

**OTTO MOTORLARININ  
FARKLI YAKIT TİPLERİNDE  
OPTİMUM PERFORMANSLARININ  
ARAŞTIRILMASI**

**Barış ERKUŞ**



T.C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**OTTO MOTORLARININ FARKLI YAKIT TİPLERİNDE  
OPTİMUM PERFORMANSLARININ  
ARAŞTIRILMASI**

**Barış ERKUŞ**

Prof. Dr. Ali SÜR MEN  
(Danışman)

DOKTORA TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2011

**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ ONAYI

Barış ERKUŞ tarafından hazırlanan “Otto Motorlarının Farklı Yakıt Tiplerinde Optimum Performanslarının Araştırılması” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Prof. Dr. Ali SÜR MEN

<b>Başkan:</b>	Prof. Dr. Ali SÜR MEN Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği A.B.D.	İmza
<b>Üye:</b>	Doç. Dr. M. İhsan KARAMANGİL Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği A.B.D.	İmza
<b>Üye:</b>	Prof. Dr. Abdulvahap YİĞİT Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği A.B.D.	İmza
<b>Üye:</b>	Prof. Dr. Atakan AVCI Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği A.B.D.	İmza
<b>Üye:</b>	Prof. Dr. Adnan PARLAK Yıldız Teknik Üniversitesi Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği A.B.D.	İmza

**Yukarıdaki sonucu onaylarım**  
**Prof. Dr. Kadri ARSLAN**  
**Enstitü Müdürü**  
...../...../2011

**U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

**29/09/2011**

**Barış ERKUŞ**

## ÖZET

Doktora Tezi

### OTTO MOTORLARININ FARKLI YAKIT TİPLERİNDE OPTİMUM PERFORMANSLARININ ARAŞTIRILMASI

**Barış ERKUŞ**

Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. Ali SÜR MEN

Bu çalışmada, LPG dönüşümü yapılmış buji ateşlemeli içten yanmalı bir motorun optimum şartlarda çalışmasında önemli etkileri olan ateşleme avans ve yakıt-hava oranı parametreleri dikkate alınarak bir performans iyileştirme stratejisi ortaya konmuştur. Tez temel olarak 5 farklı aşamadan meydana gelmiştir. Bunlar;

1. aşama: Motorun orijinal ateşleme avans eğrileri sınırlı sayıdaki vakum değerleri için literatürden elde edilmiştir. Sonrasında ise farklı çalışma şartlarındaki farklı vakum değerleri için gerekli avans değerleri interpolasyonla hesaplanmıştır.

2. aşama: Karbüratörlü deney motoruna 1. nesil LPG kiti montajı yapılarak, benzin ve LPG kullanımları arasındaki farklılıklar ortaya konmuştur.

3. aşama: Karbüratörlü deney motorunun üzerinde bulunan ve DigiPlex ticari markasına sahip orijinal ateşleme kontrol ünitesi, tasarımı bütünüyle bu tez kapsamında gerçekleştirilen ateşleme kontrol ünitesi ile değiştirilmiştir. Böylece LPG kullanımında ateşleme avans değişimlerinin motor performansı üzerindeki etkilerini gözlemlemek mümkün olabilmektedir.

4. aşama: Karbüratörlü motorda deneylerin sonuçlandırılması sonrasında, karbüratör devre dışı bırakılmış ve tasarımı bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen LPG püskürtme sistemi motora monte edilmiştir. Bu işlem sonrasında tasarlanan ateşleme ve yakıt kontrol üniteleri kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyler sırasında orijinal ateşleme avans değerleri kullanılmıştır. Bu aşamada karbüratörlü ve püskürtmeli yakıt besleme sistemlerinin motor performansı üzerindeki etkilerinin kıyaslanabilmesi mümkün olabilmektedir.

5. aşama: Son olarak LPG püskürtme sistemine sahip motorda ateşleme avans değerleri değiştirilerek deneyler gerçekleştirilmiştir.

Tasarlanan LPG enjeksiyon sistemi ile gerçekleştirilen tüm deneylerde 3-yollu katalitik dönüşüme en uygun hava fazlalık katsayısı değeri olan 1 civarında kalınmaya gayret edilmiştir.

Sonuç olarak; deney motoru tasarlanan ateşleme ve LPG püskürtme kontrol üniteleri vasıtasıyla başarılı bir şekilde çalıştırılabilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Buji ateşlemeli motor, elektronik kontrol ünitesi, LPG, ateşleme zamanı, performans optimizasyonu.

**2011, xiii + 82 sayfa**

## ABSTRACT

PhD Thesis

### OPTIMUM PERFORMANCE INVESTIGATIONS OF OTTO ENGINES AT DIFFERENT FUEL TYPES

**Barış ERKUŞ**

Uludag University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

**Supervisor:** Prof. Dr. Ali SÜRME

In this study, a performance improvement strategy has been presented by taking the ignition advance and fuel air ratio parameters into account which have important effects on the running of LPG fueled spark ignited engine at optimum condition. The thesis basically consists of 5 different stages which are;

1th phase: The original ignition advance curves for limited number of vacuum values were provided from the free literature. Then the advance angles corresponding to different vacuum values occurred at various operational points on the performance map of the engine were calculated by interpolation.

2nd phase: The first generation LPG kit was installed on the carbureted test engine and performance differences between the use of LPG and gasoline has been presented.

3th phase: The original ignition control unit with commercial name “Digiplex” on the carbureted test engine was replaced with an ignition control unit which was entirely designed in the scope of this thesis. This enabled us to observe the effect of ignition advance variations on engine performance with the use of LPG.

4th phase: After finishing the tests with carburetor engine, carburetor was removed and LPG injection unit, which was specifically designed within the scope of this study, was installed on the engine. Then the tests were realized by using the designed ignition and injection control units. The original ignition advance values were used during the tests. To compare the effects of carburetor and injection fuel supply systems on the engine performance could be possible in this phase.

5th phase: Finally, the tests were realized on LPG injection engine with the varied ignition advance angles.

As it can easily be understood from these explanations, this study is an optimization study based on basically ignition advance and partly on fuel-air ratio. The excess air ratio was tried to keep as close to unity as possible for convenience to use 3-way catalyst in all the experiments realized with use of designed LPG injection system.

Consequently; the test engine could be run successfully by designed ignition and LPG injection control units.

**Keywords:** Spark ignited engine, electronic control unit, LPG, ignition timing, performance optimization.

**2011, xiii + 82 pages**



## ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Enerji ihtiyacı, enerji ihtiyacındaki artışa paralel olarak artan maliyetler ve enerji kullanımının ortaya çıkardığı çevre kirliliği gibi ciddi meseleler araştırmacıları daha verimli enerji sistemleri tasarımları yönünde motive etmektedir. Bu çalışmaların kapsamı içinde otomotiv sanayi oldukça önemli bir yere sahiptir. Otomotiv pazarında her geçen gün artan rekabet, araç üreticilerinin daha verimli araçlar üretmeleri gereğini ortaya koymakta bununla birlikte söz konusu iyileştirmelerin, teknolojinin gelişmesine paralel olarak gelecekte de devam edeceği öngörülmektedir.

Araç motorlarında kullanılabilen yakıt tiplerinin farklı bir takım yapısal özelliklere sahip olmaları nedeniyle, tek bir yakıt tipini kullanmak üzere optimize edilmiş motor yönetim sistemi, alternatif bir yakıt tipinin kullanılabilmesi için orijinal yakıt sistemi üzerinde gerçekleştirilen dönüşüm işlemi sonrasında, verimli çalışma şartlarının eldesine yönelik kullanılacak alternatif yakıt tipine özgü bir takım optimizasyon işlemlerinin motor yönetim sistemi üzerinde yeniden yapılması gerekmektedir. Alternatif yakıt türü olarak ülkemizde en yaygın biçimde kullanılan ve benzine nazaran bir takım üstünlüklere sahip LPG 'nin araç motorlarına uyarlanması sırasında maalesef bahsi geçen optimizasyon işlemleri önemli ölçüde göz ardı edilmekte bu durumda ise LPG 'nin dezavantajları ön plana çıkarak verimsiz kullanımlar söz konusu olmaktadır. Oysa LPG 'nin avantajlarını ön plana çıkararak dezavantajlarını olabildiğince bertaraf edebilen LPG 'ye özgü yeni motor kontrol stratejilerinin geliştirilmesi ile daha verimli kullanımlar söz konusu olabilir. Ancak bu tip çalışmalar pahalı, zor ve uzun soluklu çalışmalar olduğundan, ülkemiz bilim dünyasında kısa süreli ve akademik getirisi daha yüksek olan mülahazalar tercih edilmektedir. İşte bu tez kısa süreli hedefleri bir kenara iten ve geleceğe endekslenmiş bir doktora tezidir.

Gerek tüm eğitim sürecimde ve gerekse bu doktora tezinin gerçekleştirilmesinde maddi ve manevi hiçbir desteğini esirgemeyen Es-Seyyid Osman Hulusi Efendi Vakfı Genel Başkanı Sn. Hamit Hamidettin ATEŞ'e, tez danışmanım ve Bursa Teknik Üniversitesi Rektörü Sn. Prof. Dr. Ali SÜRME'ne, 107M405 numaralı Tübitak tarafından desteklenmiş proje ekibi içinde yer alan Sn. Doç. Dr. M. İhsan KARAMANGİL, Sn. Prof. Dr. Rıdvan ARSLAN, Sn. Öğretim Görevlisi Cafer KAPLAN, Sn. Tekniker Necati TÜRKÖZ'e ve aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iii</b>
<b>ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR</b> .....	<b>v</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>vi</b>
<b>SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>xi</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ÖZETLERİ</b> .....	<b>2</b>
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM</b> .....	<b>8</b>
3.1. Test Düzenegi Genel Bileşenleri.....	12
3.1.1. Deney motoru.....	12
3.1.2. Motor test dinamometresi .....	12
3.1.3. Motor ve test odası sıcaklık kontrolü .....	13
3.1.4. LPG yakıt sarfiyatının ölçümü .....	15
3.1.5. Osiloskop .....	15
3.1.6. Egzoz emisyon cihazı .....	15
3.2. Elektronik Kontrol Ünitesi .....	17
3.2.1. Motor volanı.....	19
3.2.2. Ateşleme kontrol ünitesi .....	19
3.2.3. Yakıt enjeksiyon ünitesi.....	25
<b>4. BULGULAR</b> .....	<b>31</b>
4.1. Matematiksel Hesaplamalar.....	31
4.2. Ateşleme Avans Açılarının Ortaya Konması.....	32
4.3. Benzinli Motorun Karbüratörlü ve 1. Nesil LPG Kitiyle Çalıştırılması .....	32
4.3.1. %25 Gaz kelebeği açıklığında gerçekleştirilen testler.....	33
4.3.2. %50 Gaz kelebeği açıklığında gerçekleştirilen testler.....	36
4.4. LPG Enjeksiyon Sisteminin Devreye Alınması.....	40
4.4.1. %25 Gaz kelebeği açıklığında gerçekleştirilen testler.....	40
4.4.2. %50 Gaz kelebeği açıklığında gerçekleştirilen testler.....	46
4.4.3. %75 Gaz kelebeği açıklığında gerçekleştirilen testler.....	53
<b>5. TARTIŞMA ve SONUÇ</b> .....	<b>58</b>
5.1. Karbüratör ve 1. nesil LPG Kitinin Kullanıldığı Deneyler .....	58
5.2. LPG Püskürtme Ünitesinin Kullanıldığı Deneyler .....	61
<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>69</b>
<b>EKLER</b> .....	<b>71</b>
EK A. Literatürden Elde Edilmiş Orijinal Ateşleme Avans Değerleri.....	71
EK B. İnterpolasyon Yöntemiyle Hesaplanmış Ateşleme Avans Değerleri.....	76
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>79</b>

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
b	Özgül yakıt sarfiyatı [gr/kWh]
F	Kuvvet [N]
H <sub>u</sub>	Yakıtın alt ısı değeri [kJ/kg]
l	Fren düzeneği moment kolu [m]
m	kütle [kg]
n	motor devri [d/dak]
P	Güç [kW]
t	Sıcaklık [C]
T	Moment [Nm]
η	Verim
λ	Karışımın hava fazlalık katsayısı değeri
<b>Alt İndisler</b>	<b>Açıklama</b>
b	Bağlı
e	Efektif
hg	Gerçek hava
ht	Teorik hava
m	Mekanik
t	Teorik
v	Hacimsel
y	Yakıt
<b>Üst İndisler</b>	<b>Açıklama</b>
0	Derece
.	Debi
<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
A2	İki derece artırılmış ateşleme avansı
A4	Dört derece artırılmış ateşleme avansı
A7-A4	Yedi ile dört derece arasında değişen değerlerde artırılmış ateşleme avansı
A8	Sekiz derece artırılmış ateşleme avansı
AA	Ateşleme avansı
AAD	Ateşleme avans değişimi
ADC	Analog dijital dönüşüm
B	Belirsizlik değeri
CNG	Sıkıştırılmış doğal gaz
CO	Karbonmonoksit
CO <sub>2</sub>	Karbondioksit
E85	Hacimsel bazda %85 etanol %15 benzin içeren karışım
EEPROM	Elektriksel olarak silinebilen, programlanabilir ve yalnızca okuma yapılabilen bellek
EKÜ	Elektronik kontrol ünitesi

H <sub>2</sub>	Hidrojen
HC	Hidrokarbon
HFK	Hava fazlalık katsayısı
LNG	Sıvılaştırılmış doğal gaz
LPG	Sıvılaştırılmış petrol gazı
M85	Hacimsel bazda %85 metanol %15 benzin içeren karışım
NO <sub>x</sub>	Nitrojen oksit
O <sub>2</sub>	Oksijen
USART	Üniversal seri asenkron alıcı ve gönderici
Y/H	Yakıt kütleinin hava kütleine oranı

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. 1. Nesil klasik LPG sistemi .....	8
Şekil 3.2. İkinci nesil LPG sistemi .....	9
Şekil 3.3. Üçüncü nesil LPG sistemi .....	9
Şekil 3.4. Manifoldta sıvı fazda LPG püskürtme sistemi .....	10
Şekil 3.5. Dördüncü nesil silindir içine direkt püskürtme sistemi.....	10
Şekil 3.6. Bir “Duration Test” süreci tanımlama örneği.....	14
Şekil 3.7. Test kabini soğutma sistemi; a) dış ünite, b) iç ünite.....	14
Şekil 3.8. a) Soğutma fanı destekli radyatör sistemi, b) Şebeke suyu beslemeli eşanjör .....	14
Şekil 3.9. LPG sarfiyatının ölçülmesine yönelik kurulan düzenek .....	15
Şekil 3.10. Deneylede kullanılan BOSCH BEA-250 EU emisyon ölçüm cihazı.....	16
Şekil 3.11. Test düzeneğinin farklı açılardan görünümü .....	16
Şekil 3.12. Test düzeneği blok diyagramı.....	17
Şekil 3.13. Yaklaşık 300 d/dak motor devrinde elde edilen .....	18
motor devir sinyali ve bu işaretin işlenmesi sonrası elde edilen darbe sinyalleri .....	18
Şekil 3.14. Yaklaşık 3000 d/dak motor devrinde elde edilen .....	18
motor devir sinyali ve bu işaretin işlenmesi sonrası elde edilen darbe sinyalleri .....	18
Şekil 3.15. Motor volanı .....	19
Şekil 3.16. Ateşleme sistemi blok diyagramı.....	20
Şekil 3.17. Ateşleme kontrol ünitesinin boardlar üzerindeki deneme çalışmaları .....	20
Şekil 3.18. Motor devir sinyalinin simule edildiği düzenek .....	21
Şekil 3.19. Ateşleme sisteminin motora entegrasyonu.....	21
Şekil 3.20. Örnek ateşleme avans haritası (Anonim, 1990).....	22
Şekil 3.21. Ateşleme kontrol programına ilişkin algoritma .....	24
Şekil 3.22. Yakıt kontrol sistemi blok diyagramı.....	25
Şekil 3.23. Üzerine sıralı tip LPG sistemi monte edilen bir araçtan .....	26
püskürtme stratejileri ile ilgili verilerin alınması .....	26
Şekil 3.24. Yakıt püskürtme sisteminin genel görünümü .....	27
Şekil 3.25. Enjeksiyon kontrol programına ilişkin algoritma .....	30
Şekil 4.1. %25 gaz kelebeği açıklığında karbüratörlü motorda benzin ve 1. nesil LPG kiti kullanılması durumunda oluşan efektif güç eğrileri .....	34
Şekil 4.2. %25 gaz kelebeği açıklığında karbüratörlü motorda benzin ve 1. nesil LPG kiti kullanılması durumunda oluşan moment eğrileri.....	34
Şekil 4.3. %25 gaz kelebeği açıklığında karbüratörlü motorda benzin ve 1. nesil LPG kiti kullanılması durumunda oluşan efektif özgül yakıt sarfiyatı eğrileri.....	34
Şekil 4.4. %50 gaz kelebeği açıklığında karbüratörlü motorda benzin ve 1. nesil LPG kiti kullanılması durumunda oluşan efektif güç eğrileri .....	36
Şekil 4.5. %50 gaz kelebeği açıklığında karbüratörlü motorda benzin ve 1. nesil LPG kiti kullanılması durumunda oluşan moment eğrileri.....	36
Şekil 4.6. %50 gaz kelebeği açıklığında karbüratörlü motorda benzin ve 1. nesil LPG kiti kullanılması durumunda oluşan efektif özgül yakıt tüketim eğrileri.....	37
Şekil 4.7. %25 gaz kelebeği açıklığında karbüratörlü ve tasarlanan LPG enjeksiyon kontrol ünitesinin entegre edildiği motorda Digiplex ve tasarlanan ateşleme kontrol ünitesinin kullanıldığı testlerde benzin ve LPG yakıtları ile elde edilen.....	41
efektif güç eğrileri.....	41

<b>Şekil 4.8.</b> %25 gaz kelebeği açıklığında karbüratörlü ve tasarlanan LPG enjeksiyon kontrol ünitesinin entegre edildiği motorda Digiplex ve tasarlanan ateşleme kontrol ünitesinin kullanıldığı testlerde benzin ve LPG yakıtları ile elde edilen moment eğrileri .....	<b>41</b>
<b>Şekil 4.9.</b> %25 gaz kelebeği açıklığında karbüratörlü ve tasarlanan LPG enjeksiyon kontrol ünitesinin entegre edildiği motorda Digiplex ve tasarlanan ateşleme kontrol ünitesinin kullanıldığı testlerde benzin ve LPG yakıtları ile elde edilen .....	<b>41</b>
efektif özgül yakıt tüketim eğrileri .....	<b>41</b>
<b>Şekil 4.10.</b> %25 gaz kelebeği açıklığında tasarlanan LPG enjeksiyon ve ateşleme kontrol ünitelerinin kullanıldığı motorda LPG yakıtı ile elde edilen CO emisyon eğrileri .....	<b>42</b>
<b>Şekil 4.11.</b> %25 gaz kelebeği açıklığında tasarlanan LPG enjeksiyon ve ateşleme kontrol ünitelerinin kullanıldığı motorda LPG yakıtı ile elde edilen HC emisyon eğrileri .....	<b>42</b>
<b>Şekil 4.12.</b> %50 gaz kelebeği açıklığında karbüratörlü ve tasarlanan LPG enjeksiyon kontrol ünitesinin entegre edildiği motorda Digiplex ve tasarlanan ateşleme kontrol ünitesinin kullanıldığı testlerde benzin ve LPG yakıtları ile elde edilen .....	<b>47</b>
efektif güç eğrileri.....	<b>47</b>
<b>Şekil 4.13.</b> %50 gaz kelebeği açıklığında karbüratörlü ve tasarlanan LPG enjeksiyon kontrol ünitesinin entegre edildiği motorda Digiplex ve tasarlanan ateşleme kontrol ünitesinin kullanıldığı testlerde benzin ve LPG yakıtları ile elde edilen moment eğrileri .....	<b>47</b>
<b>Şekil 4.14.</b> %50 gaz kelebeği açıklığında karbüratörlü ve tasarlanan LPG enjeksiyon kontrol ünitesinin entegre edildiği motorda Digiplex ve tasarlanan ateşleme kontrol ünitesinin kullanıldığı testlerde benzin ve LPG yakıtları ile elde edilen .....	<b>48</b>
efektif özgül yakıt tüketim eğrileri .....	<b>48</b>
<b>Şekil 4.15.</b> %50 gaz kelebeği açıklığında tasarlanan LPG enjeksiyon ve ateşleme kontrol ünitelerinin kullanıldığı motorda LPG yakıtı ile elde edilen CO emisyon eğrileri .....	<b>48</b>
<b>Şekil 4.16.</b> %50 gaz kelebeği açıklığında tasarlanan LPG enjeksiyon ve ateşleme kontrol ünitelerinin kullanıldığı motorda LPG yakıtı ile elde edilen HC emisyon eğrileri .....	<b>48</b>
<b>Şekil 4.17.</b> %75 gaz kelebeği açıklığında tasarlanan LPG enjeksiyon ve ateşleme kontrol ünitelerinin kullanıldığı motorda gerçekleştirilen testlerde .....	<b>53</b>
LPG yakıtı ile elde edilen efektif güç eğrileri .....	<b>53</b>
<b>Şekil 4.18.</b> %75 gaz kelebeği açıklığında tasarlanan LPG enjeksiyon ve ateşleme kontrol ünitelerinin kullanıldığı motorda gerçekleştirilen testlerde .....	<b>54</b>
LPG yakıtı ile elde edilen moment eğrileri .....	<b>54</b>
<b>Şekil 4.19.</b> %75 gaz kelebeği açıklığında tasarlanan LPG enjeksiyon ve ateşleme kontrol ünitelerinin kullanıldığı motorda gerçekleştirilen testlerde .....	<b>54</b>
LPG yakıtı ile elde edilen efektif özgül yakıt tüketim eğrileri.....	<b>54</b>
<b>Şekil 4.20.</b> %75 gaz kelebeği açıklığında tasarlanan LPG enjeksiyon ve ateşleme kontrol ünitelerinin kullanıldığı motorda LPG yakıtı ile elde edilen CO emisyon eğrileri .....	<b>54</b>
<b>Şekil 4.21.</b> %75 gaz kelebeği açıklığında tasarlanan LPG enjeksiyon ve ateşleme kontrol ünitelerinin kullanıldığı motorda LPG yakıtı ile elde edilen HC emisyon eğrileri .....	<b>55</b>

