi yaşanmaktadır.



Şekil 4.15 Motorun çalışması sırasında osiloskopta görülen sinyaller

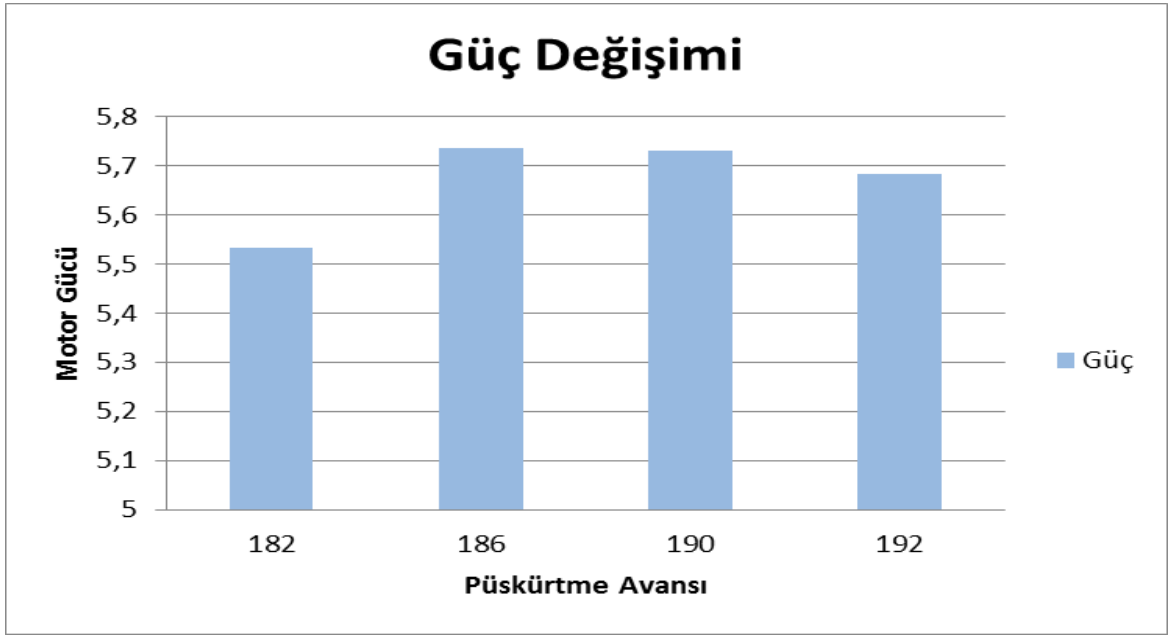
Deney düzeneğinde enjektör ve buji elektronik olarak kontrol edilmekte ve istenilen anda silindir içerisine püskürtülebilmekte, ateşleme istenilen anda gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca püskürtme süresi ve ateşleme uyarı süreleri de değiştirilebilmektedir. Bu değerleri ayarlamak için kullanılan Siemens S7-200 CPU-224 PLC ve EM-231 ADC ve TD200 HM ekranı Şekil 4.16'da görülmektedir.