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
<b>Çizelge 3.1.</b> Deney motoru teknik özellikleri .....	12
<b>Çizelge 3.2.</b> Dinamometre teknik özellikleri .....	13
<b>Çizelge 3.3.</b> %25 Gaz kelebeği açıklığında ilk çalıştırma ve ivmelenmeler sırasında test noktalarında püskürtülen yakıt miktarlarına göre gerçekleştirilen zenginleştirme oranları .....	27
<b>Çizelge 3.4.</b> %50 Gaz kelebeği açıklığında ilk çalıştırma ve ivmelenmeler sırasında test noktalarında püskürtülen yakıt miktarlarına göre gerçekleştirilen zenginleştirme oranları .....	28
<b>Çizelge 3.5.</b> %75 Gaz kelebeği açıklığında ilk çalıştırma ve ivmelenmeler sırasında test noktalarında püskürtülen yakıt miktarlarına göre gerçekleştirilen zenginleştirme oranları .....	28
<b>Çizelge 4.1.</b> %25 Gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş Benzin Digiplex Karbüratör isimli eğriye ilişkin olarak test noktalarında gerçekleşen sayısal değerler .....	35
<b>Çizelge 4.2.</b> %25 Gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş LPG Digiplex Karbüratör isimli eğriye ilişkin olarak test noktalarında gerçekleşen sayısal değerler .....	35
<b>Çizelge 4.3.</b> %25 Gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş LPG Digiplex Karbüratör ile Benzin Digiplex Karbüratör isimli eğrilerin karşılaştırılması.....	35
<b>Çizelge 4.4.</b> %50 Gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş Benzin Digiplex Karbüratör isimli eğriye ilişkin olarak test noktalarında gerçekleşen sayısal değerler .....	37
<b>Çizelge 4.5.</b> %50 Gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş LPG Digiplex Karbüratör isimli eğriye ilişkin olarak test noktalarında gerçekleşen sayısal değerler .....	37
<b>Çizelge 4.6.</b> %50 Gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş LPG A8 Karbüratör isimli eğriye ilişkin olarak test noktalarında gerçekleşen sayısal değerler .....	38
<b>Çizelge 4.7.</b> %50 Gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş LPG A7-A4 Karbüratör isimli eğriye ilişkin olarak test noktalarında gerçekleşen sayısal değerler .....	38
<b>Çizelge 4.8.</b> %50 Gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş LPG Digiplex Karbüratör ile Benzin Digiplex Karbüratör isimli eğrilerin karşılaştırılması.....	38
<b>Çizelge 4.9.</b> %50 Gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş LPG A8 Karbüratör ile LPG Digiplex Karbüratör isimli eğrilerin karşılaştırılması.....	39
<b>Çizelge 4.10.</b> %50 Gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş LPG A7-A4 Karbüratör ile LPG Digiplex Karbüratör isimli eğrilerin karşılaştırılması .....	39
<b>Çizelge 4.11.</b> %50 Gaz kelebeği açıklığında karbüratörlü motorda LPG kullanımları sırasında en yüksek efektif verim değerlerinin olduğu test noktalarına ait ateşleme avans değişimleri .....	39
<b>Çizelge 4.12.</b> %50 Gaz kelebeği açıklığında karbüratörlü motorda LPG kullanımları sırasında en yüksek efektif güç değerlerinin olduğu test noktalarına ait ateşleme avans değişimleri .....	40
<b>Çizelge 4.13.</b> %25 gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş LPG Orijinal Avans Enjeksiyon isimli eğriye ilişkin olarak test noktalarında gerçekleşen sayısal değerler..	42
<b>Çizelge 4.14.</b> %25 gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş LPG A2 Enjeksiyon isimli eğriye ilişkin olarak test noktalarında gerçekleşen sayısal değerler .....	43
<b>Çizelge 4.15.</b> %25 gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş LPG A4 Enjeksiyon isimli eğriye ilişkin olarak test noktalarında gerçekleşen sayısal değerler .....	43
<b>Çizelge 4.16.</b> %25 gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş LPG Orijinal Avans Enjeksiyon ile LPG Digiplex Karbüratör isimli eğrilerin karşılaştırılması .....	43

<b>Çizelge 4.17.</b> %25 gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş LPG A2 Enjeksiyon ile LPG Digiplex Karbüratör isimli eğrilerin karşılaştırılması.....	<b>43</b>
<b>Çizelge 4.18.</b> %25 gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş LPG A4 Enjeksiyon ile LPG Digiplex Karbüratör isimli eğrilerin karşılaştırılması.....	<b>44</b>
<b>Çizelge 4.19.</b> %25 Gaz kelebeği açıklığında karbüratörlü kullanımlara nazaran enjeksiyonlu LPG kullanımları için en yüksek efektif verim değerlerinin oluştuğu test noktalarına ait ateşleme avans değişimleri.....	<b>44</b>
<b>Çizelge 4.20.</b> %25 Gaz kelebeği açıklığında karbüratörlü kullanımlara nazaran enjeksiyonlu LPG kullanımları için en iyi efektif güç değerlerinin oluştuğu optimum avans değişimleri .....	<b>45</b>
<b>Çizelge 4.21.</b> %25 gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş LPG A2 Enjeksiyon ile LPG Orijinal Avans Enjeksiyon isimli eğrilerin karşılaştırılması.....	<b>45</b>
<b>Çizelge 4.22.</b> %25 gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş LPG A4 Enjeksiyon ile LPG Orijinal Avans Enjeksiyon isimli eğrilerin karşılaştırılması.....	<b>45</b>
<b>Çizelge 4.23.</b> %25 Gaz kelebeği açıklığında enjeksiyonlu LPG kullanımları sırasında en iyi efektif verim değerlerinin oluştuğu test noktalarına ait ateşleme avans değişimleri.	<b>46</b>
<b>Çizelge 4.24.</b> %25 Gaz kelebeği açıklığında enjeksiyonlu LPG kullanımları sırasında en iyi efektif güç değerlerinin oluştuğu test noktalarına ait ateşleme avans değişimleri ....	<b>46</b>
<b>Çizelge 4.25.</b> %50 gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş LPG Orijinal Avans Enjeksiyon isimli eğriye ilişkin olarak test noktalarında gerçekleşen sayısal değerler..	<b>49</b>
<b>Çizelge 4.26.</b> %50 gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş LPG A2 Enjeksiyon isimli eğriye ilişkin olarak test noktalarında gerçekleşen sayısal değerler.....	<b>49</b>
<b>Çizelge 4.27.</b> %50 gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş LPG A4 Enjeksiyon isimli eğriye ilişkin olarak test noktalarında gerçekleşen sayısal değerler.....	<b>49</b>
<b>Çizelge 4.28.</b> %50 gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş LPG Orijinal Avans Enjeksiyon ile LPG Digiplex Karbüratör isimli eğrilerin karşılaştırılması .....	<b>49</b>
<b>Çizelge 4.29.</b> %50 gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş LPG A2 Enjeksiyon ile LPG Digiplex Karbüratör isimli eğrilerin karşılaştırılması.....	<b>50</b>
<b>Çizelge 4.30.</b> %50 gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş LPG A4 Enjeksiyon ile LPG Digiplex Karbüratör isimli eğrilerin karşılaştırılması.....	<b>50</b>
<b>Çizelge 4.31.</b> %50 Gaz kelebeği açıklığında karbüratörlü kullanımlara nazaran enjeksiyonlu LPG kullanımları için en iyi efektif verim değerlerinin oluştuğu optimum avans değişimleri .....	<b>51</b>
<b>Çizelge 4.32.</b> %50 Gaz kelebeği açıklığında karbüratörlü kullanımlara nazaran enjeksiyonlu LPG kullanımları için en iyi efektif güç değerlerinin oluştuğu optimum avans değişimleri .....	<b>51</b>
<b>Çizelge 4.33.</b> %50 gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş LPG A2 Enjeksiyon ile LPG Orijinal Avans Enjeksiyon isimli eğrilerin karşılaştırılması.....	<b>51</b>
<b>Çizelge 4.34.</b> %50 gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş LPG A4 Enjeksiyon ile LPG Orijinal Avans Enjeksiyon isimli eğrilerin karşılaştırılması.....	<b>52</b>
<b>Çizelge 4.35.</b> %50 Gaz kelebeği açıklığında enjeksiyonlu LPG kullanımları sırasında en iyi efektif verim değerlerinin elde edildiği test noktalarına ait ateşleme avans değişimleri.....	<b>52</b>
<b>Çizelge 4.36.</b> %50 Gaz kelebeği açıklığında enjeksiyonlu LPG kullanımları sırasında en iyi efektif güç değerlerinin elde edildiği test noktalarına ait ateşleme avans değişimleri .....	<b>53</b>
<b>Çizelge 4.37.</b> %75 gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş LPG Orijinal Avans Enjeksiyon isimli eğriye ilişkin olarak test noktalarında gerçekleşen sayısal değerler..	<b>55</b>



<b>Çizelge 4.38.</b> %75 gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş LPG A2 Enjeksiyon isimli eğriye ilişkin olarak test noktalarında gerçekleşen sayısal değerler.....	<b>55</b>
<b>Çizelge 4.39.</b> %75 gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş LPG A4 Enjeksiyon isimli eğriye ilişkin olarak test noktalarında gerçekleşen sayısal değerler.....	<b>56</b>
<b>Çizelge 4.40.</b> %75 gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş LPG A2 Enjeksiyon ile LPG Orijinal Avans Enjeksiyon isimli eğrilerin karşılaştırılması.....	<b>56</b>
<b>Çizelge 4.41.</b> %75 gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş LPG A4 Enjeksiyon ile LPG Orijinal Avans Enjeksiyon isimli eğrilerin karşılaştırılması.....	<b>56</b>
<b>Çizelge 4.42.</b> %75 Gaz kelebeği açıklığında enjeksiyonlu LPG kullanımları için en iyi efektif verim değerlerinin olduğu optimum avans değişimleri.....	<b>57</b>
<b>Çizelge 4.43.</b> %75 Gaz kelebeği açıklığında enjeksiyonlu LPG kullanımları için en iyi efektif güç değerlerinin olduğu optimum avans değişimleri.....	<b>57</b>
<b>Çizelge 5.1.</b> %25 Gaz kelebeği açıklığında enjeksiyonlu LPG kullanımları sırasında orijinal ateşleme avansları ile yapılan testlere nazaran en iyi efektif verim değerlerinin elde edildiği test noktalarında farklı ateşleme avans değerlerinin.....	<b>64</b>
efektif verim üzerindeki iyileştirici etkileri.....	<b>64</b>
<b>Çizelge 5.2.</b> %50 Gaz kelebeği açıklığında enjeksiyonlu LPG kullanımları sırasında orijinal ateşleme avansları ile yapılan testlere nazaran en iyi efektif verim değerlerinin elde edildiği test noktalarında farklı ateşleme avans değerlerinin.....	<b>65</b>
efektif verim üzerindeki iyileştirici etkileri.....	<b>65</b>
<b>Çizelge 5.3.</b> %75 Gaz kelebeği açıklığında enjeksiyonlu LPG kullanımları sırasında orijinal ateşleme avansları ile yapılan testlere nazaran en iyi efektif verim değerlerinin elde edildiği test noktalarında farklı ateşleme avans değerlerinin efektif verim üzerindeki iyileştirici etkileri.....	<b>65</b>
<b>Çizelge A.1.</b> Karbüratör 1. boğaz kelebeğinin kapalı olduğu durumdaki .....	<b>71</b>
ateşleme avansları.....	<b>71</b>
<b>Çizelge A.2.</b> 0,04 Bar emme manifoldu vakum değerindeki ateşleme avansları.....	<b>71</b>
<b>Çizelge A.3.</b> 0,0933 Bar emme manifoldu vakum değerindeki ateşleme avansları.....	<b>72</b>
<b>Çizelge A.4.</b> 0,1466 Bar emme manifoldu vakum değerindeki ateşleme avansları.....	<b>72</b>
<b>Çizelge A.5.</b> 0,2 Bar emme manifoldu vakum değerindeki ateşleme avansları .....	<b>73</b>
<b>Çizelge A.6.</b> 0,2533 Bar emme manifoldu vakum değerindeki ateşleme avansları.....	<b>73</b>
<b>Çizelge A.7.</b> 0,3066 Bar emme manifoldu vakum değerindeki ateşleme avansları.....	<b>74</b>
<b>Çizelge A.8.</b> 0,380 Bar Emme manifoldu vakum değerindeki ateşleme avansları.....	<b>74</b>
<b>Çizelge A.9.</b> 0,4132 Bar emme manifoldu vakum değerindeki ateşleme avansları.....	<b>75</b>
<b>Çizelge B.1.</b> %25 Gaz kelebeği açıklığında interpolasyon yöntemiyle elde edilen ateşleme avans açıları .....	<b>76</b>
<b>Çizelge B.2.</b> %50 Gaz kelebeği açıklığında interpolasyon yöntemiyle elde edilen ateşleme avans açıları .....	<b>77</b>
<b>Çizelge B.3.</b> %75 Gaz kelebeği açıklığında interpolasyon yöntemiyle elde edilen ateşleme avans açıları .....	<b>78</b>

## 1. GİRİŞ

İçten yanmalı motor yakıtı olarak LPG, benzine nazaran bir çok üstünlüklere sahiptir. Ancak halen Türkiye'deki mevcut uygulanma teknolojileri ile LPG'nin bu üstünlüklerinden olabilecek en üst düzeyde faydalanabilmek mümkün değildir.

Ülkemizde bulunan benzinli araçların büyük bir çoğunluğunu, karbüratörlü veya çok noktadan manifolda püskürtmeli yakıt besleme sistemlerine sahip araçlar teşkil etmektedirler. Karbüratörlü araçlarda ventürili veya bir başka ifade ile 1. nesil, çok noktadan manifolda püskürtmeli araçlarda ise sıralı enjeksiyonlu LPG kitleri kullanılmaktadır. 1. nesil LPG kitleri ilkel yapıda olup son derece verimsiz sistemlerdir. Sıralı enjeksiyon LPG kitleri ise sadece püskürtme işlemi üzerinde basit birkaç kalibrasyon yapılabilmesine olanak sağlarken, motorun verimli çalışmasında son derece önemli olan ateşleme avans açılarının optimizasyonu ile ilgili olarak herhangi bir yeteneğe sahip değildir.

Çok sayıda ve birbirleri ile karmaşık etkileşimleri olan parametrelerle çalışan bir içten yanmalı motoru, farklı özellikleri olan bir başka yakıtla çalıştırırken yapılan sınırlı parametrik değişiklikler verimli çalışma için yeterli değildir. O bakımdan LPG püskürtmeli araçlarda elektronik kontrol ünite stratejisi tamamen LPG'ye özgü olacak şekilde belirlenmelidir. Bu değerlendirme doğalgaz veya diğer alternatif yakıt uygulamaları için de geçerlidir.

Tez kapsamında LPG dönüşümü yapılan araçlarda meydana gelen verimsiz çalışma şartları araştırılmış ve bu şartların iyileştirilmesine yönelik ateşleme ve yakıt püskürtme işlemlerinin optimize edildiği yeni bir elektronik kontrol ünitesi prototip olarak üretilmiştir.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Farklı yakıt tiplerinde araçlarda kullanılan içten yanmalı motorların performans optimizasyonları günümüzde bir çok araştırmacının ilgi konusu haline gelmiştir. Gerek çevre bilincinin artması ve gerekse dünyamızdaki fosil kaynakların daha ekonomik kullanılma gerekliliği söz konusu araştırmaların yoğunlaşmasındaki iki önemli neden olarak gösterilebilir.

İçten yanmalı motorlarda kullanılan alternatif yakıtlar arasında en yaygın olanları LPG, CNG, LNG, biyodizel, metanol – genellikle M85, etanol - genellikle E85 ve H<sub>2</sub> şeklinde sıralanabilir. Alternatif yakıtların çeşitliliğine rağmen alternatif yakıtla çalışan araç sayısı, klasik yakıtlarla (benzin ve dizel) çalışan araç sayısı ile kıyaslandığında çok daha az miktarda kaldığı görülmektedir. Bunda motor ve taşıt üzerinde yapılması gereken modifikasyonların yanında alternatif yakıtların taşınması, depolanması ve dağıtım problemleri de etkilidir.

Literatürde saf halde CNG, LPG, LNG, M85, E85, benzin, H<sub>2</sub> veya bu yakıtların belirli oranlardaki karışımları ile power gaz yada aqua fuel olarak adlandırılan özel karışımlar gibi gaz yada sıvı halde bulunan yakıtların içten yanmalı buji ateşlemeli motorlarda kullanımı ile alakalı pek çok araştırmaya rastlamak mümkündür. Bu çalışmalarda esas itibari ile; ateşleme avansı, püskürtme süresi ve avansı, sıkıştırma oranı, hava fazlalık katsayısı değeri gibi parametreler üzerinde ve/veya karışım yakıtların karışım oranları üzerinde durularak, motor performans ve egzoz emisyonları incelenmiş ayrıca söz konusu yakıtların araçlarda sorunsuz ve güvenli bir şekilde kullanılması için gereken önlemlerden bahsedilmiştir.

Bu tezin literatür araştırması, LPG dönüşümü yapılmış içten yanmalı bir motorun performansının yakıt püskürtme ve ateşleme avans parametrelerinin kontrolüyle optimize edilmesini kapsamaktadır. Ancak literatürde bahsi geçen kapsama uygun yapılmış araştırmaların sayısı oldukça azdır.

Benzin ve LPG kullanımlarının mukayeseli bir çalışması Gerini ve ark. (1996) tarafından yapılmıştır. 1,4 litre buji ateşlemeli tek noktadan enjeksiyonlu ve katalitik

konvertörlü bir motorun kullanıldığı bu çalışma kapsamında LPG'li çalışma şartları için optimum ateşleme avans değerleri, oluşan en iyi moment değerlerinin baz alınmasıyla tespit edilmeye çalışılmıştır. Yapılan optimizasyon neticesinde LPG'li çalışmalarda; 2300 d/dak motor devrine kadar tüm gaz keleşi pozisyonlarında, benzinli çalışmalarda kullanılan orijinal ateşleme avanslarının 8 derecelere varan miktarlarda artırılması gereğini ortaya koymuşlardır. 3000 d/dak'dan sonra ise LPG'li çalışmalardaki optimum ateşleme avanslarının, orijinal ateşleme avanslarının 8 derecelere varan değerlerde azaltılmasıyla elde edildiğini ortaya koymuşlardır. Optimizasyon sonrasında benzin ve LPG kullanımlarında elde edilen moment değerleri arasında yaptıkları mukayesede benzinli çalışma lehine %3' ten az bir değişim tespit etmişlerdir. California Air Resources Board tarafından ortaya konmuş aşırı düşük kirletici emisyon değerlerine (ULEV- Ultra Low Emission Vehicle) LPG kullanımı ile ulaşılabilmiş ve böylece LPG'nin yüksek yoğunluklu şehir içi kullanımında oldukça verimli bir çözüm olduğunu ortaya koymuşlardır.

Benzin ve LPG kullanımlarının mukayesesine dayalı olan bir çalışma Smith ve ark. (1997) tarafından yapılmıştır. 1,4 litre, 4 silindirli, buji ateşlemeli, katalitik konvertörlü ve çok noktadan benzin enjeksiyonlu bir motorla 2000, 3000 ve 4000 d/dak motor devirlerinde ve çeşitli yük değerlerinde yapılan deneylerde gaz fazındaki LPG tek noktadan sisteme verilmiştir. Propanın alev hızının benzinden bir miktar düşük olduğundan hareketle LPG'li çalışmada kullanılacak ateşleme avanslarının, benzinli çalışmada kullanılan avanslara nazaran bir miktar artırılması gereğinden bahsettikleri halde ateşleme avanslarına müdahale edilememiştir. Sonuçta bu çalışmada; çok noktadan enjeksiyonlu benzinli çalışmalar ile tek noktadan gaz fazında LPG enjeksiyonlu çalışmaların mukayesesi ile yetinilmiştir. LPG kullanarak gerçekleştirilen testlerde; ortalama efektif basınç değerleri tüm deney noktalarında daha düşük çıkarken, tam yükte efektif verim %8 daha iyi çıkmıştır.

Yaptığımız çalışmadakine benzer bir optimizasyonun teorik olarak gerçekleştirilmesi şeklinde bir çalışmada ise; Borat (1997) bir buji ateşlemeli motorda maksimum motor momentini veren ateşleme avansı optimizasyonunu gerçek yakıt-hava çevrimi analizi üzerinden teorik olarak hesaplamış ve silindir basıncı, hacmi, sıcaklığı, efektif güç, tork,

yakıt debisi, özgül yakıt tüketimi ve ortalama efektif basınç gibi motor büyüklüklerinin ateşleme avansı ve devre bağılı değişimlerini değişik çevrimler için belirlemiştir. Bu büyüklükler benzin, metanol ve doğal gaz için ayrı ayrı elde edilmiştir. Daha sonra analiz ve değerlendirmeler ışığında tasarlanacak motorun karakteristik performans eğrileri çıkarılmıştır.

Daha ekonomik ve çevreci motor stratejilerinin ortaya konmasına yönelik yapılan araştırmaların bir kısmı daha fakir karışımlarda çalışabilme sınırları ile ilgilidir. LPG kullanımlarında fakir karışımlarda çalışabilme sınırının tespitine yönelik olan bir çalışma Alasfour (2001) tarafından yapılmıştır. 4 silindirli, buji ateşlemeli, karbüratörlü bir motorun kullanıldığı ve farklı ateşleme avanslarının, hava fazlalık katsayılarının, motor devirlerinin ve çevre hava sıcaklıklarının denendiği bu çalışmada ateşleme avanslarının fakir çalışabilme sınırlarının tespitinde çok etkili olduğundan bahsedilmiş 300 C giriş hava sıcaklığında ateşleme avansının 10 dereceden 20 dereceye çıkarılması durumunda %4,3 oranında daha fakir karışımlarda çalışılabildiği tespit edilmiştir. Ayrıca yine bu çalışmada artan motor devrinin, yükünün ve giriş hava sıcaklığının fakir karışımlarda çalışabilme sınırını olumsuz etkilediğinden bahsedilmiştir. Bu konuda yapılan bir başka çalışma ise Li ve ark. (2002) tarafından tek silindirli, buji ateşlemeli ve karbüratörlü bir motorda LPG kullanarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada; daha yüksek motor yükü, daha düşük motor devri, daha erken gerçekleştirilen ateşleme, daha geniş buji tırnak açıklığı ve daha yüksek sıkıştırma oranının fakir karışımlarda çalışabilme sınırını olumlu yönde etkilediğinden bahsedilmiştir. Fakir karışımlarda çalışıldığında emisyon değerlerinin düştüğü özellikle NO<sub>x</sub> emisyonlarında ciddi azalmalar gerçekleştiğini ortaya koymuşlardır. Benzinli çalışmada kullanılan ateşleme avanslarının 15 derecelere varan miktarlarda artırılmasıyla LPG ile yapılan deneylerde; performans ve emisyonlar açısından en iyi ateşleme avans değerinin 8 derece artırılmış avans olduğunu ortaya koymuşlardır.