Şekil 4. 16 Siemens S7-200 CPU-224 PLC, EM-231 ADC ve TD200 HM ekranı

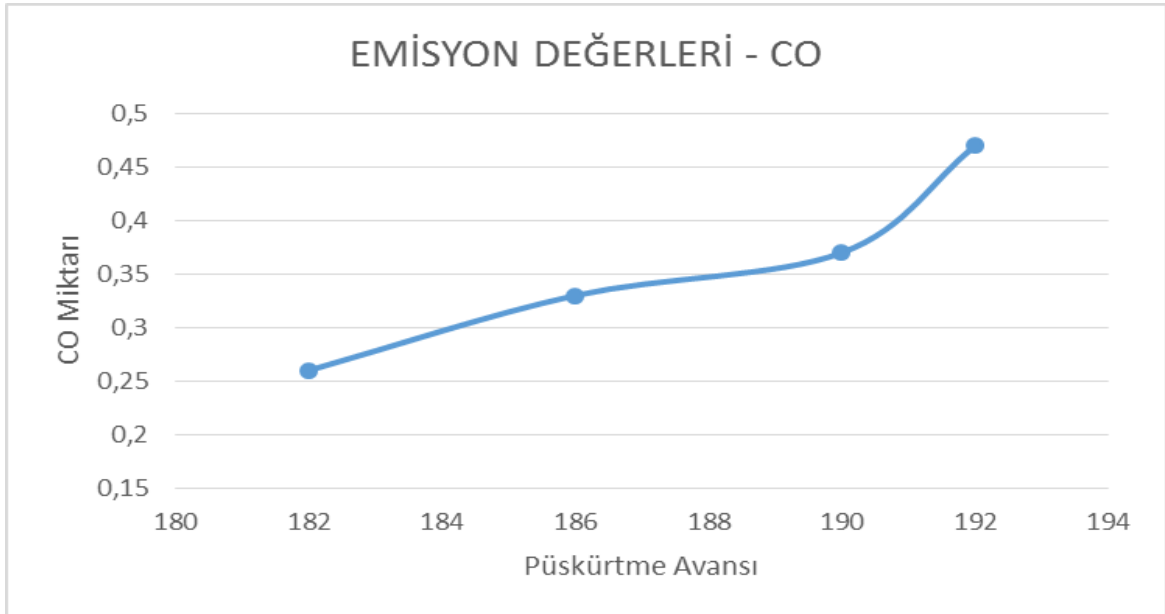
Yakıt püskürtme avansı üst ölü noktadan önce -180 KMA'da ve ateşleme avansı ÜÖN'dan önce -35 KMA'da olacak şekilde başlanan deneyler farklı parametreler ile devam ettirilmiştir. Her bir deney noktasında load cell'den okunan yük değeri ve egzoz emisyon cihazından alınan değerler not edilmiştir. Bu veriler ile motor performansı analiz edilmiştir.

Motorun ateşleme avansı üst ölü noktadan önce -35 KMA'da sabit tutularak püskürtme avansı değiştirildiğinde elde edilen yük değişimini gösteren grafik Şekil 4.17'de gösterilmiştir.

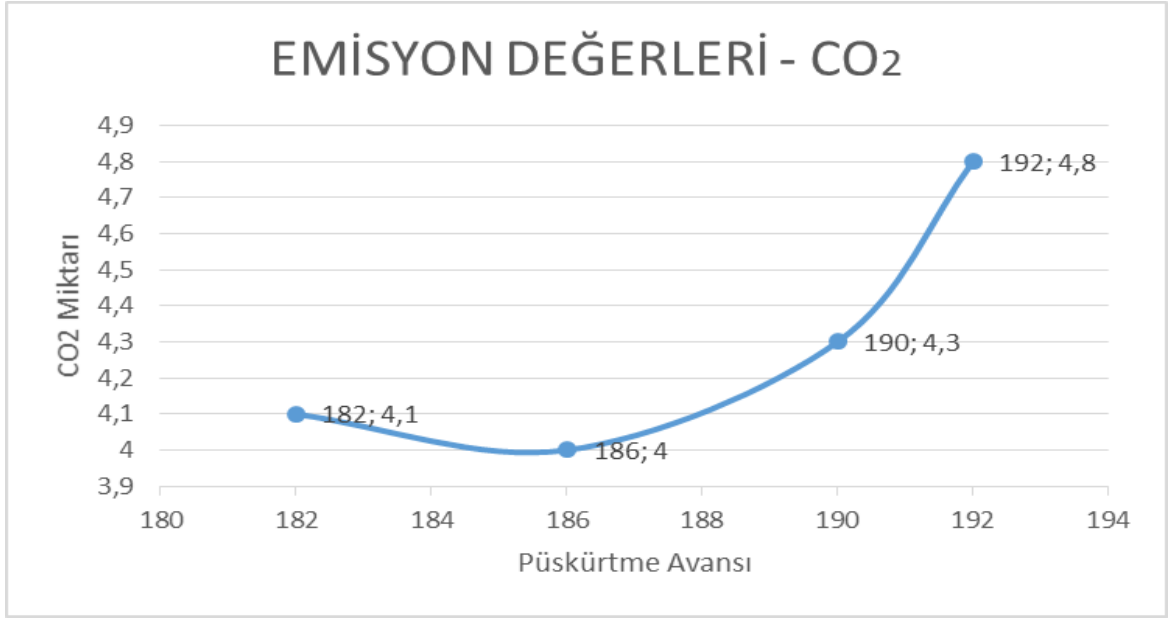


Şekil 4.17 Sabit ateşleme avansında, püskürtme basıncının değiştirilmesi ile elde edilen motor gücünün değişim grafiği

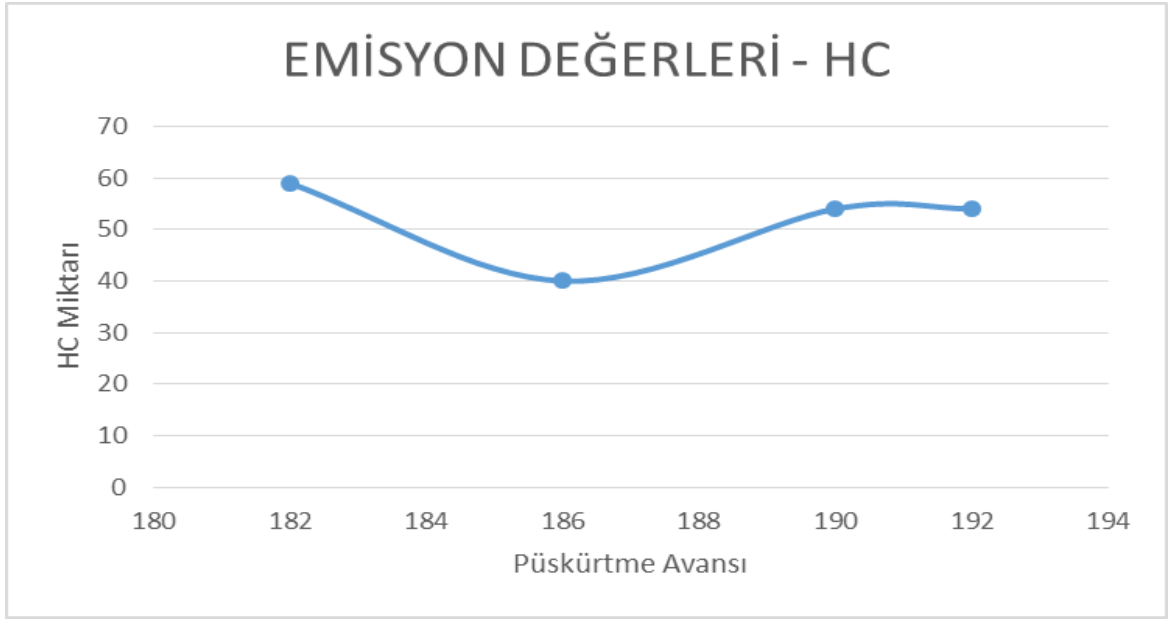
Motorun ateşleme avansı üst ölü noktadan önce -35 KMA'da sabit tutularak püskürtme avansı değiştirildiğinde elde edilen emisyon değerleri aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir.