Li ve ark.'nın (2002) LPG dönüşümü yapılmış buji ateşlemeli, 4 zamanlı tek silindirli bir motosiklet motoruyla yakıt hava oranı ve sıkıştırma oranı parametrelerinin yanı sıra ateşleme zamanlamalarının emisyon oluşumları üzerine etkilerini ayrı ayrı inceledikleri çalışmalarında; LPG'nin benzinden daha düşük alev hızına sahip olduğundan

bahsederek, yanmanın tamamlanabilmesi için LPG'li çalışmalarda ateşleme avanslarının artırılması gereğinden bahsetmişlerdir. Aynı şartlar altında yaptıkları araştırmada; ateşleme zamanlamalarının CO emisyonları üzerinde pek bir etkisi olmadığını, hava fazlalık katsayısının 1,3 değerinden daha büyük olduğu durumda artırılmış avans değerleriyle daha düşük seviyede HC emisyonlarının oluştuğunu, hava fazlalık katsayısının 0,9 ve 1,4 aralığında olduğu durumda ateşleme avansının artırılması halinde NO<sub>x</sub> emisyonlarının arttığını gözlemlemişlerdir.

Bu tez kapsamında tasarlanan LPG enjeksiyon kontrol sistemine oldukça benzer ancak özellikle emisyonların iyileştirilmesinin hedef olarak alındığı gaz fazında LPG yakıt püskürtme kontrol sistemi Li ve ark. (2003) tarafından geliştirilmiştir. 4 zamanlı, tek silindirli, buji ateşlemeli ve karbüratörlü bir motor üzerinde, klasik LPG sistemi ve tasarımı yapılan enjeksiyon sisteminin kullanıldığı testler arasında yapılan mukayesede hemen hemen aynı HC emisyon değerleri elde edildiği halde NO<sub>x</sub> ve CO emisyonlarında ciddi miktarlarda iyileşmeler gözlemlenmiştir. Tasarlanan enjeksiyon sistemi ile yapılan testlerde; HC emisyonları genel olarak 300 ppm değerinin altında gerçekleşirken, 3000 d/dak motor devri üzerinde 200 ppm değerinin altında kontrol edilebilmişler, tüm motor yüklerinde NO<sub>x</sub> emisyon değerleri 2600 ppm seviyesinin altında kalırken klasik LPG kitininin kullanıldığı testlere nazaran 2000 ppm'lere varan iyileşmeler elde edilebilmiş, CO emisyon değerleri ise yaklaşık %40'luk iyileşme sonucunda %3,5 değerinin altında gerçekleşmiştir.

Lee and Ryu (2005) buji ateşlemeli LPG motorunda LPG alevinin yayılmasını ve yanma karakteristiklerini deneysel olarak incelemişlerdir. Alev hızını, lazer ışını kırılması ve yüksek hızlı Schlieren fotoğraflama metodu ile ölçerek maksimum alev hızının stokiyometrik karışımlarda meydana geldiğini belirlemişlerdir . Farklı hava yakıt oranı ve ateşleme avanslarıyla yaptıkları moment ölçümlerinde; ateşleme avansı optimizasyonu ile stokiyometrik karışıma nazaran %50'ye varan oranlarda daha fakir karışımlarda bile hemen hemen aynı seviyede moment değerleri elde edebilmişlerdir.

Gyeong ve ark.'nın (2005) yılında, tek silindirli buji ateşlemeli bir motorla yaptıkları çalışmada LPG'yi mikser kullanarak gaz fazında ve enjektör kullanarak sıvı fazda

manifolda püskürtmüşlerdir. 800-1400 d/dak motor devri aralıklarında yapılan deneylerde hava fazlalık katsayısı 0,8-1,3 aralığında tutulmuştur. Sonuçta tam gaz konumunda sıvı fazda püskürtmenin uygulandığı deneylerde hacimsel verimde %15 civarında iyileşme gözlemlenirken efektif güç %18 civarında daha yüksek çıkmıştır. Stokiyometrik karışımlarda ve sıkıştırma oranının 8 olduğu durumda, LPG'nin mikser ve püskürtme yöntemiyle motora sevk edilmesiyle yapılan testlerde; maksimum momentin eldesi sürecinde artan motor devri ile ateşleme avanslarının artırılması gerektiğini tespit etmişlerdir. Aynı devir değerlerinde maksimum momentin elde edildiği ateşleme avansları arasında yapılan mukayesede, LPG'nin enjekte edildiği durumlarda maksimum moment daha yüksek ateşleme avanslarıyla elde edilmiştir.

Mistry'nin (2005) buji ateşlemeli bir motora mikser vasıtasıyla LPG ve CNG uygulaması yaptığı çalışmada, motordan optimum performansın alınabilmesi için en önemli kriterin uygun ateşleme zamanları olduğu belirtilmiş, ateşleme zamanlamasının; efektif özgül yakıt tüketimi, efektif verim ve efektif güç gibi bir motorun bütün önemli parametrelerini etkilediğinden bahsedilmiştir.

Erkuş ve Sürmen'in (2005) yaptıkları çalışmada buji ateşlemeli bir benzin motorunda doğalgazın kullanılması halinde çalışma şartlarının optimize edilmesi için gerekli olan yapısal değişikliklerden bahsedilmiş ve bu değişikliklerin sonrasında optimizasyon adımları izah edilerek, bu adımların gerçekleştirilmesi için oluşturulan test sisteminin; mekanik ve elektronik alt sistemleri ile bu alt sistemlerin kontrolünü gerçekleştiren programa ait algoritma ortaya konmuştur.

4 zamanlı, tek silindri buji ateşlemeli bir motorda kullanılmak üzere, gaz fazında LPG püskürtme ve ateşleme işlemlerinin kontrolüne yönelik bir sistem Hu ve ark. (2006) tarafından geliştirilmiştir. Çalışmada yüksek enerjili ateşleme bobinlerinin, çift buji kullanımının ve ateşleme zamanlamalarının yanma karakteristikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. 40 derece ateşleme avansında, 3500 d/dak motor devrinde, stokiyometrik karışımda ve %30 gaz keleşi açıklığında 8,23mj'lük yüksek enerjili ve 6,38mj'lük normal enerjili ateşleme bobinleri ile yaptıkları teste; yüksek enerjili ateşleme bobinlerinin kullanıldığı durumda, yanma işleminin ilk aşamasında kolay tutuşma ve

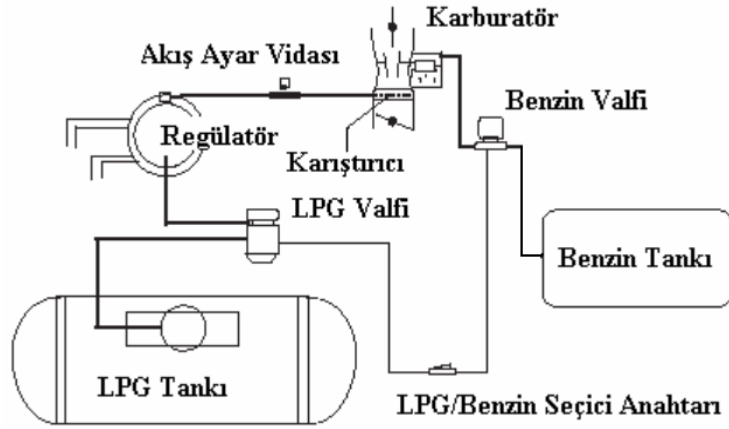
hızlı bir yanma elde edilmiş böylece motorun ısı verimi iyileştirilebilmiştir. Tek ve çift bujinin kullanıldığı mukayese amaçlı testler 30 derece ateşleme avansında, 3500 d/dak motor devrinde, stokiyometrik karışımda ve %30 gaz keleşbeği açıklığında gerçekleştirilmiş ve çift bujinin kullanıldığı durumda alev daha iyi bir şekilde yayılım gösterirken, yanma süresi kısalımış ve böylece ısı verim iyileşmiştir. 3500 ve 4800 d/dak motor devirlerinde, %30 ve %50 gaz keleşbeği açıklıklarında; ateşlemenin tek - çift buji kullanarak gerçekleştirilmesinin ve farklı ateşleme avanslarının fakir karışımlarda çalışabilme sınırları üzerindeki etkilerinin incelendiği testlerde; çift buji kullanarak gerçekleştirilen ateşleme ile motorun daha fakir karışımlarda çalıştırılabildiği tespit edilmiştir. Bu testlerde ayrıca yaklaşık 40 derece ateşleme avanslarına dek artan ateşleme avanslarında motor daha fakir karışımlarda alıştırılabilmif bir başka ifade ile 40 dereceye dek artırılan ateşleme avanslarıyla fakir karışımlarda çalışabilme sınırları iyileştirilebilmiştir.

2 zamanlı tek silindirli bir motorda kullanılmak üzere LPG enjeksiyon kontrol sistemi Loganathan ve Ramesh (2007) tarafından geliştirilmiştir. LPG'nin gaz fazında pskrtldği testler ile benzin enjeksiyon ve 1. nesil klasik LPG yakıt sistemleri kullanarak gerçekleştirilmiş testler bu çalışma kapsamında mukayese edilmiştir. Tüm testler 3000 d/dak motor devri, %10, %15, %25, %40, %50 ve %100 gaz keleşbeği açıklıklarında ve 22 derece ateşleme avansında gerçekleştirilmiştir. Yaptıkları mukayese sonucunda; LPG'nin karbüratör ve enjeksiyon sistemi vasıtasıyla sevk edildiği durumlar arasında performans ve emisyonlarda ciddi farklılıklar gözlemlenebildiği halde bu ciddi farklılıkların enjeksiyonlu LPG ve benzin deneylerinde söz konusu olmadığını ortaya koymuşlardır. Ancak yine de benzin ve LPG'nin enjeksiyonu ile yapılan testlerde ; fakir karışımlarda maksimum efektif verim %2 oranında LPG kullanımını lehine gerçekleşirken kısmi yüklerde LPG ile daha fakir karışımlarda alıştırılabilmif. Tam yükte elde edilen maksimum güç benzin kullanımında %6-7 oranında daha yüksek çıkmıştır. LPG'nin alev hızının benzinden daha yüksek olduğu kabul ile LPG'li çalışmalarda ateşleme avanslarının bir miktar azaltılması gerektiğini savunarak LPG'li testlerde genel olarak yüksek çıkan NO<sub>x</sub> emisyonlarının bu yolla azaltılabileceğini savunmuşlardır.



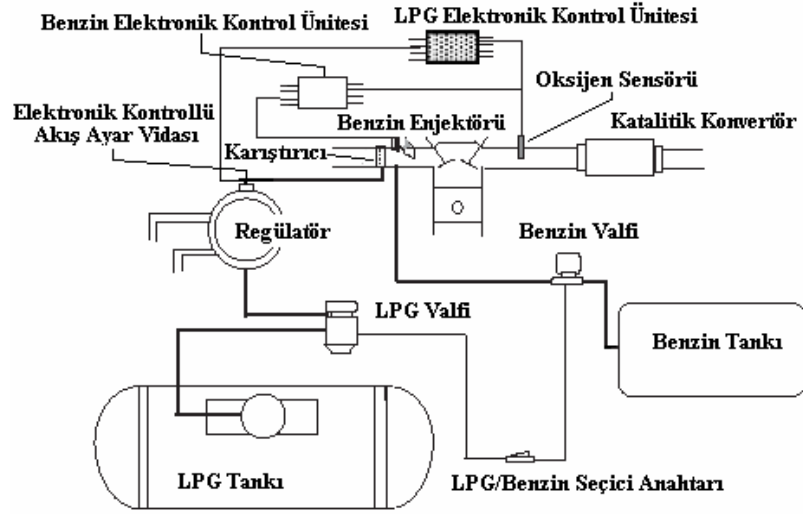
### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

Buji ateşlemeli motorlarda kullanılan LPG dönüşüm kitleri motor teknolojilerinde meydana gelen ilerlemelere paralel olarak gelişim göstermişlerdir. Hali hazırda kullanılmakta olan LPG kitlerini 4 ana başlık altında sınıflandırmak mümkündür. Bunlar; yakıt miktarının mekanik olarak kontrol edildiği karbüratörlü araçlara uygulanan ve klasik olarak adlandırılan 1 nesil kitler, tek noktadan enjeksiyonlu motorlara uygulanan elektronik kontrollü 2. nesil kitler, çok noktadan enjeksiyonlu motorlara uygulanan elektronik kontrollü 3. nesil kitler ve yine çok noktadan enjeksiyonlu motorlarda kullanılan ancak silindir içine direkt püskürtme yapabilme kabiliyetine sahip elektronik kontrollü 4. nesil kitlerdir. 1. nesil kitler LPG nin motorda kullanılabilmesine olanak sağlayan en basit yapılı sistemler olup sevk edilen yakıtın kontrolü bir basınç düzenleyicisi ve karıştırıcı vasıtasıyla mekanik olarak yapılmakta bundan dolayı performans - emisyon anlamında verimleri son derece düşük kalmaktadır (Şekil 3.1).



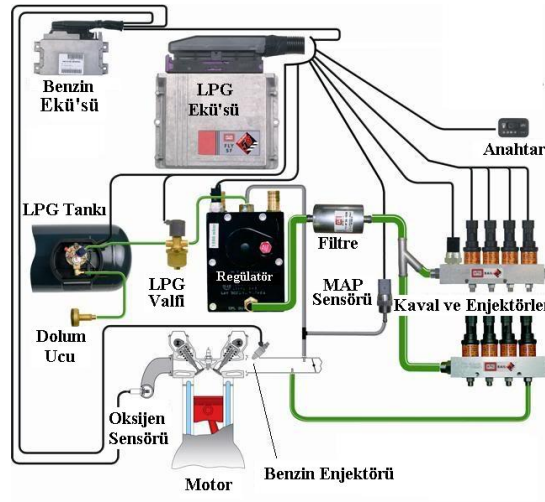
Şekil 3.1. 1. Nesil klasik LPG sistemi

2. nesil kitlerde yakıt miktarı elektronik kontrollü karıştırıcı ve basınç düzenleyicisi marifetiyle gerçekleştirilmektedir. Bu sistemde elektronik kontrol ünitesi lambda sensöründen ve motor hızından gelen verileri işleyerek kapalı döngü kontrol mantığı ile basınç düzenleyicisi ve karıştırıcı arasında bulunan gaz borusundan geçen yakıt miktarını bir step motoru vasıtasıyla kontrol etmekte böylece daha az kirletici emisyonlar söz konusu olabilmektedir (Şekil 3.2).

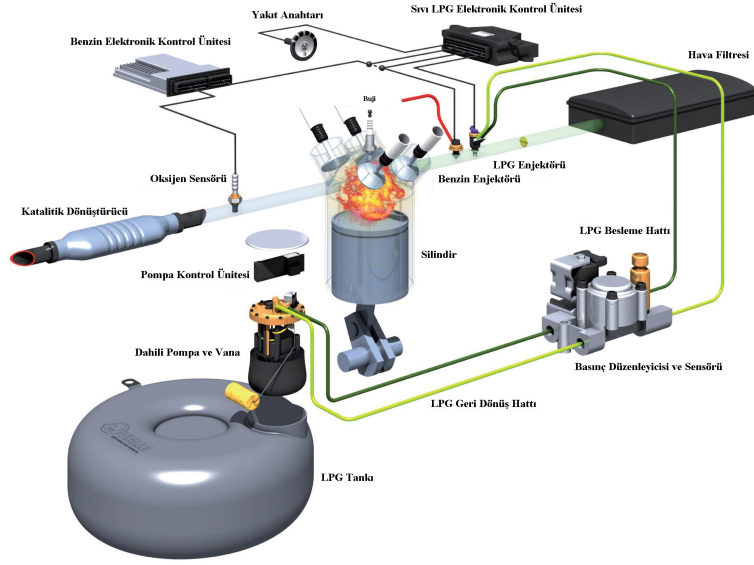


**Şekil 3.2.** İkinci nesil LPG sistemi

Çok noktadan enjeksiyonlu motorlara uygulanan 3. nesil kitler gaz ya da sıvı fazında LPG püskürtme yeteneklerine sahiptirler. Şekil 3.3’de gaz ve Şekil 3.4’de ise sıvı fazında LPG püskürtebilen sistemlerin şemaları verilmiştir. Her silindire eşit miktarda yakıt sevk kabiliyetine sahip bu kitlerde yakıt emme manifolduna püskürtülmektedir. 2. nesil kitlerde olduğu gibi enjeksiyon miktarının ayarlanması kapalı döngü kontrol esasına dayalıdır.

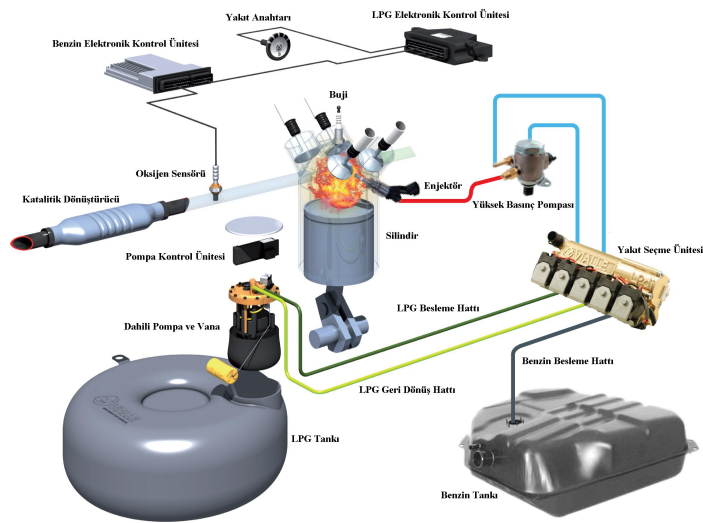


**Şekil 3.3.** Üçüncü nesil LPG sistemi  
(<http://www.2a.com.tr/>, 2011)



**Şekil 3.4.** Manifoldta sıvı fazda LPG püskürtme sistemi  
( <http://www.vialle.nl/>, 2011)

Sıralı mantıkla çalışan 3. nesil kitlerde püskürtmenin gaz yerine sıvı fazda yapılması durumunda hacimsel verim iyileşmekte ve motor daha verimli çalıştırılabilmektedir. 4. nesil kitlerde silindir içine direkt püskürtme yapılmaktadır. Böylece 3. nesil kitlere nazaran daha yüksek hacimsel verim değerlerine ulaşılmakta, yanma daha verimli olmakta ve motor performansı artarken özellikle CO<sub>2</sub> emisyonlarında ciddi iyileşmeler gözlemlenebilmektedir (Şekil 3.5).



**Şekil 3.5.** Dördüncü nesil silindir içine direkt püskürtme sistemi  
( <http://www.vialle.nl/>, 2011)

Benzinli araçların LPG dönüşümü sonrası söz konusu yakıtların farklı bir takım özelliklerini baz alan kontrol stratejilerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Benzine göre farklı bir yakıt olan LPG'nin, benzinli araçlarda sadece bu iki yakıtın ısıl değerlerindeki farklılığa dayanan bir miktar hesaplaması ile kullanılması sağlıklı ve verimli bir uygulama değildir. Çünkü ısıl değer haricinde, yakıtların farklılıklarını ortaya koyan oktan sayısı, difüzyon katsayısı ve alev hızı gibi kullanma performansını etkileyebilen birinci derecede önemli diğer yakıt parametreleri de vardır. Sonradan dönüşüm yapılan motorlarda sıkıştırma oranını değişken kılabilmek halen mümkün olan bir uygulama değildir. Bu nedenle sıkıştırma oranı ile en ilişkili parametre olan oktan sayısını dikkate alan bir optimizasyon maalesef yapılamamaktadır. Ancak difüzyon katsayısı ve alev hızları benzinden farklı olan yakıtların benzin yerine kullanılması halinde mevcut motorda yapısal herhangi bir değişikliğe gitmeden optimizasyon yapabilmek mümkündür. Bu bakımdan en önemli parametre de ateşleme avansıdır. Bu çalışmadaki temel yaklaşım, bir motorun püskürtme ve ateşlemesini kontrol etmek üzere bağımsız bir elektronik kontrol ünitesi tasarlayarak, başta LPG olmak üzere kullanılacak herhangi bir alternatif yakıt için optimum kullanım şartlarını ortaya koymaktır. Böylece LPG dönüşümü yapılmış içten yanmalı motorun çeşitli çalışma noktalarına ait güç, özgül yakıt sarfiyatı (verim) ve emisyon değerlerini optimize etmek mümkündür. Söz konusu hedefe ulaşmak için motorun mevcut tüm kontrol unsurlarının devre dışı bırakılması sonrasında ateşleme ve yakıt püskürtme fonksiyonları, bu tez kapsamında geliştirilen elektronik kontrol üniteleri vasıtasıyla kontrol edilmiştir. Böylece halen kullanılmakta olan LPG püskürtme sistemlerinin önemli bir eksikliği giderilerek ateşleme zamanları kontrol altına alınmıştır. Yapılan deneylerde motor performans haritası devir-yük (veya ortalama efektif basınç) düzleminde belirli sıklıkta taranmış ve geliştirilen kontrol ünitesi ile her bir noktada ateşleme avansı değerleri motorun benzinli çalışmasındaki değerlerin dışına çıkarılarak güç, verim ve emisyon bağlamında bir performans optimizasyonu aranmıştır. Bu sırada yakıt hava oranını, motorun çalışma ritmini bozmamak kaydıyla stokiometrik değerine mümkün olan en yakın noktada tutma kriteri sağlanmaya çalışılmıştır. Bunun amacı tez sonuçlarının muhtemel uygulamasında, 3-yollu katalitik filtrelerin kullanımını mümkün kılacak bir optimizasyon yapmaktır. Ancak ivmelenme ve ilk çalıştırma anları gibi zengin

karışım gerektiren geçici bir takım çalışma şartlarında hava fazlalık katsayısı zorunlu olarak değiştirilmiştir.

### 3.1. Test Düzenegi Genel Bileşenleri

Bu bölümde deneylerde kullanılan motor, motor test dinamometresi , osiloskop ve egzoz emisyon cihazlarının teknik özelliklerinden bahsedilmekte, ayrıca yakıt sarfiyatının ölçümü ile motor ve test odası sıcaklık kontrolünün gerçekleştirildiği düzenekler hakkında kısaca bilgiler verilmektedir.

#### 3.1.1. Deney motoru

Teknik detaylarının Çizelge 3.1’de verilen deney motorunun, karbüratörlü yakıt besleme sistemi ve ticari markası Digiplex olarak adlandırılan distribütörlü tip ateşleme kontrol ünitesine sahiptir. Tezin özünde hem yakıt hem de ateşleme işlemlerinin elektronik olarak kontrolü söz konusudur. Bunun için de kullanılacak motorun sadece mekaniğinden istifade edilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Deney motoru teknik özellikleri

Motor Özellikleri	
Üretici	Fiat
Soğutma Türü	Su soğutmalı
Silindir Başına Subap Sayısı	2 (Toplam 8 Adet)
Silindir Sayısı ve Yerleşimi	4 - Sıra tipi
Hacmi ve Sıkıştırma Oranı	1581 cc - 9,2:1
Yakıt Besleme Tipi - Hava Besleme Türü	Karbüratör – Tabii emişli
Katalitik Konvertör	Yok
Maksimum Güç - Maksimum Güç Devri	86 hp (64,1 kW) - 5800 d/dak
Maksimum Tork - Maksimum Tork Devri	130 Nm (13,3 kgm) - 2900 d/dak
Maksimum Güç Devrinde Tork	105,6 Nm (5800 d/dak)

#### 3.1.2. Motor test dinamometresi

Bilgisayar kontrollü ve girdap akımlarını kullanarak frenleme enerjisi üreten bir dinamometredir. Manuel ve otomatik test yapılabilmesine olanak sağlayan dinamometre ile söz konusu dinamometrenin test prosedürleri içinde yer alan ve “duration test” olarak adlandırılan test algoritmasının yapılacak işlere daha uygun olması sonucundan

hareketle süreç içinde yer alan tüm deneyler bu algoritmanın kullanılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Dinamometrenin teknik özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

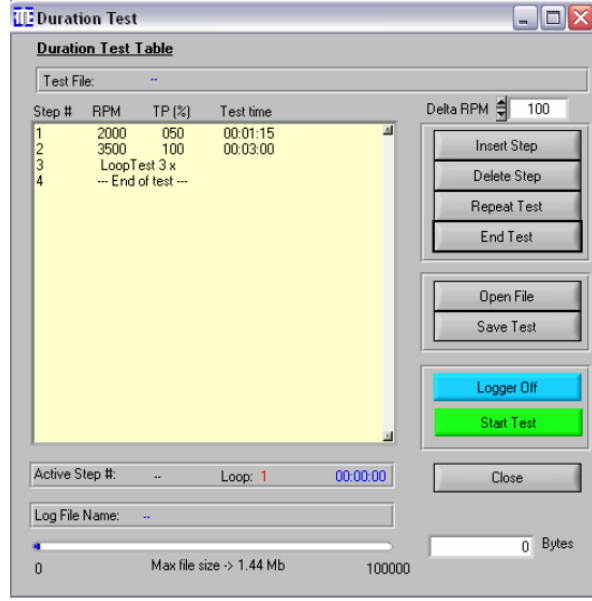
**Çizelge 3.2.** Dinamometre teknik özellikleri

<b>Teknik Özellikler:</b>	
Maksimum Güç:	185 kW durağan (Girdap akımlı fren)
Maksimum Devir:	7000 d/dak
Hava Soğutmalı Girdap Akımlı Fren:	Maksimum 1000 Nm moment
Toplam Atalet:	0,75 Kg <sup>m</sup> <sup>2</sup>
Titreşim Sönümleyici:	Superflex –S coupling
Dinamometre Güç Kaynağı:	230 V, 1 faz, 12 A maksimum
Kalibrasyon:	Kalibrasyon ağırlıkları ile manual

Tam otomatik bir test algoritması olan “duration test” algoritması ile istenilen motor devrinde istenilen sürede, istenilen gaz kelebeği açıklığında ve istenilen tekrarda deney yapabilmek mümkündür. Örneğin Şekil 3.6’da verilen bir “duration test” içerik tanımlaması ile ilk olarak 2000 dev/dk’da %50 gaz kelebeği açıklığında 75 saniye motor çalıştırılacak ardından 2. aşamada 3500 dev/dk’da gaz kelebeğinin tam açık pozisyonunda 3 dakika süresince motorun çalıştırılmasına devam edilecek ve son olarak bahsi geçen iki aşama 3 kez tekrarlanacaktır.

### **3.1.3. Motor ve test odası sıcaklık kontrolü**

Sağlıklı deney sonuçlarının elde edilmesi anlamında motorun ve motorun bulunduğu test odasının sıcaklığının sabit tutulmasına azami ölçüde dikkat edilmelidir. Bu nedenle Şekil 3.7’de verilen test odasının sıcaklık kontrolüne yönelik bir soğutma ünitesi monte edilmiştir. Keza yapılan ön deneme testlerinde motorun fan soğutmalı kendi radyatörünün yeterli olmayacağı anlaşıldığından Şekil 3.8’de verilen egzoz gazı kalorimetresi, şebeke suyu beslemeli bir takviye motor suyu soğutma ünitesi haline dönüştürülmüştür. Bu şekilde motor soğutma suyunun sıcaklığı kontrol altında tutulabilmektedir.



Şekil 3.6. Bir “Duration Test” süreci tanımlama örneği



(a)

(b)

Şekil 3.7. Test kabini soğutma sistemi; a) dış ünite, b) iç ünite



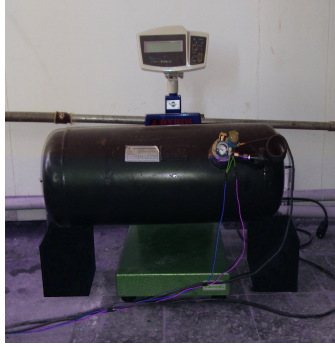
(a)

(b)

Şekil 3.8. a) Soğutma fanı destekli radyatör sistemi, b) Şebeke suyu beslemeli eşanjör

#### 3.1.4. LPG yakıt sarfiyatının ölçümü

Yakıt sarfiyatının ölçülmesine yönelik olarak 60 kg üst sınırlı ve 1 g hassasiyetli bir terazi üzerine LPG tankı yerleştirilmiş ve deney esnasında kabin dışından kolay okunabilecek şekilde konuşlandırılmıştır. Şekil 3.9'da ölçüm düzeneği gösterilmiştir. Ölçüm, terazinin dijital ekranının kameraya kaydedilmesi ve kayıtların daha sonra değerlendirilmesi suretiyle yapılmıştır. Belirli çalışma şartı altında tüketilen yakıt miktarının çalışma süresine bölünmesi ile kütleli sarfiyat debisi hesaplanmıştır.



Şekil 3.9. LPG sarfiyatının ölçülmesine yönelik kurulan düzenek

#### 3.1.5. Osiloskop

Gerek elektronik kontrol ünitesine girişi yapılan ve gerekse kontrol ünitesince üretilen sinyallerin gözlenebilmesi amacıyla 4 kanallı, 200 MHz band genişliğine, 2mV/div ~ 5V/div gösterge hassasiyetine, 1Gs/saniye örnekleme hızına sahip ve Fourier dönüşümü yapabilme kabiliyeti olan dijital GWINSTEK GDS-2204 osiloskopu kullanılmıştır. Böylece gerçek zamanlı bir uygulama olan çalışmamızda meydana gelen kontrol problemlerinin tespiti gerçekleştirilerek gerekli çözümler üretilebilmiştir.

#### 3.1.6. Egzoz emisyon cihazı

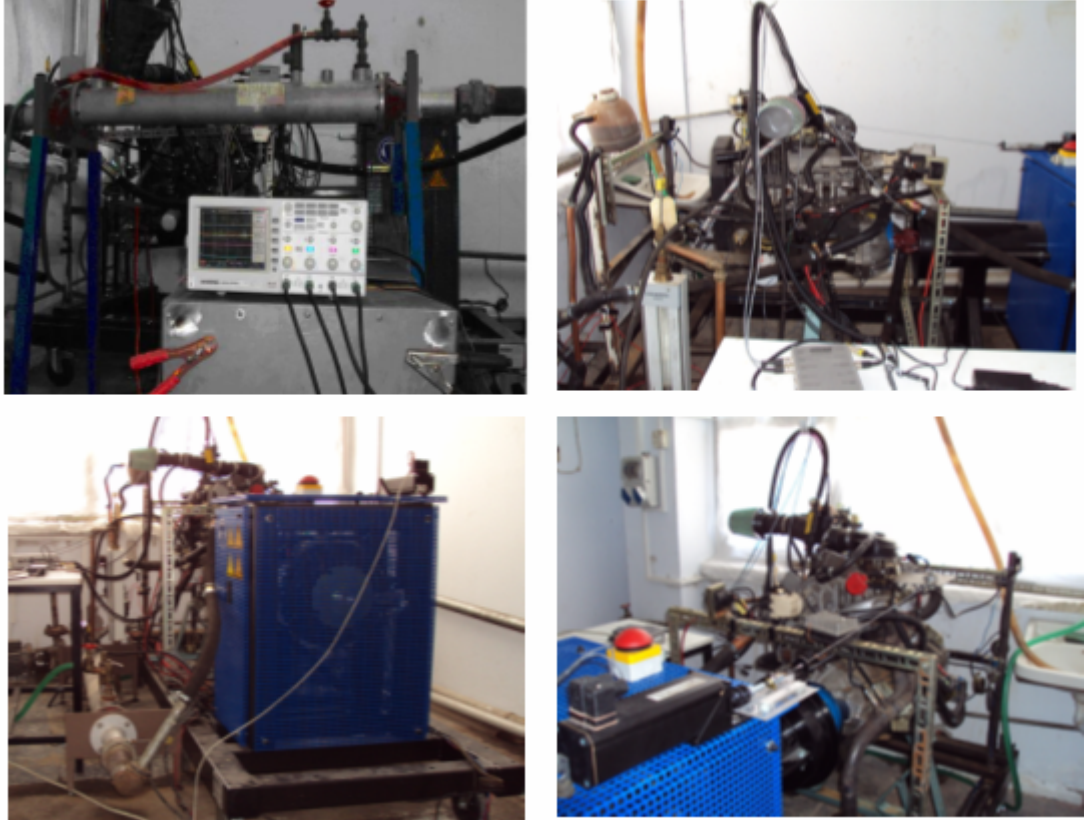
Deneylerde, Şekil 3.10'da verilen BOSCH BEA-250 EU egzoz emisyon cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz ile egzoz gazının CO, CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub> ve hava fazlalık katsayısı değerleri cihazın LPG moduna geçilerek ölçülebilmektedir.



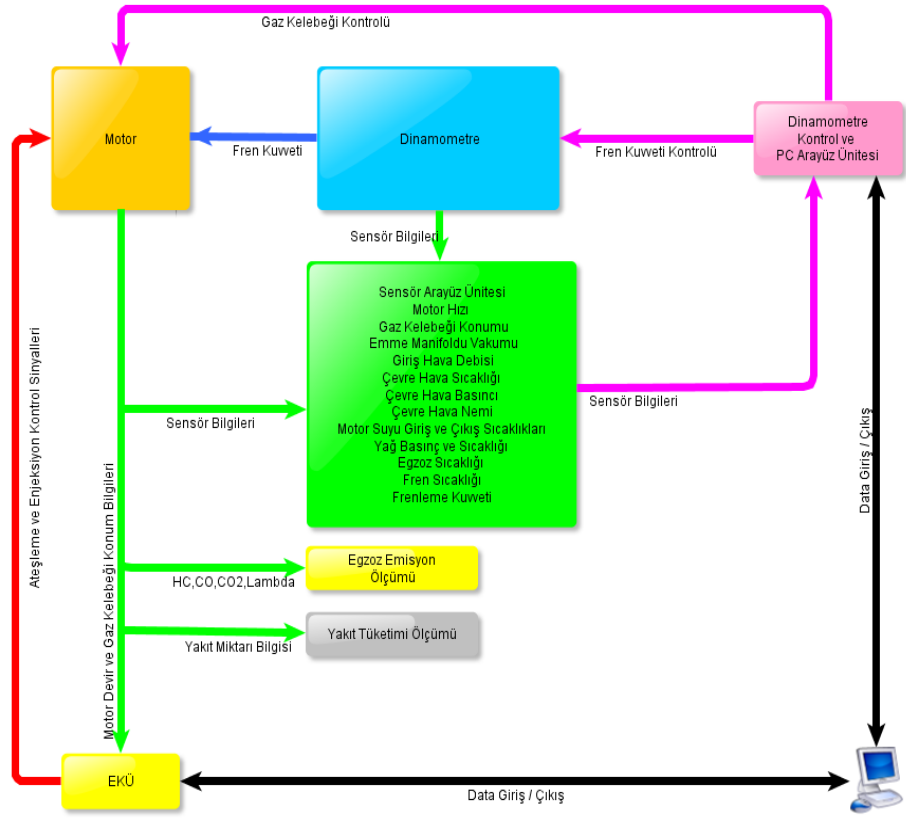


**Şekil 3.10.** Deneylede kullanılan BOSCH BEA–250 EU emisyon ölçüm cihazı

Deneylede kullanılan test düzeneğinin, en genel haliyle farklı açılardan görüntüleri Şekil 3.11’de ve blok diyagramı ise Şekil 3.12’de verilmiştir.



**Şekil 3.11.** Test düzeneğinin farklı açılardan görünümü



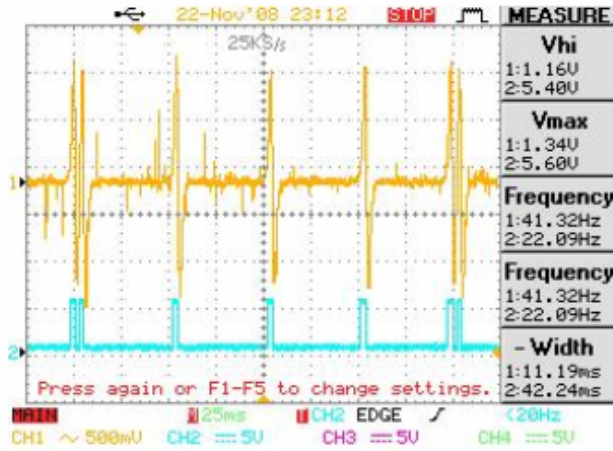
Şekil 3.12. Test düzeneği blok diyagramı

### 3.2. Elektronik Kontrol Ünitesi

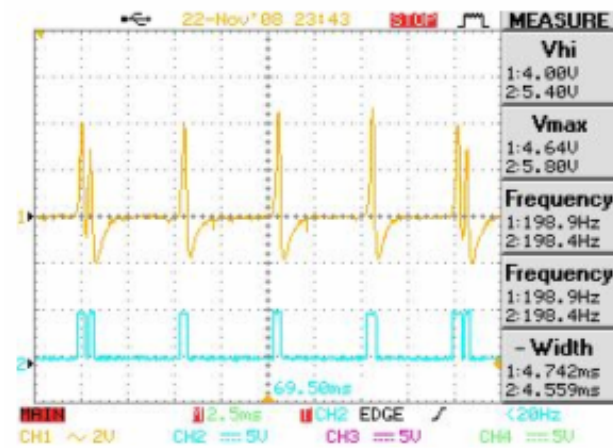
Yapılması planlanan işlere ilişkin kurulan sistemin çekirdeği olarak adlandırabileceğimiz ve tasarımı bütünüyle tez kapsamında gerçekleştirilen elektronik kontrol ünitesi, ateşleme ve yakıt enjeksiyon işlemlerinin gerçekleştirildiği iki ana bileşenden oluşmaktadır.

Elektronik kontrol ünitesinde bulunan merkezi işlem birimleri; 14 bitlik komut kelime uzunluğuna ve 8' er bitlik dahili hafızalara sahip mikro denetleyiciler kullanılarak oluşturulmuştur. Kısaca söz konusu mikro denetleyicilerin; 20 MHz maksimum osilatör frekansına, 14,3k byte flash program hafızaya, 368 byte dahili ram hafızaya, 256 byte EEPROM hafıza ünitesine, 33 adet giriş çıkış amaçlı kullanılacak pine, 8 adet 10 bit çözünürlüğünde ADC ünitesine, 1 adet USART modülüne, 2 adet 8 bit ve 1 adet 16 bit zamanlayıcı ve sayıcıya sahip olmaları öne çıkan özellikleri arasında gösterilebilir.

Elektronik kontrol ünitesi, oluşan gürültü sinyallerinin bastırılmasına yönelik olarak özel önlemler alınarak tasarlanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda yaklaşık 5 kHz'in üzerindeki frekanslarda meydana gelen sinyallerin sistemimiz için gürültü sinyalleri olduğu tespit edilmiştir. Testler sırasında özellikle düşük motor devirlerinde gürültü sinyallerinin, sistem üzerinde daha etkili oldukları gözlenmiştir. Yaklaşık 300 d/dak ve 3000 d/dak motor devirlerinin simule edildiği durumda; motor devir sensöründen elde edilen sinyaller ve bu sinyallerin işaret işleme devresi çıktıları Şekil 3.13 ve 3.14'de verilmiştir.



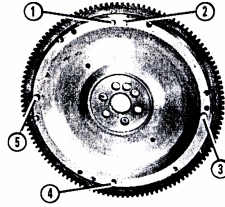
**Şekil 3.13.** Yaklaşık 300 d/dak motor devrinde elde edilen motor devir sinyali ve bu işaretin işlenmesi sonrası elde edilen darbe sinyalleri



**Şekil 3.14.** Yaklaşık 3000 d/dak motor devrinde elde edilen motor devir sinyali ve bu işaretin işlenmesi sonrası elde edilen darbe sinyalleri

### 3.2.1. Motor volanı

Testlerde kullanılan motora ait devir ve piston pozisyon bilgileri Şekil 3.15’de verilen volan üzerinden, Magneti Marelli üretimi SEN 8M üretim kodlu 771  $\Omega$  sargı direncine sahip indüktif yapıya sahip bir sensör vasıtasıyla elde edilmiştir. Motor volanı üzerinde 5 adet pim bulunmaktadır. Burada 1 ve 2 ile numaralandırılmış pimler 1. - 4. pistonların, 4 numaralı pim ise 2. - 3. pistonların üst ölü noktalarına ilişkin bilgi verirler. 3 ve 5 numaralı pimler motor devrinin hesaplanmasında kullanılırlar. 2, 3, 4 ve 5 numaralı pimler 90 derecelik açı farklılıkları ile volan üzerine yerleştirilmişlerdir. 1. pim ile 2. pim arasında yaklaşık 8 – 10 derecelik bir farklılık vardır. Merkezi işlem birimi, 2. pim ile 4. pim arasındaki ayrımı 1. pim vasıtasıyla gerçekleştirir. Enjeksiyon ve ateşleme işlemleri 3. ve 5. pimlerden sonra gerçekleştirilirler. 2. – 5. ve 4. – 3. pimler arasında olmak üzere volanın her yarım turunda bir kez motor devri hesaplanır. 16 bit zamanlayıcı 1:8 prescale ile çalıştırılarak özellikle düşük motor devirlerinde taşma bayrak bitinin set olması engellenmiştir. Böylece 20 MHz osilatör frekansında zamanlayıcının taşma süresi yaklaşık 105 msn olmaktadır.



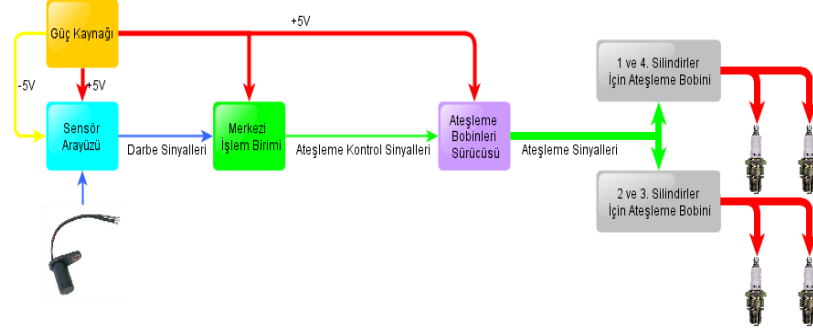
Şekil 3.15. Motor volanı

### 3.2.2. Ateşleme kontrol ünitesi

Silindir içine alınan yakıt hava karışımının en uygun zamanda ateşlenmesinin sağlanması amacıyla tasarlanan sistemin blok diyagramı Şekil 3.16’da verilmiştir. Tasarımın son haline gelmesine dek geçirdiği aşamalar;

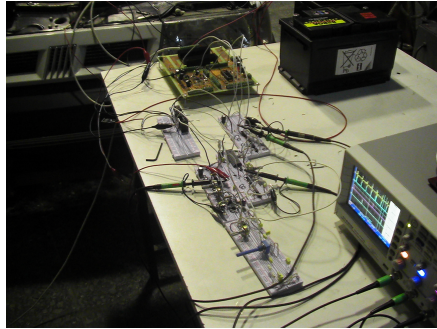
- İhtiyaçların tespiti,
- Motor üzerinden ateşleme işlemlerine yönelik olarak gerekecek verilerin tespiti,
- Ateşleme kontrol ünitesini meydana getirecek sistem bileşenlerinin belirlenmesi,

- Belirlenen sistem elemanlarını dikkate alan ateşleme kontrol algoritmasının oluşturulması,



**Şekil 3.16.** Ateşleme sistemi blok diyagramı

- Algoritma sonrası söz konusu algoritmaya ait ve mikro denetleyici üzerinde koşacak programın oluşturulması,
- Tüm sistem elemanlarının Şekil 3.17 'de verilen boardlar üzerine yerleştirilmesi.