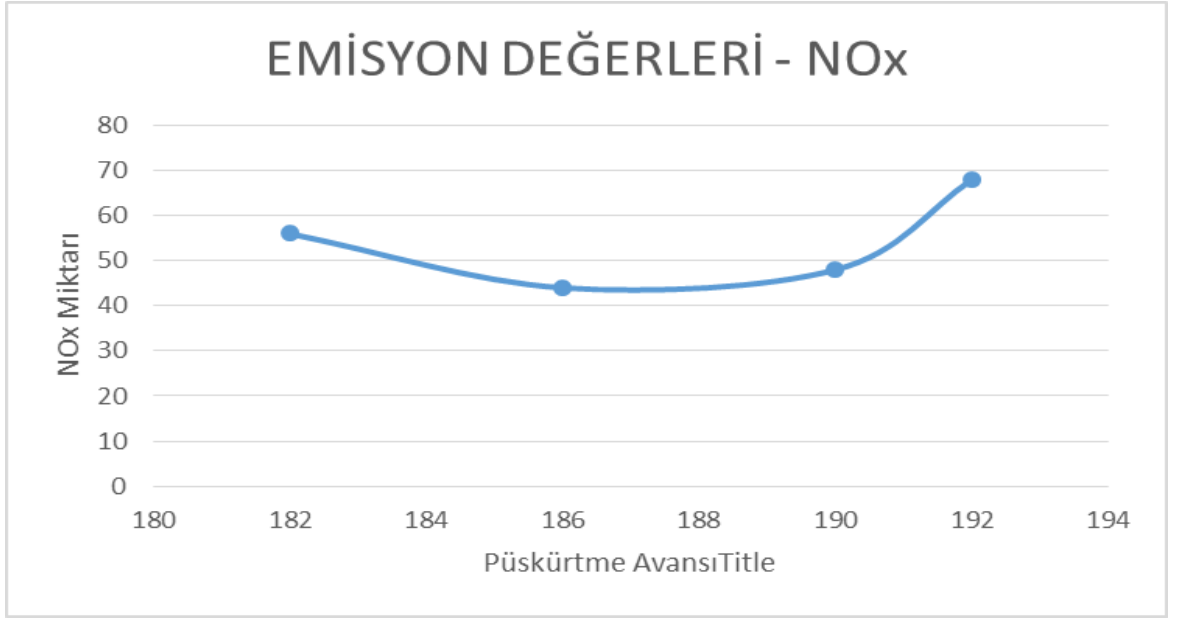
Şekil 4.18 Sabit ateşleme avansında, püskürtme basıncının değiştirilmesi ile CO emisyonlarındaki değişim grafiği



Şekil 4.19 Sabit ateşleme avansında, püskürtme basıncının değiştirilmesi ile CO₂ emisyonlarındaki değişim grafiği



Şekil 4.20 Sabit ateşleme avansında, püskürtme basıncının değiştirilmesi ile HC emisyonlarındaki değişim grafiği



Şekil 4.21 Sabit ateşleme avansında, püskürtme basıncının değiştirilmesi ile NO_x emisyonlarındaki değişim grafiği

SONUÇ VE YORUMLAR

Otto motorlarının ilk çıkışından günümüze kadar geçen sürede bir çok yenilik gelmiş, artan kullanım oranlarıyla birlikte motor performansını iyileştirmeye, yakıt ve emisyon değerlerini düşürmeye yönelik çalışmalar hız kesmeden sürmeye devam etmiştir. Bu çalışmalardan bir tanesi de benzinin silindir içine direkt olarak püskürtülmesini konu alan GDI motorlardır.

Bu çalışmada öncelikle GDI motorların ortaya çıkışı ve gelişiminden bahsedilerek, her açıdan avantaj ve dezavantajları üzerinde durulmuştur. Ardından bu tezin ana konusu olan PLC kontrolü ile püskürtme ve ateşleme avansı değiştirilebilen direkt püskürtmeli otto motor yönetimi için yapılan çalışmalar anlatılmıştır.