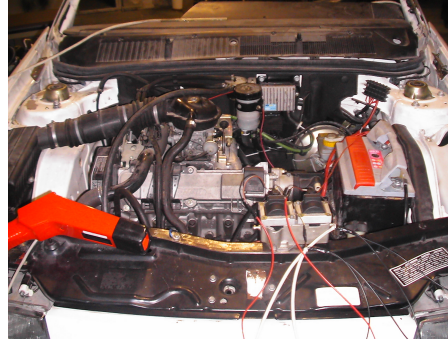
**Şekil 3.17.** Ateşleme kontrol ünitesinin boardlar üzerindeki deneme çalışmaları

- Motorun ürettiği sinyalleri simüle eden bir deney sisteminin tasarlanması ve kurulması
- Tasarımı tamamlanmış ve boardlar üzerine yerleştirilmiş ateşleme kontrol ünitesinin Şekil 3.18'de verilen simulator üzerinde testlerinin yapılması,



**Şekil 3.18.** Motor devir sinyalinin simule edildiği düzenek

- Simulator üzerinde yapılan deneylerde meydana gelen aksaklıkların kaynaklarının tespiti ve çözümleri,
- Ateşleme kontrol ünitesi içinde yer alan elektronik kartların tasarımı ve imalatı,
- Simulator çalışmalarının başarılı bir şekilde sonlandırılmasını müteakip, sistemin yükleme düzeneğinde olmayan ve Şekil 3.19’da verilen başka bir motorla bütünleştirilmesi.

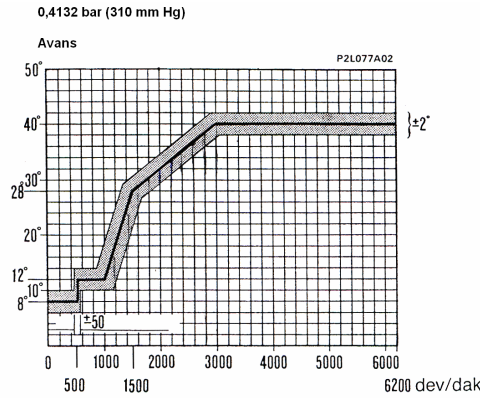


**Şekil 3.19.** Ateşleme sisteminin motora entegrasyonu

- Olası aksaklıkların kaynaklarının tespiti ve çözümleri,
  - Son aşamada sistemin saha olarak adlandırabileceğimiz yükleme düzeneği üzerinde bulunan motorda denenmesi
- şeklinde özetlenebilir.

Kısaca gelişim sürecinden bahsedilen ateşleme kontrol ünitesinde kullanılacak ateşleme avans bilgilerinin eldesi ise, deneylerde kullanılan benzinli motora ait Digiplex ateşleme kontrol ünitesine gömülmüş ateşleme avans değerlerinden, emme manifoldu vakum - motor devir bilgilerine bağlı olarak sınırlı sayıda hazırlanmış ve literatürden elde edilen

eğrilerin kullanılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.20’ de belirli bir vakum değeri için elde edilen avans değerleri haritası görülmektedir. Deneysel esnasında emme manifoldu vakumu, yük-devir çiftinin bir fonksiyonu olarak değiştiğinden, yapılması planlanan deneylerde gerçekleşen emme manifoldu vakum değerleri ön motor deneyleri ile tespit edilmiş, sonra da bu vakum değerlerine karşılık gelen ateşleme avans değerleri elde edilen haritalardan interpolasyonla bulunmuştur. İnterpolasyon işlemi sonrası bir avans tabancası vasıtasıyla hesaplanan değerlerin doğruluğu deney düzeneği üzerinde kontrol edilmiştir. Orijinal avans bilgileri tasarımı yapılan mikro denetleyici tabanlı kontrol ünitesine aktarılmış ve motor yeni tasarlanan bu elektronik kontrol ünitesi ile çalıştırılarak aynı moment, güç ve yakıt tüketimi değerlerinin elde edilip edilmediği kontrol edilmiştir. Yeni tasarlanan elektronik kontrol ünitesi ile yapılan deneysel sonuçların, orijinal Digiplex ateşleme sisteminden elde edilen sonuçlarla örtüştüğü görülmüştür. Böylece geliştirilen sistemin, motorun orijinal avans değerlerini rahatlıkla değiştirebilme yeteneğine sahip olduğu kanıtlanmıştır. Yine bu süreç içinde avans açılarını motor devrine bağlı olarak ölçen elektronik bir düzenek geliştirilerek, tasarlanan ateşleme kontrol sisteminin uyguladığı avans değerlerinin doğruluğu gözlemlenmiştir.



**Şekil 3.20.** Örnek ateşleme avans haritası (Anonim, 1990)

Tasarımı yapılan ateşleme kontrol kartının sadece şartları önceden belirlenmiş testlerde kullanılacak olmasından dolayı motorun çalışması sırasında; motor devri ve piston pozisyon bilgileri sisteme giriş olarak dahil edildikleri halde ateşleme avanslarının seçiminde değerlendirilmesi gereken diğer parametrelerden olan emme manifoldu vakum ve motor soğutucu sıcaklık bilgileri giriş olarak dahil edilmemiştir. Çünkü tüm

deneyler rejim sıcaklığında ve ön deneylerde tespit edilmiş emme manifoldu vakum değerlerinde gerçekleştirilmiştir.

Tasarlanan ateşleme kontrol ünitesi distribütörlü veya distribütörsüz olarak motora entegre edilebilecek esnekliğe sahiptir. Ancak deneylerde distribütör devre dışı bırakılarak ateşleme iki adet ateşleme bobini vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Burada 1. ve 4. silindirler bir ateşleme bobinini kullanırlarken 2. ve 3. silindirler bir başka ateşleme bobinini kullanmaktadır. Ateşleme anında, aynı bobinden beslenen silindirlerden bir tanesi sıkıştırma zamanındayken diğeri egzoz zamanındadır.

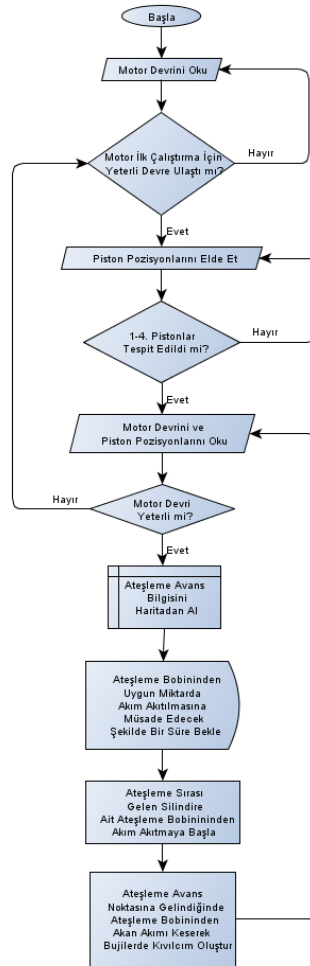
Ateşleme kontrol ünitesi üzerinde koşan ve Şekil 3.21'deki algoritmaya sahip program C programlama dili vasıtasıyla oluşturulmuş olup gerektiğinde assembly kodlara da yer verilmiştir. Bu algoritmaya göre;

- Program öncelikle, ilk çalıştırma sırasında, volan üzerinde birbirinden 90 derece farklı açılarla yerleştirilmiş pim çiftlerinden herhangi birini kullanarak motor devir bilgisini elde eder. Eğer motor devri yaklaşık olarak 150 d/dak'nın altında ise ilk çalıştırma için yeterli motor devrine ulaşamadığı kanısına varılarak 150 d/dak motor devrine erişilmesine dek sonraki satırların işlenmesine izin verilmez. 150 d/dak motor devrine erişilir erişilmez, volan üzerindeki 1. ve 2. pimin algılanması ile 1. ve 4. pistonlara ait üst ölü noktalarının tespiti yapılır ve sonrasında volanın turunu tamamlaması beklenir.

- Volanın 1 tam turunu tamamlaması sonrasında, program 2. ve 5. pimlerin algılanması arasında geçen süreyi tespit ederek motor devir bilgisini yeniden elde eder. Eğer motor devri yaklaşık 150 d/dak'nın altında ise program sonraki satırların işlenmesine izin vermez ve ilk çalıştırma sırasındaki işlemleri tekrarlamak üzere ilgili satıra dallanılır. Elde edilen motor devir bilgisi yaklaşık olarak 150 d/dak'nın üzerinde ise programda bu motor devrine ilişkin ateşleme avans haritasına dallanılır ve ateşleme avans bilgisi elde edilir. İlgili ateşleme bobininden uygun düzeyde akım akıtılması sonrasında, tam ateşleme avans noktasına gelindiğinde akan akımın kesilmesi suretiyle 2. ve 3. silindirlere ait bujilerde kıvılcım oluşturularak ateşleme işlemi gerçekleştirilir.



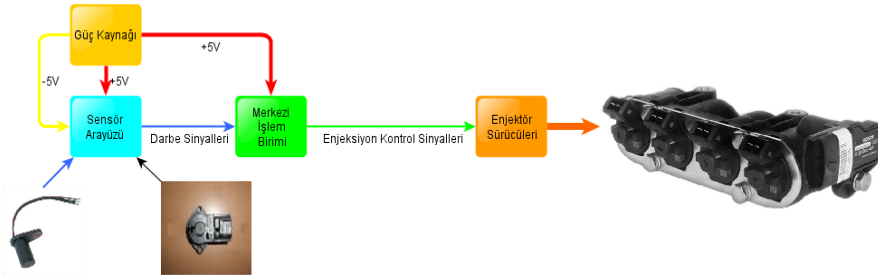
- 2. ve 3. silindirlere ait bujilerde kıvılcım oluşturulması sonrasında volan üzerindeki 4. pim tespit edilir. 4. ve 3. pimlerin algılanması arasında geçen süreden motor devri hesaplanır. Bahsi geçen devir yaklaşık olarak 150 d/dak'nın altında ise program sonraki satırların işlenmesine izin vermez ve ilk çalıştırma sırasındaki işlemleri tekrarlamak üzere ilgili satıra dallanılır. Elde edilen motor devir bilgisi yaklaşık olarak 150 d/dak'nın üzerinde ise programda bu motor devrine ilişkin ateşleme avans haritasına dallanılır ve ateşleme avans bilgisi elde edilir. İlgili ateşleme bobininden uygun düzeyde akım akıtılması sonrasında, tam ateşleme avans noktasına gelindiğinde akan akımın kesilmesi suretiyle 1. ve 4. silindirlere ait bujilerde kıvılcım oluşturularak ateşleme işlemi gerçekleştirilir. Ateşleme işlemleri algoritmada belirtildiği üzere sonsuz bir çevrim içinde ardı ardına devam ederler.



Şekil 3.21. Ateşleme kontrol programına ilişkin algoritma

### 3.2.3. Yakıt enjeksiyon ünitesi

Şekil 3.22’de şeması verilen ve tasarımı yapılan ünitenin görevi gaz fazındaki LPG yakıtının emme manifolduna sevkini kontrol etmektir. Enjeksiyon kontrol ünitesinin tamamıyla tez kapsamında tasarlanmış olmasına karşın, sistem içinde yer alan ve Vikars ticari markası ile üretilen regülatör, enjektör ve valf gibi elemanlar piyasadan temin edilmiştir.



Şekil 3.22. Yakıt kontrol sistemi blok diyagramı

LPG yakıt püskürtme ünitesine ait program algoritmasının oluşturulabilmesine yönelik olarak enjektör sisteminin farklı şartlar altındaki yakıt püskürtme karakteristikleri ortaya konmalıdır. Bu nedenle sıra tip LPG yakıt sistemi 1,4 litre silindir hacmine ve 16 supahlı bir motora sahip Renault Clio marka bir araç üzerine monte edilerek yol testleri yapılmıştır. Şekil 3.23’de gösterilen bu sıralı sistem LPG kiti üzerinde bir takım deneyler yapılarak veriler alınmış böylece mevcut püskürtme algoritmaları hakkında bazı ön bilgiler elde edilmiştir. Gerçek bir araç üzerine bağlanan bu düzenek ile 1400 cc’lik bir motorun LPG enjektörlerinin değişik devirlerdeki püskürtme süreleri ve dolayısı ile de püskürtme açısı belirlenebilmiştir. Ancak aracı yükleme imkanı olmadığından püskürtme sürelerinin yük-devir kombinasyonlarına göre değişimi tam olarak tespit edilememiştir. Keza püskürtme süreleri püskürtülen yakıt miktarının tespiti için yeterli olmamaktadır. Bu nedenle deney motoru üzerinde bir düzenek oluşturularak 1600 cc’lik deney motorunda kullanılacak olan enjektörlerin püskürtme karakteristikleri bilinen emme manifoldu vakum ve enjektör rail basınçları için tespit edilmiştir. Enjektörlerin püskürtme karakteristiklerinin ortaya konması sürecinde rail basıncının gözlemlenebilmesine olanak sağlayan ilave bir elektronik sistem tasarlanmıştır. Enjektör debileri belirlendikten sonra püskürtme stratejisi olarak “tüm LPG enjektörleri

her devirde (1/2 çevrimde) aynı anda tetiklenerek ve her tetiklemede bir silindir için bir çevrimde gerekli olan yakıtın yarısının püskürtülmesi” yöntemi uygulanmıştır.

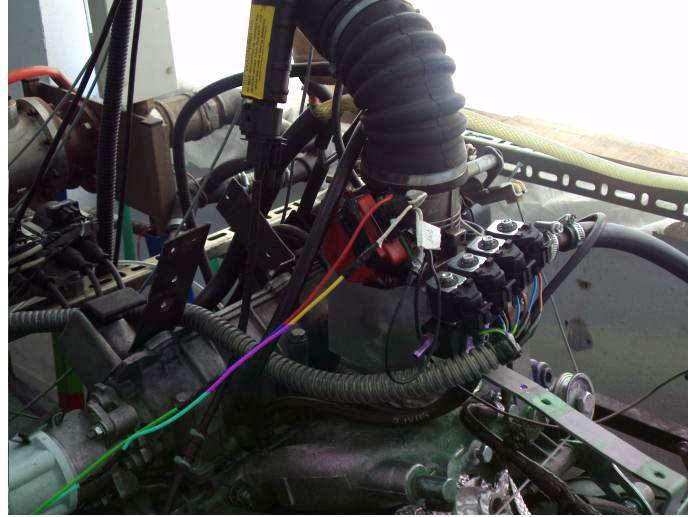


**Şekil 3.23.** Üzerine sıralı tip LPG sistemi monte edilen bir araçtan püskürtme stratejileri ile ilgili verilerin alınması

Tasarımı yapılan yakıt püskürtme kontrol kartının sadece testlerde kullanılmasından dolayı püskürtme miktarlarının belirlenmesinde gerekli olan emme manifoldu vakum ve motor soğutucu sıcaklık değerleri ile rail basınç bilgileri sisteme giriş olarak dahil edilmemiştir. Zira tüm deneyler sabit gaz kelebeği konumunda bir başka deyişle vakum değerlerinin bilinen sabit değerlerinde, rail basıncının belirli bir aralığında ve rejim sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Sistem; motor devir, piston pozisyon ve gaz kelebeği konum bilgilerini girdi olarak almaktadır. Deney motorunun ilk çalıştırılması ve sonrasında ilk test noktası olan 2000 d/dak’ya gelmesine dek geçen süreçte püskürtme haritalarında belirli oranlarda zenginleştirmeler yapılmıştır. İvmelenme anlarında gerekli zenginleştirmelerin yapılabilmesine yönelik olarak gaz kelebeği konum bilgisinin elde edildiği potansiyometrik yapılı sensörün belirli zaman aralıklarında ürettiği analog sinyaller dijital dönüşüm işlemine tabi tutulmuş, dönüşüm sonucu elde edilen matematiksel değere gaz kelebeğinin pozisyon açısı cinsinden fiziksel bir karşılık atanmış ve her çevrim başlangıcında, bir başka ifadeyle motorun her 2 devrinde bir bahsi geçen açı farkları kontrol edilmiştir. Oluşan açı farklılıklarına göre zenginleştirme miktarı ortaya konmuş ve enjektör püskürtme süreleri kademeli olarak değiştirilmiştir. Tasarımda gaz kelebeğinde oluşan açı farklılığının algılanma hassasiyeti yaklaşık 0,088 derecedir. Testler sırasında zenginleştirmenin yapılacağı minimum gaz kelebeği konum farkı yaklaşık olarak 0,44 derece olarak belirlenmiştir. Böylece hem motor istenen sabit gaz kelebeği açıklığında istenen motor devrine kolayca erişirken hem de deney

noktalarında aşırı zengin karışımların oluşması engellenebilmiştir. %25, %50 ve %75 gaz kelebeği açıklıklarında gerçekleştirilen testlerde ilk çalıştırma ve ivmelenmeler sırasında test noktalarında püskürtülen yakıt miktarlarına göre gerçekleştirilen zenginleştirme oranları Çizelge 3.3 - 3.5’de verilmiştir. Testlerin güvenli bir şekilde yapılmasına yönelik maksimum motor devri 5500 d/dak’da sınırlandırılmıştır.

Motorun orijinal yakıt besleme sistemi karbüratör olduğundan, LPG püskürtmeli sisteme dönüşümü sırasında karbüratör yerinden sökülerek E36 kasa BMW 316i motoruna ait gaz kelebeği boğaz montajı yapılmıştır. Yakıt püskürtme sisteminin genel bir görüntüsü Şekil 3.24’de verilmiştir.



Şekil 3.24. Yakıt püskürtme sisteminin genel görünümü

Çizelge 3.3. %25 Gaz kelebeği açıklığında ilk çalıştırma ve ivmelenmeler sırasında test noktalarında püskürtülen yakıt miktarlarına göre gerçekleştirilen zenginleştirme oranları

Gaz Kelebeği Açıklığı:%25		
n (d/dak)	Normal Püskürtme Süresi (µsn)	Zenginleştirme Oranı (%)
2000	3525	42
2500	3375	48
3000	3050	64
3500	2850	75
4000	2700	85

**Çizelge 3.4.** %50 Gaz kelebeği açıklığında ilk çalıştırma ve ivmelenmeler sırasında test noktalarında püskürtülen yakıt miktarlarına göre gerçekleştirilen zenginleştirme oranları

Gaz Kelebeği Açıklığı:%50		
n (d/dak)	Normal Püskürtme Süresi ( $\mu$ sn)	Zenginleştirme Oranı (%)
2000	3900	28
2500	3500	43
3000	3300	52
3500	3000	67
4000	2800	79

**Çizelge 3.5.** %75 Gaz kelebeği açıklığında ilk çalıştırma ve ivmelenmeler sırasında test noktalarında püskürtülen yakıt miktarlarına göre gerçekleştirilen zenginleştirme oranları

Gaz Kelebeği Açıklığı:%75		
n (d/dak)	Normal Püskürtme Süresi ( $\mu$ sn)	Zenginleştirme Oranı (%)
2000	3800	32
2500	3600	39
3000	3350	49
3500	3000	67
4000	2800	79

Enjeksiyon kontrol ünitesi üzerinde koşan ve Şekil 3.25'deki algoritmaya sahip program C programlama dili vasıtasıyla oluşturulmuş olup gerektiğinde assembly kodlara da yer verilmiştir. Bu algoritmaya göre;

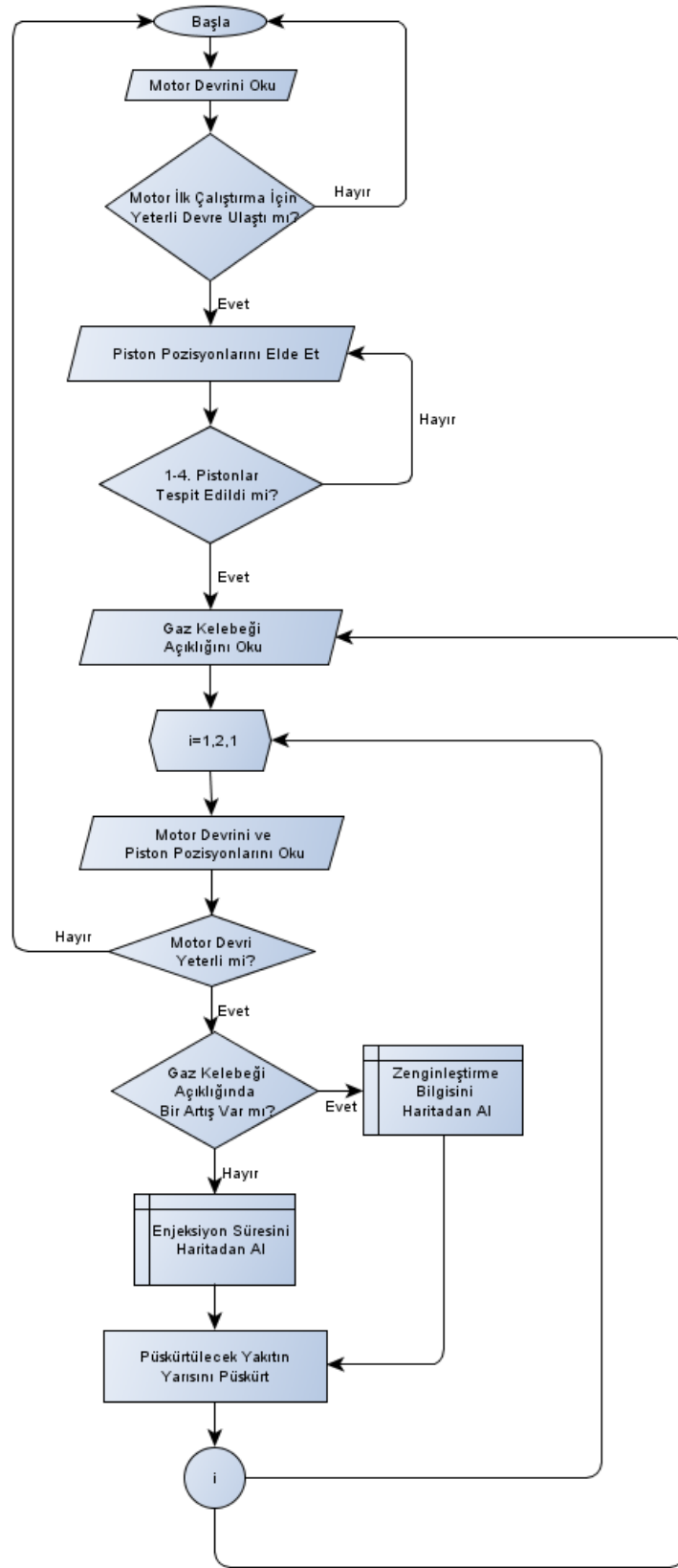
- Program öncelikle, ilk çalıştırma sırasında, volan üzerinde birbirinden 90 derece farklı açılarla yerleştirilmiş pim çiftlerinden herhangi birini kullanarak motor devir bilgisini elde eder. Eğer motor devri yaklaşık olarak 150 d/dak'nın altında ise ilk çalıştırma için yeterli motor devrine ulaşılamadığı kanısına varılır ve sonraki satırların işlenmesine izin verilmeyerek işlemci resetlenir. 150 d/dak motor devrine erişilir erişilmez, volan üzerindeki 1. ve 2. pimin algılanması ile 1. ve 4. pistonlara ait üst ölü noktalarının tespiti yapılarak volanın turunu tamamlaması beklenir.

- Volanın 1 tam turunu tamamlaması sonrasında, gaz kelebeği açıklığında bir değişiklik olup olmadığını kontrol etmek üzere gaz kelebeği pozisyon bilgisi elde edilir. Motorun ilk çalıştırılması sırasında gaz kelebeği açıklığına sıfır değeri atanmıştır. Elde edilen

yeni gaz kelebeği pozisyon bilgisi ile ilk değer arasındaki farkın ortaya konması ile motorun ivmelenme durumunda olup olmadığı tespit edilir. Tasarımda gaz kelebeğinde oluşan açı farklılığının algılanma hassasiyeti yaklaşık 0,088 derecedir. Testler sırasında ivmelenme sırasında zenginleştirmenin yapılacağı minimum gaz kelebeği konum farkı yaklaşık olarak 0,44 derece olarak belirlenmiştir.

- Programda döngü sayacının 2 olduğu bir döngüye girilir. Bu döngü içinde 2. ve 5. pimlerin algılanması arasında geçen süre tespit edilerek motor devir bilgisi elde edilir. Eğer motor devri yaklaşık 150 d/dak'nın altında ise program sonraki satırların işlenmesine izin vermez ve ilk çalıştırma sırasındaki işlemlerin tekrarlanması amacıyla işlemci resetlenir. Elde edilen motor devir bilgisi yaklaşık olarak 150 d/dak'nın üzerinde olduğunda gaz kelebeği pozisyon farklılığından elde edilen değer doğrultusunda motor ivmelenme durumunda ise ilgili motor devrine ilişkin zenginleştirme miktarı elde edilerek enjeksiyon gerçekleştirilir. Gaz kelebeği pozisyon farklılığı bilgisi motorun ivmelenme durumunda olmadığını ortaya koyuyorsa zenginleştirmenin yapılmadığı enjeksiyon süreleri dikkate alınarak enjektörler tetiklenir.

- Enjektörlerin tetiklenmesi sonrasında volan üzerindeki 4. pim tespit edilir. 4. ve 3. pimlerin algılanması arasında geçen süreden motor devri hesaplanır. Bahsi geçen devir yaklaşık olarak 150 d/dak'nın altında ise program sonraki satırların işlenmesine izin vermez ve ilk çalıştırma sırasındaki işlemlerin tekrarlanması amacıyla işlemci resetlenir. Elde edilen motor devir bilgisi yaklaşık olarak 150 d/dak'nın üzerinde olduğunda gaz kelebeği pozisyon farklılığından elde edilen değer doğrultusunda motor ivmelenme durumunda ise ilgili motor devrine ilişkin zenginleştirme miktarı elde edilerek enjeksiyon gerçekleştirilir. Gaz kelebeği pozisyon farklılığı bilgisi motorun ivmelenme durumunda olmadığını ortaya koyuyorsa zenginleştirmenin yapılmadığı enjeksiyon süreleri dikkate alınarak enjektörler tetiklenir. Böylece motorun 1 tam devri sürecince tüm enjektörler 2 kez tetiklenerek 1 silindir için 1 çevrim boyunca gerekli olan yakıt miktarının yarısı motorun bir turunda püskürtülmüş olur. Döngü içinde bahsedilen enjeksiyon işlemleri 1 kez daha tekrarlanarak döngü sonlanır. Döngü sonrasında gaz kelebeği açıklık bilgisi yeniden elde edilerek enjeksiyon işlemleri algoritmada belirtildiği üzere sonsuz bir çevrim içinde ardı ardına devam ederler.



Şekil 3.25. Enjeksiyon kontrol programına ilişkin algoritma

## 4. BULGULAR

Bu çalışmada, LPG dönüşümü yapılmış buji ateşlemeli içten yanmalı bir motorun optimum şartlarda çalışmasında önemli etkileri olan ateşleme avansı ve yakıt-hava oranı parametreleri dikkate alınarak bir performans iyileştirme stratejisi ortaya konmuştur. Tüm deneylerde 3-yollu katalitik dönüşüme en uygun hava fazlalık katsayısı değeri olan 1 civarında kalınmaya gayret edilmiştir.

### 4.1. Matematiksel Hesaplamalar

Deneysel; yakıt tüketimi, emisyonlar, hava fazlalık katsayısı, motor devri, gaz keleşbeği açıklığı, emme manifoldu vakumu, giriş hava debisi, deney ortamının; sıcaklık, nem ve basınç değeri, motor soğutma suyu giriş-çıkış sıcaklıkları, motor yağı basınç-sıcaklığı, egzoz sıcaklığı, frenleme düzeneğinin sıcaklığı, moment ve efektif güç değeri ölçüm yoluyla elde edilirken,  $\dot{m}_y [kg/sn]$  motorun birim zamanda tükettiği yakıt kütlesi,  $P_e [kW]$  efektif güç değeri,  $H_u [kJ/kg]$  yakıtın alt ısı değeri,  $\dot{m}_{hg} [kg/sn]$  motorun birim zamanda emdiği hava kütlesi ve  $\dot{m}_{ht} [kg/sn]$  motorun teorik olarak birim zamanda emebileceği hava kütlesi olmak üzere;

Efektif özgül yakıt sarfiyatı;

$$b_e = \frac{\dot{m}_y \times 3600}{P_e} \left[ \frac{gr}{kWh} \right] \quad (4.1)$$

Efektif verim;

$$\eta_e = \frac{P_e}{\dot{m}_y H_u} \quad (4.2)$$

Hacimsel verim;

$$\eta_v = \frac{\dot{m}_{hg}}{\dot{m}_{ht}} \quad (4.3)$$

değerleri hesaplanmışlardır.



$F[N]$  fren düzeneğinin uyguladığı kuvvet, moment kolu  $l = 0,4672[m]$  ve  $n[d/dak]$  motor devri olmak üzere; motor test düzeneği, moment ve efektif güç değerlerini aşağıda verilen formülleri kullanarak hesaplamaktadır.

Moment;

$$T = F \times 0,4672 [Nm] \quad (4.4)$$

Efektif güç;

$$P_e = T \frac{2\pi n}{60} [kW] \quad (4.5)$$

$t_{ortam} [^{\circ}C]$  ortamın sıcaklık değeri olmak üzere testler sırasında ortam hava sıcaklığında meydana gelen değişimlerin hacimsel verim, moment ve efektif güç büyüklükleri üzerinde meydana getirdiği etkinin dikkate alınabilmesine yönelik olarak bahsi geçen büyüklükler  $25^{\circ}C$  ortam sıcaklığına göre normalize edilmişlerdir.

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{P_{e_2}}{P_{e_1}} = \frac{\eta_{v_1}}{\eta_{v_2}} = \sqrt{\frac{273 + t_{ortam}}{298}} \quad (4.6)$$

#### 4.2. Ateşleme Avans Açılarının Ortaya Konması

Tezin ilk aşamasıdır. Rejim sıcaklığında çalışan motorun sınırlı sayıdaki emme manifoldu vakum değerlerine karşılık gelen ve literatürden elde edilmiş orijinal ateşleme avans değerleri EK A.'da verilmiştir (Anonim, 1990). Test adımları sırasında oluşabilecek farklı vakum değerlerinde gerçekleşen avans değerleri ise EK A.'da verilen değerlerin interpolasyonu yoluyla hesaplanmıştır. Rejim sıcaklığında, farklı gaz kelebeği pozisyonlarında ve farklı devirlerde interpolasyon yöntemiyle hesaplanmış ateşleme avans değerleri EK B.'de verilmiştir.

#### 4.3. Benzinli Motorun Karbüratörlü ve 1. Nesil LPG Kitiyle Çalıştırılması

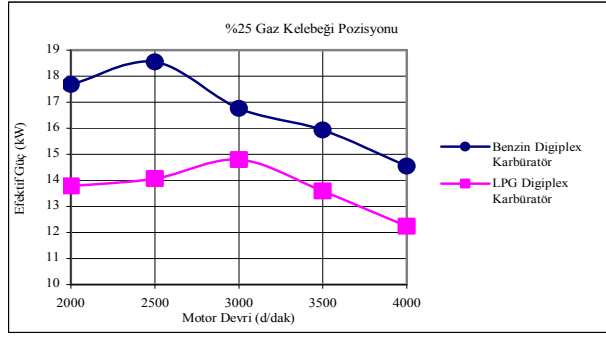
Tezin 2. ve 3. aşamalarını içeren bu kısımda karbüratörlü deney motoruna 1. nesil LPG kit montajı yapılarak, benzin ve LPG kullanımları arasındaki farklılıklar ortaya

konmuştur. Deneyler %25 ve %50 olmak üzere iki farklı gaz kelebeği açıklıklarında yapılmıştır.

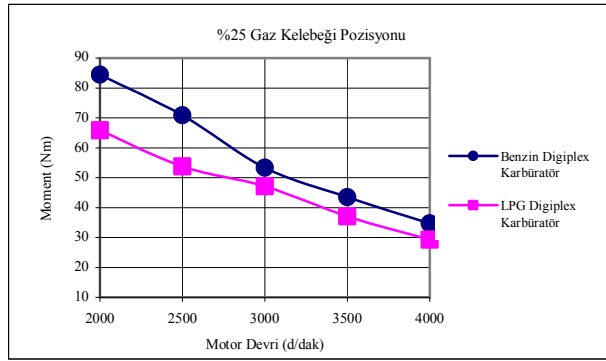
%25 gaz kelebeği açıklığında gerçekleştirilen testlerin tamamında ateşleme sistemi orijinal haliyle bırakılmış bir başka ifade ile Digiplex ateşleme sistemi kullanılmıştır. %50 gaz kelebeği açıklığında ise Digiplex ile yapılan deneylere ilave olarak tez kapsamında tasarlanan ateşleme sistemi kullanılarak da testler yapılmıştır. Literatürde bazı kaynaklarda, stokiyometrik karışımda LPG'nin alev hızının benzinin alev hızından daha yüksek olduğu belirtilirken (Loganathan ve Ramesh 2007) bazı kaynaklarda da bu durumun tersi savunulmaktadır (Li ve ark.'ları 2002). Yapılan bu çalışmada ateşleme avansları azaltıldığında motorun çevrim değişimlerinin arttığı tespit edilmiş ve bunun bir sonucu olarak da bazı testlerin gerçekleştirilmesi mümkün olamamıştır. Dolayısı ile azaltılmış ateşleme avanslarında yapılan testler ya hiç başarılamamış yada güvenilirliği çok düşük kalmıştır. Buradan hareketle deneyler sırasında kullanılan LPG'nin alev hızının benzinden daha düşük olduğu kabul edilmiş ve tasarlanan ateşleme sisteminin kullanıldığı deneylerde ateşleme avansları artırılmıştır. Artırım miktarlarının sınırlarının tespitine yönelik olarak Gerini ve ark.'nın (1996) yaptıkları çalışmada belirttikleri 8 derecelik artırım, maksimum artırım miktarı olarak baz alınmış ve tüm test noktalarında ateşleme avansları öncelikle 8 derece artırılmış elde edilen sonuçlar LPG A8 Karbüratör adlı eğriler adı altında, sonrasında ise 2000 d/dak'da 7 derece, 2500 ve 3000 d/dak'larda 5 derece, 3500 ve 4000 d/dak'larda ise ateşleme avansı orijinal haline göre 4 derece artırılarak elde edilen sonuçlar ise LPG A7-A4 Karbüratör adlı eğriler adı altında sunulmuştur.

#### **4.3.1. %25 Gaz kelebeği açıklığında gerçekleştirilen testler**

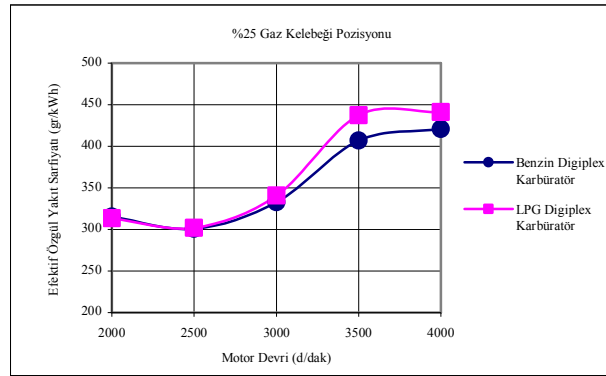
Benzin ve LPG yakıtlarının, Digiplex ateşleme sistemine sahip karbüratörlü motorda kullanılmalarıyla gerçekleştirilen testlerde; moment, efektif güç, yakıt tüketimi ve hava fazlalık katsayısı değerleri ölçülerek efektif özgül yakıt tüketimi, efektif ve hacimsel verim ifadeleri hesaplanmıştır. Deneyler sırasında elde edilen efektif güç, moment ve efektif özgül yakıt sarfiyatı büyüklüklerine ait eğriler Şekil 4.1 - 4.3'te, bahsi geçen eğriler ile ilişkili ve test adımları sırasında elde edilen tüm değerler Çizelge 4.1 ve 4.2'de, söz konusu testlerin mukayeseli bir karşılaştırması ise Çizelge 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.1. %25 gaz kelebeği açıklığında karbüratörlü motorda benzin ve 1. nesil LPG kiti kullanılması durumunda oluşan efektif güç eğrileri



Şekil 4.2. %25 gaz kelebeği açıklığında karbüratörlü motorda benzin ve 1. nesil LPG kiti kullanılması durumunda oluşan moment eğrileri



Şekil 4.3. %25 gaz kelebeği açıklığında karbüratörlü motorda benzin ve 1. nesil LPG kiti kullanılması durumunda oluşan efektif özgül yakıt sarfiyatı eğrileri

**Çizelge 4.1.** %25 Gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş Benzin Digiplex Karbüratör isimli eğriye ilişkin olarak test noktalarında gerçekleşen sayısal değerler

Gaz Kelebeği Açıklığı :%25 Yakıt: Benzin - Karbüratör Ateşleme:Digiplex						
n (d/dak)	T (Nm)	P <sub>e</sub> (kW)	b <sub>e</sub> (gr/kWh)	η <sub>e</sub> (%)	λ	η <sub>v</sub> (%)
2000	84,40	17,68	315,56	25,99	0,86	63,61
2500	70,81	18,55	300,87	27,26	0,85	50,40
3000	53,34	16,76	332,86	24,64	0,87	42,60
3500	43,44	15,93	406,85	20,16	0,87	42,35
4000	34,71	14,55	420,73	19,49	0,85	34,39

LPG kullanılan tüm test noktalarında efektif verim %3,70 ile %10,99, efektif güç ise %11,77 ile %24,17 arasında değişen oranlarda benzinli kullanımlar lehine meydana gelmiştir.

**Çizelge 4.2.** %25 Gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş LPG Digiplex Karbüratör isimli eğriye ilişkin olarak test noktalarında gerçekleşen sayısal değerler

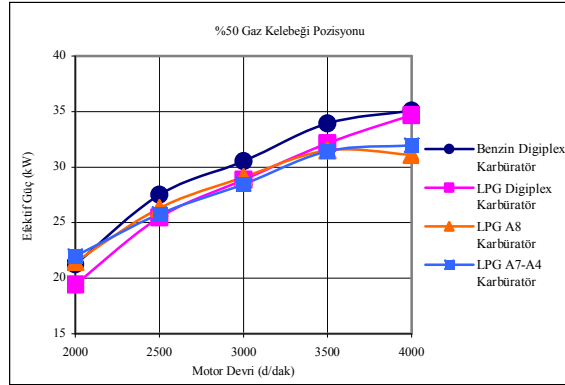
Gaz Kelebeği Açıklığı :%25 Yakıt: LPG - Karbüratör Ateşleme:Digiplex						
n (d/dak)	T (Nm)	P <sub>e</sub> (kW)	b <sub>e</sub> (gr/kWh)	η <sub>e</sub> (%)	λ	η <sub>v</sub> (%)
2000	65,79	13,78	313,40	25,03	0,83	49,26
2500	53,70	14,06	302,05	25,97	0,83	38,98
3000	47,06	14,79	340,75	23,02	0,83	38,52
3500	37,06	13,59	437,15	17,94	0,83	38,81
4000	29,22	12,24	441,05	17,78	0,82	30,35

**Çizelge 4.3.** %25 Gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş LPG Digiplex Karbüratör ile Benzin Digiplex Karbüratör isimli eğrilerin karşılaştırılması

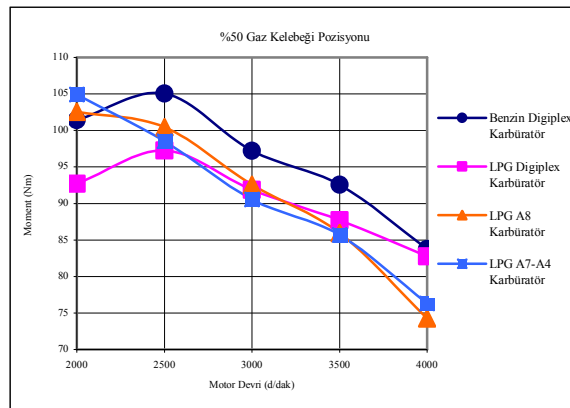
Gaz Kelebeği Açıklığı :%25 Yakıt: LPG – Karbüratör Ateşleme:Digiplex Yakıt: Benzin – Karbüratör Ateşleme:Digiplex						
n (d/dak)	P <sub>e</sub> (%)	b <sub>e</sub> (%)	η <sub>e</sub> (%)	λ (%)	η <sub>v</sub> (%)	
2000	-22,05	-0,68	-3,70	-3,87	-22,55	
2500	-24,17	0,39	-4,73	-2,36	-22,65	
3000	-11,77	2,37	-6,57	-3,87	-9,58	
3500	-14,69	7,45	-10,99	-3,87	-8,37	
4000	-15,83	4,83	-8,76	-3,87	-11,76	

### 4.3.2. %50 Gaz kelebeği açıklığında gerçekleştirilen testler

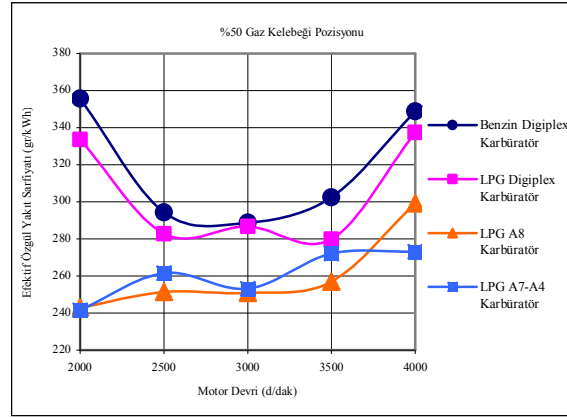
Bu testlerde öncelikle benzin ve LPG yakıtları, Digiplex ateşleme sistemine sahip karbüratörlü motorda kullanılmışlar sonrasında Digiplex ateşleme sistemi devre dışı bırakılarak tasarımı bu tez kapsamında gerçekleştirilen ateşleme kontrol kartı motora entegre edilmiş ve LPG yakıtı ile performans testlerine devam edilmiştir. Yapılan deneylere ait moment, efektif güç, yakıt tüketimi ve hava fazlalık katsayısı değerleri ölçülerek efektif özgül yakıt tüketimi, efektif ve hacimsel verim ifadeleri hesaplanmıştır. Deneyler sırasında elde edilen efektif güç, moment ve efektif özgül yakıt sarfıyatı değerlerine ait eğriler Şekil 4.4 - 4.6'da verilmiştir. Gerçekleştirilen testlerde elde edilen tüm değerler Çizelge 4.4 - 4.7'de ve söz konusu testlerin mukayeseli karşılaştırmaları ise Çizelge 4.8 - 4.10'da sunulmuştur.