Dört zamanlı, tek silindirli bir diesel motoru, yapılan çalışmalar neticesinde sıkıştırma oranı 14,5:1 olan direkt benzin püskürtmeli bir motora dönüştürülmüştür. Elektronik kontrol sistemleri sayesinde püskürtme avansı , basıncı ve süresi ile ateşleme avansı ve ateşleme bobini uyarı süresi değiştirilebilir bir sistem geliştirilmiştir.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, PLC kontrollü otto motor yönetimi ile yapılan püskürtme ve ateşleme kontrolünün, istenilen hassasiyet ile yapılabileceği görülmüştür. Bu çalışmalar ile PLC kontrollü otto motor yönetimi imkan dahilinde olmuş ve parametrik çalışmalara imkan veren bir sistem oluşturulmuştur. Bu sayede motor performansını arttırma, emisyon değerlerini düşürme, yakıt verimliliğini iyileştirme gibi bir çok alanlarda çalışma imkanı olabileceği görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] Park, C., Kim, S., Kim, H. ve Moriyoshi, Y. (2012). "Stratified Lean Combustion Characteristics Of A Spray-Guided Combustion System In A Gasoline Direct Injection Engine", Science Direct, Energy 41: 401-407.
- [2] Hunicz, J. ve Kordos, P. (2010). "An Experimental Study Of Fuel Injection Strategies In CAI Gasoline Engine", Science Direct, Experimental Thermal and Fluid Science 35: 243–252.
- [3] Bonatesta, F., Chiappetta, E. ve La Rocca, A. (2014). "Part-Load Particulate Matter From a GDI Engine And the Connection With Combustion Characteristics", Science Direct, Applied Energy 124: 366–376.
- [4] Costa, M., Sorge, U. ve Allocca, L. (2012) "Increasing Energy Efficiency of a Gasoline Direct Injection Engine Through Optimal Synchronization of Single or Double Injection Strategies", Science Direct, Energy Conversion and Management 60: 77–86.
- [5] Takagi, Y. (1998). "A New Spark-Ignition Engines Featuring High-Pressure Direct Injection", Twenty-Seventh Symposium (International) on Combustion/The Combustion Institute 98: 2055–2068.
- [6] Sementa, P., Vaglieco, B. ve Catapano, F.(2012). "Thermodynamic And Optical Characterizations Of A High Performance GDI Engine Operating In Homogeneous And Stratified Charge Mixture Conditions Fueled With Gasoline And Bio-Ethanol" Science Direct, Fuel 96: 204–219.
- [7] Özesen, N., Çanakçı, M. ve Sayın, C. (2006) "Direkt Püskürtmeli Benzinli Motorların Tasarım ve Performans Açısından İncelenmesi" Otekon'06 3. Otomotiv Kongresi, 26-28 Haziran 2006, Bursa
- [8] Grady, M. (2006). "Gasoline Direct Injection", Advanstar Communications, Inc., 15209385.
- [9] Takagi, Y. (1998). "A New Spark-Ignition Engines Featuring High-Pressure Direct Injection", Twenty-Seventh Symposium (International) on Combustion/The Combustion Institute 98: 2055–2068.
- [10] Zhao F.Q., Lai M.C. ve Harrington D.L. (1997) "A Review of Mixture Preparation and Combustion Control Strategies for Spark-Ignited Direct-Injection Gasoline Engines", SAE Paper No: 970627.

- [11] Karanabgil, İ. (2004). "Direkt Püskürtmeli Benzin Motorları Ve Mitsubishi Metodu", Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 9, Sayı 1, 2004.
- [12] Çelik, M., Ozdalyan, B. (2010). "Gasoline Direct Injection" Fuel Injection, ISBN: 978-953-307-116-9.
- [13] Spicher U., Kölmel A., Kubach H. and Töpfer G. (2000). "Combustion in Spark Ignition Engines With Direct Injection", SAE Paper 2000-01-0649.
- [14] Fan L., Li G., Han Z. ve Reitz R. D. (1999). "Modeling Fuel Preparation and Stratified Combustion in a Gasoline Direct Injection Engine", SAE Paper 1999-01-0175.
- [15] Gandhi A. H., Weaver C. E., Curtis E. W., Alger T. F., Anderson C. L. ve Abata D. L. (2006). "Spray Characterization in a DISI Engine During Cold Start: (1) Imaging Investigation", SAE Paper 2006-01-1004.
- [16] Bandel W., Fraidl G. K., Kapus P. E., Sikinger H. ve Cowland C. N. (2006). "The Turbocharged GDI Engine: Boosted Synergies for High Fuel Economy Plus Ultra-low Emission", SAE Paper 2006-01-1266.
- [17] Ergenç, A. T., (2009). Biodiesel yakıt ile çalışan motordaki püskürtmenin performans ve emisyon yönünden optimizasyonu, YTÜ, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [18] Rotondi R. ve Bella G. (2006). "Gasoline Direct Injection Spray Simulation", International Journal of Thermal Sciences, 45: 168–179.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Şafak Koşar YILMAZ
Doğum Tarihi ve Yeri :19/06/1988 - Erdek
Yabancı Dili :İngilizce
E-posta :safakkosar@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Makine Mühendisliği	Karadeniz Teknik Üniversitesi	2011

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2013	Opsan A.Ş	Proje Mühendisi