Şekil 4.4. %50 gaz kelebeği açıklığında karbüratörlü motorda benzin ve 1. nesil LPG kiti kullanılması durumunda oluşan efektif güç eğrileri



Şekil 4.5. %50 gaz kelebeği açıklığında karbüratörlü motorda benzin ve 1. nesil LPG kiti kullanılması durumunda oluşan moment eğrileri



**Şekil 4.6.** %50 gaz kelebeği açıklığında karbüratörlü motorda benzin ve 1. nesil LPG kiti kullanılması durumunda oluşan efektif özgül yakıt tüketim eğrileri

**Çizelge 4.4.** %50 Gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş Benzin Digiplex Karbüratör isimli eğriye ilişkin olarak test noktalarında gerçekleşen sayısal değerler

Gaz Kelebeği Açıklığı :%50 Yakıt: Benzin - Karbüratör Ateşleme: Digiplex						
n (d/dak)	T (Nm)	P <sub>e</sub> (kW)	b <sub>e</sub> (gr/kWh)	η <sub>e</sub> (%)	λ	η <sub>v</sub> (%)
2000	101,43	21,25	355,73	23,05	0,75	75,00
2500	105,07	27,52	294,36	27,86	0,84	71,58
3000	97,19	30,55	288,74	28,40	0,89	68,85
3500	92,55	33,93	302,35	27,12	0,86	65,89
4000	83,75	35,09	348,77	23,51	0,83	65,87

**Çizelge 4.5.** %50 Gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş LPG Digiplex Karbüratör isimli eğriye ilişkin olarak test noktalarında gerçekleşen sayısal değerler

Gaz Kelebeği Açıklığı :%50 Yakıt: LPG - Karbüratör Ateşleme: Digiplex						
n (d/dak)	T (Nm)	P <sub>e</sub> (kW)	b <sub>e</sub> (gr/kWh)	η <sub>e</sub> (%)	λ	η <sub>v</sub> (%)
2000	92,69	19,42	333,66	23,51	0,74	66,93
2500	97,23	25,47	282,74	27,74	0,75	59,90
3000	91,86	28,87	286,79	27,35	0,80	61,03
3500	87,69	32,15	279,91	28,02	0,81	57,57
4000	82,73	34,67	337,47	23,24	0,81	65,22

**Çizelge 4.6.** %50 Gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş LPG A8 Karbüratör isimli eğriye ilişkin olarak test noktalarında gerçekleşen sayısal değerler

Gaz Kelebeği Açıklığı :%50 Yakıt: LPG - Karbüratör Ateşleme:A8						
n (d/dak)	T (Nm)	P <sub>e</sub> (kW)	b <sub>c</sub> (gr/kWh)	η <sub>e</sub> (%)	λ	η <sub>v</sub> (%)
2000	102,54	21,49	242,95	32,28	0,95	68,57
2500	100,43	26,30	251,42	31,20	0,96	69,72
3000	92,58	29,10	250,79	31,27	0,97	64,82
3500	85,96	31,52	256,98	30,52	0,95	60,24
4000	74,23	31,11	299,16	26,22	0,87	55,35

**Çizelge 4.7.** %50 Gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş LPG A7-A4 Karbüratör isimli eğriye ilişkin olarak test noktalarında gerçekleşen sayısal değerler

Gaz Kelebeği Açıklığı :%50 Yakıt: LPG - Karbüratör Ateşleme: A7-A4						
n (d/dak)	T (Nm)	P <sub>e</sub> (kW)	b <sub>c</sub> (gr/kWh)	η <sub>e</sub> (%)	λ	η <sub>v</sub> (%)
2000	104,93	21,98	241,53	32,47	1,02	74,90
2500	98,51	25,80	261,62	29,98	1,01	75,34
3000	90,53	28,45	253,06	30,99	0,98	64,67
3500	85,69	31,42	272,12	28,82	0,95	63,43
4000	76,30	31,97	273,05	28,72	0,95	57,00

**Çizelge 4.8.** %50 Gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş LPG Digiplex Karbüratör ile Benzin Digiplex Karbüratör isimli eğrilerin karşılaştırılması

Gaz Kelebeği Açıklığı :%50 Yakıt: LPG – Karbüratör Ateşleme:Digiplex Yakıt: Benzin – Karbüratör Ateşleme:Digiplex						
n (d/dak)	P <sub>e</sub> (%)	b <sub>c</sub> (%)	η <sub>e</sub> (%)	λ (%)	η <sub>v</sub> (%)	
2000	-8,61	-6,21	1,97	-1,30	-10,76	
2500	-7,46	-3,95	-0,43	-10,79	-16,32	
3000	-5,48	-0,68	-3,71	-10,38	-11,36	
3500	-5,25	-7,42	3,31	-5,37	-12,63	
4000	-1,21	-3,24	-1,15	-1,53	-0,99	

%50 gaz kelebeği açıklığında Digiplex ateşleme sistemi ile karbüratörlü ve 1. nesil LPG kiti kullanılarak gerçekleştirilen testlerde LPG kullanıldığında efektif verim; benzinli çalışmaya nazaran 2000 ve 3500 d/dak test adımlarında sırasıyla %1,97 ve %3,31 oranlarında daha yüksek çıkmış, 2500, 3000 ve 4000 d/dak motor devirlerinde benzinli çalışmada efektif verim değerleri sırasıyla %0,43, %3,71 ve %1,15 oranlarında daha yüksek çıkmıştır. Efektif güç değerleri tüm test noktalarında %1,21 ile %8,61 arasında değişen oranlarda benzinli kullanımlar lehine gerçekleşmiştir.

**Çizelge 4.9.** %50 Gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş LPG A8 Karbüratör ile LPG Digiplex Karbüratör isimli eğrilerin karşılaştırılması

Gaz Kelebeği Açıklığı :%50 Yakıt: LPG – Karbüratör Ateşleme:A8 Yakıt: LPG – Karbüratör Ateşleme:Digiplex					
n (d/dak)	P <sub>e</sub> (%)	b <sub>e</sub> (%)	η <sub>e</sub> (%)	λ (%)	η <sub>v</sub> (%)
2000	10,63	-27,18	37,33	28,31	2,45
2500	3,29	-11,08	12,46	28,41	16,41
3000	0,78	-12,55	14,36	21,50	6,21
3500	-1,97	-8,19	8,92	17,23	4,64
4000	-10,27	-11,35	12,81	7,52	-15,13

Efektif verimde %8,92 ile %38,14 arasında değişen oranlarda iyileşmelerin ortaya çıktığı test noktalarına ait ateşleme avans değişimleri Çizelge 4.11’de verilmiştir. Öte yandan %13,20’lere varan oranlarda daha yüksek efektif güç değerlerinin elde edildiği test noktalarına ait ateşleme avans değişimleri ise Çizelge 4.12’de sunulmuştur. 3500 ve 4000 d/dak motor devirlerinde en yüksek efektif güç değerleri orijinal ateşleme avans değerlerinin uygulanması ile ortaya çıkmıştır.

**Çizelge 4.10.** %50 Gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş LPG A7-A4 Karbüratör ile LPG Digiplex Karbüratör isimli eğrilerin karşılaştırılması

Gaz Kelebeği Açıklığı :%50 Yakıt: LPG – Karbüratör Ateşleme:A7-A4 Yakıt: LPG – Karbüratör Ateşleme:Digiplex					
n (d/dak)	P <sub>e</sub> (%)	b <sub>e</sub> (%)	η <sub>e</sub> (%)	λ (%)	η <sub>v</sub> (%)
2000	13,20	-27,61	38,14	37,07	11,92
2500	1,32	-7,47	8,07	34,56	25,78
3000	-1,45	-11,76	13,33	21,88	5,96
3500	-2,28	-2,78	2,86	17,11	10,19
4000	-7,78	-19,09	23,59	17,11	-12,59

**Çizelge 4.11.** %50 Gaz kelebeği açıklığında karbüratörlü motorda LPG kullanımları sırasında en yüksek efektif verim değerlerinin olduğu test noktalarına ait ateşleme avans değişimleri

Gaz Kelebeği Açıklığı :%50 Yakıt: LPG – Karbüratör		
n (d/dak)	AAD	Efektif Verimde % İyileşme
2000	A7-A4	38,14
2500	A8	12,46
3000	A8	14,36
3500	A8	8,92
4000	A7-A4	23,59



**Çizelge 4.12.** %50 Gaz kelebeği açıklığında karbüratörlü motorda LPG kullanımları sırasında en yüksek efektif güç değerlerinin olduğu test noktalarına ait ateşleme avans değişimleri

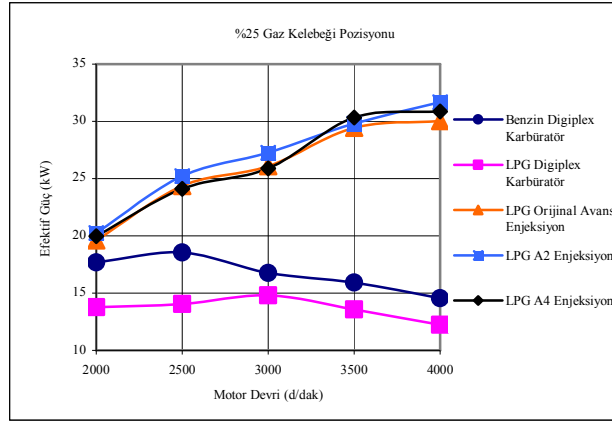
Gaz Kelebeği Açıklığı :%50 Yakıt: LPG – Karbüratör		
n (d/dak)	AAD	Efektif Güçte % Değişim
2000	A7-A4	13,20
2500	A8	3,29
3000	A8	0,78
3500	Orijinal	0,00
4000	Orijinal	0,00

#### 4.4. LPG Enjeksiyon Sisteminin Devreye Alınması

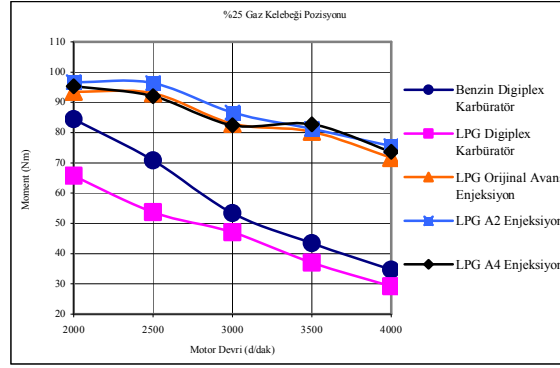
4. ve 5. aşamada, karbüratör sökülüş ve yine tasarımı bu tez kapsamında gerçekleştirilen LPG püskürtme sistemi motora monte edilmiştir. Bu işlem sonrasında testler; tasarlanan ateşleme ve yakıt kontrol üniteleri kullanılarak %25, %50 ve %75 gaz kelebeği açıklıklarında, 2000 d/dak - 4000 d/dak motor devir aralığında gerçekleştirilmiştir. %25 ve %50 gaz kelebeği açıklıklarında yapılan testlere ilişkin sonuçların sunulması sırasında Digiplex ateşleme sistemine sahip karbüratörlü motorun benzinle ve LPG ile çalıştığı durumda elde edilen değerlerden de faydalanılmış ancak %75 gaz kelebeği pozisyonunda karbüratörlü sistemle benzin ve LPG kullanarak herhangi bir deney yapılmadığından sadece LPG’li püskürtme sistemi ile elde edilen veriler sunulmuştur.

##### 4.4.1. %25 Gaz kelebeği açıklığında gerçekleştirilen testler

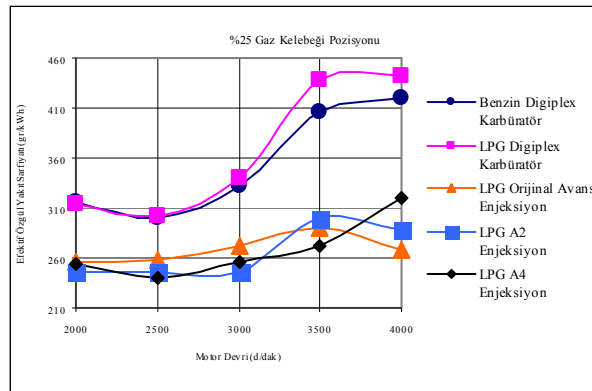
%25 gaz kelebeği açıklığında, ateşleme avans değerlerinin değiştirilmesi ve LPG’ nin emme manifolduna püskürtülmesiyle gerçekleştirilen testlerde moment, efektif güç, yakıt tüketimi ve hava fazlalık katsayısı değerleri ölçülerek efektif özgül yakıt tüketimi, efektif ve hacimsel verim ifadeleri hesaplanmıştır. Deneyler sırasında elde edilen efektif güç, moment ve efektif özgül yakıt sarfiyatı değerlerine ait eğriler Şekil 4.7 - 4.9’da, bu eğrilere ilave olarak sadece enjeksiyonlu testlerde ölçümü gerçekleştirilen emisyon değerlerine ilişkin eğriler ise Şekil 4.10 - 4.11’de verilmiştir. Gerçekleştirilen testlerde elde edilen tüm değerler Çizelge 4.13 - 4.15’de ve söz konusu testlerin mukayeseli karşılaştırmaları ise Çizelge 4.16 - 4.18’de sunulmuştur.



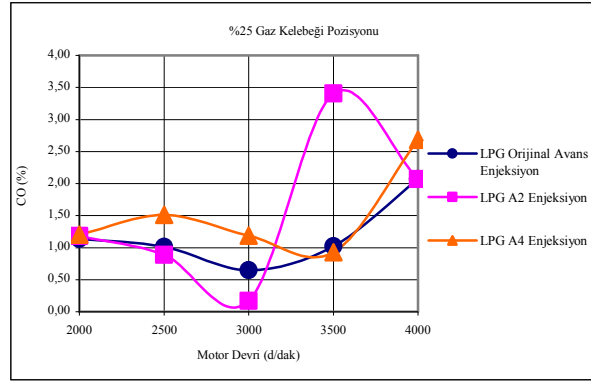
**Şekil 4.7.** %25 gaz kelebeği açıklığında karbüratörlü ve tasarlanan LPG enjeksiyon kontrol ünitesinin entegre edildiği motorda Digiplex ve tasarlanan ateşleme kontrol ünitesinin kullanıldığı testlerde benzin ve LPG yakıtları ile elde edilen efektif güç eğrileri



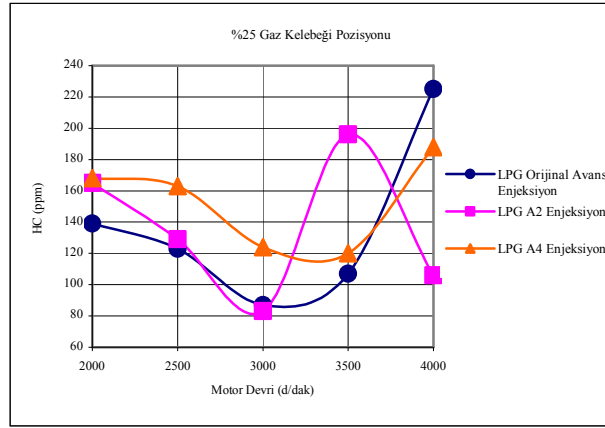
**Şekil 4.8.** %25 gaz kelebeği açıklığında karbüratörlü ve tasarlanan LPG enjeksiyon kontrol ünitesinin entegre edildiği motorda Digiplex ve tasarlanan ateşleme kontrol ünitesinin kullanıldığı testlerde benzin ve LPG yakıtları ile elde edilen moment eğrileri



**Şekil 4.9.** %25 gaz kelebeği açıklığında karbüratörlü ve tasarlanan LPG enjeksiyon kontrol ünitesinin entegre edildiği motorda Digiplex ve tasarlanan ateşleme kontrol ünitesinin kullanıldığı testlerde benzin ve LPG yakıtları ile elde edilen efektif özgül yakıt tüketim eğrileri



**Şekil 4.10.** %25 gaz kelebeği açıklığında tasarlanan LPG enjeksiyon ve ateşleme kontrol ünitelerinin kullanıldığı motorda LPG yakıtı ile elde edilen CO emisyon eğrileri



**Şekil 4.11.** %25 gaz kelebeği açıklığında tasarlanan LPG enjeksiyon ve ateşleme kontrol ünitelerinin kullanıldığı motorda LPG yakıtı ile elde edilen HC emisyon eğrileri

**Çizelge 4.13.** %25 gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş LPG Orijinal Avans Enjeksiyon isimli eğriye ilişkin olarak test noktalarında gerçekleşen sayısal değerler

Gaz Kelebeği Açıklığı :%25 Yakıt: LPG – Enjeksiyon Ateşleme:Orijinal								
n (d/dak)	T (Nm)	P <sub>e</sub> (kW)	b <sub>e</sub> (gr/kWh)	η <sub>e</sub> (%)	λ	η <sub>v</sub> (%)	CO (%)	HC (ppm)
2000	93,56	19,60	255,78	30,66	0,98	67,38	1,14	139
2500	92,99	24,35	258,68	30,32	0,98	67,65	1,01	123
3000	83,00	26,08	271,10	28,93	1,01	65,07	0,65	87
3500	80,29	29,44	290,96	26,96	1,00	66,68	1,02	107
4000	71,64	30,02	267,82	29,29	0,95	65,42	2,07	225

**Çizelge 4.14.** %25 gaz keleşi açıklığında elde edilmiş LPG A2 Enjeksiyon isimli eğriye ilişkin olarak test noktalarında gerçekleşen sayısal değerler

Gaz Keleşi Açıklığı :%25 Yakıt: LPG – Enjeksiyon Ateşleme:A2								
n (d/dak)	T (Nm)	P <sub>e</sub> (kW)	b <sub>e</sub> (gr/kWh)	η <sub>e</sub> (%)	λ	η <sub>v</sub> (%)	CO (%)	HC (ppm)
2000	96,64	20,25	245,22	31,98	0,99	66,46	1,18	165
2500	96,33	25,23	246,43	31,83	1,01	68,35	0,89	129
3000	86,70	27,25	245,33	31,97	1,10	67,32	0,17	83
3500	81,32	29,82	300,22	26,13	0,91	63,79	3,41	196
4000	75,57	31,67	288,00	27,23	0,98	61,68	2,07	106

**Çizelge 4.15.** %25 gaz keleşi açıklığında elde edilmiş LPG A4 Enjeksiyon isimli eğriye ilişkin olarak test noktalarında gerçekleşen sayısal değerler

Gaz Keleşi Açıklığı :%25 Yakıt: LPG – Enjeksiyon Ateşleme:A4								
n (d/dak)	T (Nm)	P <sub>e</sub> (kW)	b <sub>e</sub> (gr/kWh)	η <sub>e</sub> (%)	λ	η <sub>v</sub> (%)	CO (%)	HC (ppm)
2000	95,36	19,98	254,74	30,79	0,99	68,39	1,20	168
2500	91,99	24,09	240,14	32,66	0,96	60,80	1,51	163
3000	82,40	25,90	255,60	30,69	0,98	59,02	1,19	124
3500	82,73	30,33	272,28	28,81	1,00	64,48	0,93	120
4000	73,64	30,86	319,72	24,53	0,92	61,76	2,68	188

**Çizelge 4.16.** %25 gaz keleşi açıklığında elde edilmiş LPG Orijinal Avans Enjeksiyon ile LPG Digiplex Karbüratör isimli eğrilerin karşılaştırılması

Gaz Keleşi Açıklığı :%25 Yakıt: LPG – Enjeksiyon Ateşleme:Orijinal Yakıt: LPG – Karbüratör Ateşleme:Digiplex					
n (d/dak)	P <sub>e</sub> (%)	b <sub>e</sub> (%)	η <sub>e</sub> (%)	λ (%)	η <sub>v</sub> (%)
2000	42,22	-18,39	22,53	19,04	36,77
2500	73,17	-14,36	16,77	18,23	73,53
3000	76,36	-20,44	25,69	21,60	68,93
3500	116,66	-33,44	50,25	19,55	71,81
4000	145,20	-39,28	64,68	16,31	115,57

**Çizelge 4.17.** %25 gaz keleşi açıklığında elde edilmiş LPG A2 Enjeksiyon ile LPG Digiplex Karbüratör isimli eğrilerin karşılaştırılması

Gaz Keleşi Açıklığı :%25 Yakıt: LPG – Enjeksiyon Ateşleme:A2 Yakıt: LPG – Karbüratör Ateşleme:Digiplex					
n (d/dak)	P <sub>e</sub> (%)	b <sub>e</sub> (%)	η <sub>e</sub> (%)	λ (%)	η <sub>v</sub> (%)
2000	46,90	-21,76	27,80	19,40	34,91
2500	79,39	-18,42	22,57	21,24	75,31
3000	84,24	-28,00	38,90	32,53	74,79
3500	119,43	-31,33	45,61	8,98	64,37
4000	158,64	-34,70	53,14	19,85	103,24

**Çizelge 4.18.** %25 gaz keleşi açıklığında elde edilmiş LPG A4 Enjeksiyon ile LPG Digiplex Karbüratör isimli eğrilerin karşılaştırılması

Gaz Keleşi Açıklığı :%25 Yakıt: LPG – Enjeksiyon Ateşleme:A4 Yakıt: LPG – Karbüratör Ateşleme:Digiplex					
n (d/dak)	P <sub>e</sub> (%)	b <sub>e</sub> (%)	η <sub>e</sub> (%)	λ (%)	η <sub>v</sub> (%)
2000	44,95	-18,72	23,03	19,28	38,83
2500	71,31	-20,49	25,78	15,83	55,95
3000	75,09	-24,99	33,32	17,51	53,23
3500	123,23	-37,72	60,56	20,64	66,14
4000	152,05	-27,51	37,95	11,67	103,52

Karbüratörlü ve Digiplex ateşleme kontrol sisteminin kullanıldığı LPG’li çalışmalara nazaran tasarlanan enjeksiyon ve ateşleme kontrol ünitelerinin kullanılmalarıyla gerçekleştirilen testlerde; efektif verimde %25,78 ile %64,68 arasında değişen oranlarda iyileşmelerin ortaya çıktığı test noktalarına ait ateşleme avans değişimleri Çizelge 4.19’da verilmiştir. 4000 d/dak motor devrinde en yüksek efektif verim orijinal ateşleme avans değerinin kullanılmasıyla elde edilmiştir. Öte yandan %46,90 ile %158,64 arasında değişen oranlarda daha yüksek efektif güç değerlerinin elde edildiği test noktalarına ait ateşleme avans değişimleri ise Çizelge 4.20’de sunulmuştur.

**Çizelge 4.19.** %25 Gaz keleşi açıklığında karbüratörlü kullanımlara nazaran enjeksiyonlu LPG kullanımları için en yüksek efektif verim değerlerinin oluştuğu test noktalarına ait ateşleme avans değişimleri

Gaz Keleşi Açıklığı :%25 Yakıt: LPG – Enjeksiyon Yakıt:LPG – Karbüratör Ateşleme: Digiplex		
n (d/dak)	AAD	Efektif Verimde % İyileşme
2000	A2	27,80
2500	A4	25,78
3000	A2	38,90
3500	A4	60,56
4000	Orijinal	64,68

LPG’nin emme manifolduna püskürtüldüğü, 2 ve 4 derece farklı ateşleme avans haritalarının kullanıldığı testlerin, orijinal ateşleme avanslarının kullanıldığı testlere nazaran yapılan mukayeseli sonuçlar ise Çizelge 4.21 ve 4.22’de verilmiştir.

**Çizelge 4.20.** %25 Gaz kelebeği açıklığında karbüratörlü kullanımlara nazaran enjeksiyonlu LPG kullanımları için en iyi efektif güç değerlerinin olduğu optimum avans değişimleri

Gaz Kelebeği Açıklığı :%25 Yakıt: LPG – Enjeksiyon Yakıt:LPG – Karbüratör Ateşleme: Digiplex		
n (d/dak)	AAD	Efektif Güçte % İyileşme
2000	A2	46,90
2500	A2	79,39
3000	A2	84,24
3500	A4	123,23
4000	A2	158,64

**Çizelge 4.21.** %25 gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş LPG A2 Enjeksiyon ile LPG Orijinal Avans Enjeksiyon isimli eğrilerin karşılaştırılması

Gaz Kelebeği Açıklığı :%25 Yakıt: LPG – Enjeksiyon Ateşleme:A2 Yakıt: LPG – Enjeksiyon Ateşleme:Orijinal							
n (d/dak)	P <sub>e</sub> (%)	b <sub>e</sub> (%)	η <sub>e</sub> (%)	λ (%)	η <sub>v</sub> (%)	CO (%)	HC (%)
2000	3,29	-4,13	4,31	0,31	-1,36	4,13	18,71
2500	3,59	-4,74	4,97	2,54	1,03	-12,33	4,88
3000	4,47	-9,51	10,50	8,99	3,46	-73,99	-4,60
3500	1,28	3,18	-3,08	-8,84	-4,33	234,12	83,18
4000	5,48	7,54	-7,01	3,04	-5,72	-0,05	-52,89

**Çizelge 4.22.** %25 gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş LPG A4 Enjeksiyon ile LPG Orijinal Avans Enjeksiyon isimli eğrilerin karşılaştırılması

Gaz Kelebeği Açıklığı :%25 Yakıt: LPG – Enjeksiyon Ateşleme:A4 Yakıt: LPG – Enjeksiyon Ateşleme:Orijinal							
n (d/dak)	P <sub>e</sub> (%)	b <sub>e</sub> (%)	η <sub>e</sub> (%)	λ (%)	η <sub>v</sub> (%)	CO (%)	HC (%)
2000	1,92	-0,41	0,41	0,20	1,50	5,89	20,86
2500	-1,07	-7,17	7,72	-2,03	-10,13	48,92	32,52
3000	-0,72	-5,72	6,06	-3,36	-9,29	83,44	42,53
3500	3,03	-6,42	6,86	0,00	-3,30	-9,02	12,15
4000	2,80	19,38	-16,23	-3,99	-5,59	29,54	-16,44

LPG'nin emme manifolduna püskürtülmesi ile gerçekleştirilen testlerde elde edilen sonuçlar incelendiğinde orijinal ateşleme avanslarının kullanıldığı testlere nazaran 2 ve 4 derece artırılmış ateşleme avanslarında gerçekleştirilen testler sırasında; %4,31 ile %10,50 arasında değişen oranlarda daha yüksek efektif verim değerlerinin elde edildiği test noktalarına ait ateşleme avans değişimleri Çizelge 4.23'de sunulmuştur. 4000 d/dak motor devrinde en iyi efektif verim değeri orijinal ateşleme avansının kullanıldığı

durumda elde edilmiştir. Öte yandan %3,03 ile %5,48 arasında değişen oranlarda daha yüksek efektif güç değerlerinin elde edildiği test noktalarına ait ateşleme avans değişimleri ise Çizelge 4.24’de verilmiştir. Yapılan tüm testler emisyonlar açısından incelendiğinde; CO emisyonlarının %0,17 ile %3,41 aralığında ve HC emisyonlarının 83 ppm ile 225 ppm değerleri arasında gerçekleştiği görülmüştür. Öte yandan en iyi emisyonların baz alındığı bir ateşleme avans optimizasyonu yapılması durumunda; CO emisyonlarının %0,17 - %2,07 aralığında ve HC emisyonlarının ise 83 ppm–139 ppm değerleri arasında gerçekleşmesinin mümkün olduğu görülmektedir.

**Çizelge 4.23.** %25 Gaz kelebeği açıklığında enjeksiyonlu LPG kullanımları sırasında en iyi efektif verim değerlerinin olduğu test noktalarına ait ateşleme avans değişimleri

Gaz Kelebeği Açıklığı :%25 Yakıt: LPG – Enjeksiyon Yakıt: LPG – Enjeksiyon Ateşleme:Orijinal		
n (d/dak)	AAD	Efektif Verimde % İyileşme
2000	A2	4,31
2500	A4	7,72
3000	A2	10,50
3500	A4	6,86
4000	Orijinal	0

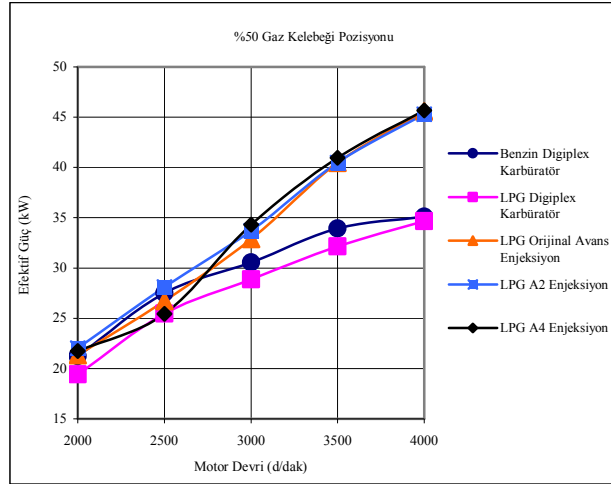
**Çizelge 4.24.** %25 Gaz kelebeği açıklığında enjeksiyonlu LPG kullanımları sırasında en iyi efektif güç değerlerinin olduğu test noktalarına ait ateşleme avans değişimleri

Gaz Kelebeği Açıklığı :%25 Yakıt: LPG – Enjeksiyon Yakıt: LPG – Enjeksiyon Ateşleme:Orijinal		
n (d/dak)	AAD	Efektif Güçte % İyileşme
2000	A2	3,29
2500	A2	3,59
3000	A2	4,47
3500	A4	3,03
4000	A2	5,48

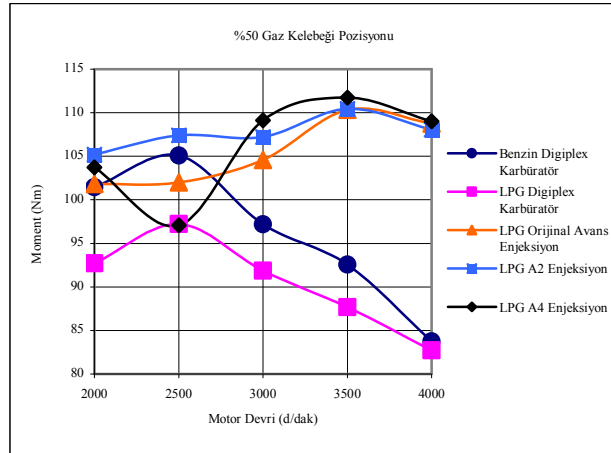
#### 4.4.2. %50 Gaz kelebeği açıklığında gerçekleştirilen testler

%50 gaz kelebeği açıklığında, ateşleme avans değerlerinin değiştirilmesi ve LPG’ nin emme manifolduna püskürtülmesiyle gerçekleştirilen testlerde moment, efektif güç, yakıt tüketimi ve hava fazlalık katsayısı değerleri ölçülerek efektif özgül yakıt tüketimi, efektif ve hacimsel verim ifadeleri hesaplanmıştır. Deneyler sırasında elde edilen efektif güç, moment ve efektif özgül yakıt sarfiyatı değerlerine ait eğriler Şekil 4.12 - 4.14’te

bu eğrilere ilave olarak sadece enjeksiyonlu testlerde ölçümü gerçekleştirilen emisyon değerlerine ilişkin eğriler ise Şekil 4.15 - 4.16'da verilmiştir. Gerçekleştirilen testlerde elde edilen tüm değerler Çizelge 4.25 - 4.27'de ve söz konusu testlerin mukayeseli karşılaştırmaları ise Çizelge 4.28 - 4.30'da sunulmuştur.

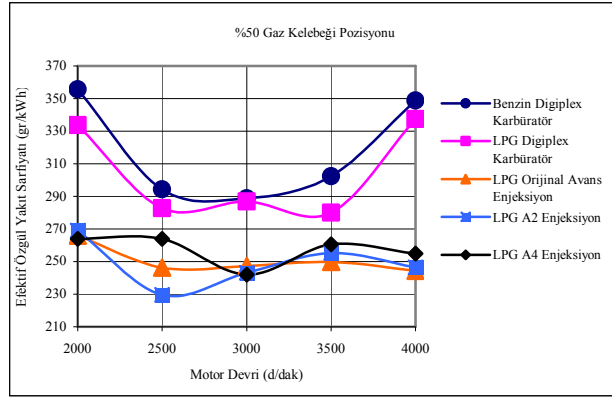


**Şekil 4.12.** %50 gaz kelebeği açıklığında karbüratörlü ve tasarlanan LPG enjeksiyon kontrol ünitesinin entegre edildiği motorda Digiplex ve tasarlanan ateşleme kontrol ünitesinin kullanıldığı testlerde benzin ve LPG yakıtları ile elde edilen efektif güç eğrileri

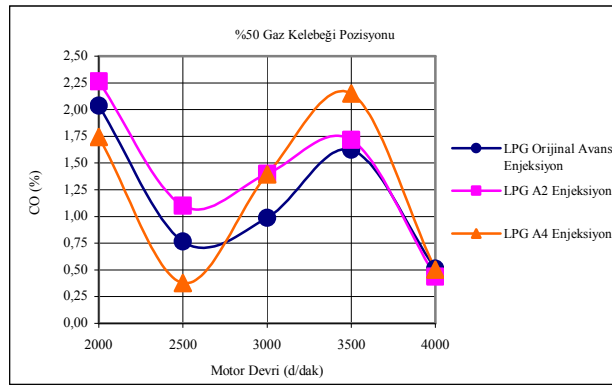


**Şekil 4.13.** %50 gaz kelebeği açıklığında karbüratörlü ve tasarlanan LPG enjeksiyon kontrol ünitesinin entegre edildiği motorda Digiplex ve tasarlanan ateşleme kontrol ünitesinin kullanıldığı testlerde benzin ve LPG yakıtları ile elde edilen moment eğrileri

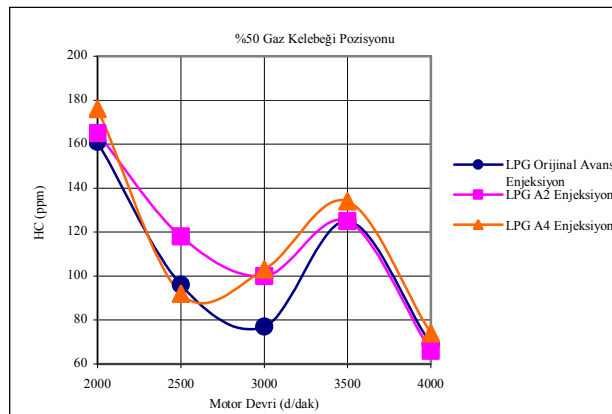




**Şekil 4.14.** %50 gaz kelebeği açıklığında karbüratörlü ve tasarlanan LPG enjeksiyon kontrol ünitesinin entegre edildiği motorda Digiplex ve tasarlanan ateşleme kontrol ünitesinin kullanıldığı testlerde benzin ve LPG yakıtları ile elde edilen efektif özgül yakıt tüketim eğrileri



**Şekil 4.15.** %50 gaz kelebeği açıklığında tasarlanan LPG enjeksiyon ve ateşleme kontrol ünitelerinin kullanıldığı motorda LPG yakıtı ile elde edilen CO emisyon eğrileri



**Şekil 4.16.** %50 gaz kelebeği açıklığında tasarlanan LPG enjeksiyon ve ateşleme kontrol ünitelerinin kullanıldığı motorda LPG yakıtı ile elde edilen HC emisyon eğrileri

**Çizelge 4.25.** %50 gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş LPG Orijinal Avans Enjeksiyon isimli eğriye ilişkin olarak test noktalarında gerçekleşen sayısal değerler

Gaz Kelebeği Açıklığı :%50 Yakıt: LPG – Enjeksiyon Ateşleme:Orijinal								
n (d/dak)	T (Nm)	P <sub>e</sub> (kW)	b <sub>e</sub> (gr/kWh)	η <sub>e</sub> (%)	λ	η <sub>v</sub> (%)	CO (%)	HC (ppm)
2000	101,80	21,33	265,96	29,49	0,95	74,15	2,04	161
2500	102,01	26,72	246,25	31,85	1,02	73,88	0,77	96
3000	104,58	32,87	247,32	31,71	1,00	74,69	0,99	77
3500	110,33	40,46	249,74	31,41	0,96	76,35	1,62	125
4000	108,76	45,57	244,38	32,09	1,03	79,06	0,51	69

**Çizelge 4.26.** %50 gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş LPG A2 Enjeksiyon isimli eğriye ilişkin olarak test noktalarında gerçekleşen sayısal değerler

Gaz Kelebeği Açıklığı :%50 Yakıt: LPG – Enjeksiyon Ateşleme:A2								
n (d/dak)	T (Nm)	P <sub>e</sub> (kW)	b <sub>e</sub> (gr/kWh)	η <sub>e</sub> (%)	λ	η <sub>v</sub> (%)	CO (%)	HC (ppm)
2000	105,19	22,04	269,03	29,15	0,94	76,37	2,26	165
2500	107,38	28,12	229,53	34,17	0,99	70,32	1,10	118
3000	107,22	33,70	243,15	32,26	0,97	73,09	1,40	100
3500	110,45	40,50	255,20	30,73	0,96	77,86	1,72	125
4000	108,07	45,29	246,43	31,83	1,04	79,45	0,44	66

**Çizelge 4.27.** %50 gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş LPG A4 Enjeksiyon isimli eğriye ilişkin olarak test noktalarında gerçekleşen sayısal değerler

Gaz Kelebeği Açıklığı :%50 Yakıt: LPG – Enjeksiyon Ateşleme:A4								
n (d/dak)	T (Nm)	P <sub>e</sub> (kW)	b <sub>e</sub> (gr/kWh)	η <sub>e</sub> (%)	λ	η <sub>v</sub> (%)	CO (%)	HC (ppm)
2000	103,74	21,74	263,96	29,71	0,96	76,43	1,74	176
2500	97,07	25,42	263,91	29,72	1,07	79,44	0,38	92
3000	109,14	34,30	241,98	32,41	0,97	74,44	1,39	103
3500	111,74	40,97	260,56	30,10	0,94	79,50	2,15	134
4000	109,00	45,68	254,83	30,78	1,03	82,71	0,50	74

**Çizelge 4.28.** %50 gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş LPG Orijinal Avans Enjeksiyon ile LPG Digiplex Karbüratör isimli eğrilerin karşılaştırılması

Gaz Kelebeği Açıklığı :%50 Yakıt: LPG – Enjeksiyon Ateşleme:Orijinal Yakıt: LPG – Karbüratör Ateşleme:Digiplex					
n (d/dak)	P <sub>e</sub> (%)	b <sub>e</sub> (%)	η <sub>e</sub> (%)	λ (%)	η <sub>v</sub> (%)
2000	9,82	-20,29	25,45	27,91	10,79
2500	4,92	-12,90	14,82	35,89	23,35
3000	13,84	-13,76	15,96	24,75	22,38
3500	25,82	-10,78	12,08	18,22	32,62
4000	31,45	-27,58	38,09	26,71	21,22

**Çizelge 4.29.** %50 gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş LPG A2 Enjeksiyon ile LPG Digiplex Karbüratör isimli eğrilerin karşılaştırılması

Gaz Kelebeği Açıklığı :%50 Yakıt: LPG – Enjeksiyon Ateşleme:A2 Yakıt: LPG – Karbüratör Ateşleme:Digiplex					
n (d/dak)	P <sub>e</sub> (%)	b <sub>e</sub> (%)	η <sub>e</sub> (%)	λ (%)	η <sub>v</sub> (%)
2000	13,48	-19,37	24,02	26,43	14,11
2500	10,44	-18,82	23,18	32,55	17,40
3000	16,71	-15,22	17,95	21,63	19,75
3500	25,95	-8,83	9,68	17,97	35,25
4000	30,62	-26,98	36,94	27,57	21,82

Karbüratörlü ve Digiplex ateşleme kontrol sisteminin kullanıldığı LPG’li çalışmalara nazaran tasarlanan enjeksiyon ve ateşleme kontrol ünitelerinin kullanılmalarıyla gerçekleştirilen testlerde; %12,08 ile %38,09 arasında değişen oranlarda daha yüksek efektif verim değerlerinin elde edildiği test noktalarına ait ateşleme avans değişimleri Çizelge 4.31’de verilmiştir. 3500 ve 4000 d/dak motor devirlerinde en iyi efektif verim değerleri orijinal ateşleme avanslarının kullanılmasıyla elde edilmiştir. Öte yandan %10,44 ile %31,75 arasında değişen oranlarda daha yüksek efektif güç değerlerinin elde edildiği test noktalarına ait ateşleme avans değişimleri ise Çizelge 4.32’de verilmiştir

**Çizelge 4.30.** %50 gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş LPG A4 Enjeksiyon ile LPG Digiplex Karbüratör isimli eğrilerin karşılaştırılması

Gaz Kelebeği Açıklığı :%50 Yakıt: LPG – Enjeksiyon Ateşleme:A4 Yakıt: LPG – Karbüratör Ateşleme:Digiplex					
n (d/dak)	P <sub>e</sub> (%)	b <sub>e</sub> (%)	η <sub>e</sub> (%)	λ (%)	η <sub>v</sub> (%)
2000	11,92	-20,89	26,40	29,93	14,20
2500	-0,17	-6,66	7,14	43,51	32,63
3000	18,80	-15,62	18,52	21,75	21,97
3500	27,43	-6,91	7,43	15,88	38,10
4000	31,75	-24,49	32,43	26,46	26,82

**Çizelge 4.31.** %50 Gaz kelebeği açıklığında karbüratörlü kullanımlara nazaran enjeksiyonlu LPG kullanımları için en iyi efektif verim değerlerinin olduğu optimum avans değişimleri

Gaz Kelebeği Açıklığı :%50 Yakıt: LPG – Enjeksiyon Yakıt:LPG – Karbüratör Ateşleme: Digiplex		
n (d/dak)	AAD	Efektif Verimde % İyileşme
2000	A4	26,40
2500	A2	23,18
3000	A4	18,52
3500	Orijinal	12,08
4000	Orijinal	38,09

**Çizelge 4.32.** %50 Gaz kelebeği açıklığında karbüratörlü kullanımlara nazaran enjeksiyonlu LPG kullanımları için en iyi efektif güç değerlerinin olduğu optimum avans değişimleri

Gaz Kelebeği Açıklığı :%50 Yakıt: LPG – Enjeksiyon Yakıt:LPG – Karbüratör Ateşleme: Digiplex		
n (d/dak)	AAD	Efektif Güçte % İyileşme
2000	A2	13,48
2500	A2	10,44
3000	A4	18,80
3500	A4	27,43
4000	A4	31,75

LPG'nin emme manifolduna püskürtüldüğü, 2 ve 4 derece farklı ateşleme avans haritalarının kullanıldığı testlerin, orijinal ateşleme avanslarının kullanıldığı testlere nazaran yapılan mukayeseli sonuçlar ise Çizelge 4.33 ve 4.34'de verilmiştir.

**Çizelge 4.33.** %50 gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş LPG A2 Enjeksiyon ile LPG Orijinal Avans Enjeksiyon isimli eğrilerin karşılaştırılması

Gaz Kelebeği Açıklığı :%50 Yakıt: LPG – Enjeksiyon Ateşleme:A2 Yakıt: LPG – Enjeksiyon Ateşleme:Orijinal							
n (d/dak)	P <sub>c</sub> (%)	b <sub>c</sub> (%)	η <sub>c</sub> (%)	λ (%)	η <sub>v</sub> (%)	CO (%)	HC (%)
2000	3,33	1,15	-1,14	-1,16	3,00	11,15	2,48
2500	5,26	-6,79	7,29	-2,46	-4,83	43,60	22,92
3000	2,52	-1,69	1,72	-2,51	-2,15	41,84	29,87
3500	0,11	2,19	-2,14	-0,21	1,98	5,67	0,00
4000	-0,63	0,84	-0,83	0,68	0,49	-14,12	-4,35

**Çizelge 4.34.** %50 gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş LPG A4 Enjeksiyon ile LPG Orijinal Avans Enjeksiyon isimli eğrilerin karşılaştırılması

Gaz Kelebeği Açıklığı :%50 Yakıt: LPG – Enjeksiyon Ateşleme:A4 Yakıt: LPG – Enjeksiyon Ateşleme:Orijinal							
n (d/dak)	P <sub>c</sub> (%)	b <sub>c</sub> (%)	η <sub>e</sub> (%)	λ (%)	η <sub>v</sub> (%)	CO (%)	HC (%)
2000	1,91	-0,75	0,76	1,58	3,07	-14,44	9,32
2500	-4,85	7,17	-6,69	5,60	7,53	-50,65	-4,17
3000	4,36	-2,16	2,21	-2,40	-0,33	41,13	33,77
3500	1,28	4,33	-4,15	-1,98	4,13	32,39	7,20
4000	0,23	4,28	-4,10	-0,19	4,62	-1,37	7,25

LPG'nin emme manifolduna püskürtülmesi ile gerçekleştirilen testlerde elde edilen sonuçlar incelendiğinde orijinal ateşleme avanslarının kullanıldığı testlere nazaran 2 ve 4 derece artırılmış ateşleme avanslarında gerçekleştirilen testler sırasında; efektif verimde %7,29'lara varan iyileşmelerin gözlemlendiği test noktalarına ait ateşleme avans değişimleri Çizelge 4.35'de sunulmuştur. 3500 ve 4000 d/dak motor devirlerinde gerçekleştirilen testlerde en yüksek efektif verim, orijinal ateşleme avans değerlerinin kullanılmasıyla elde edilmiştir. Efektif güçte %0,23 ile %5,26 arasında değişen oranlarda daha yüksek iyileşmelerin elde edildiği test noktalarına ait ateşleme avans değişimleri Çizelge 4.36'da verilmiştir. Yapılan tüm testler emisyonlar açısından incelendiğinde; CO emisyonlarının % 0,38 - % 2,26 aralığında ve HC emisyonlarının 66 ppm - 176 ppm değerleri arasında gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Öte yandan en iyi emisyonların baz alındığı bir ateşleme avans optimizasyonu yapılması durumunda; CO emisyonlarının % 0,38 - % 1,74 aralığında ve HC emisyonlarının ise 66 ppm – 161 ppm değerleri arasında gerçekleşmesinin mümkün olduğu görülmektedir.

**Çizelge 4.35.** %50 Gaz kelebeği açıklığında enjeksiyonlu LPG kullanımları sırasında en iyi efektif verim değerlerinin elde edildiği test noktalarına ait ateşleme avans değişimleri

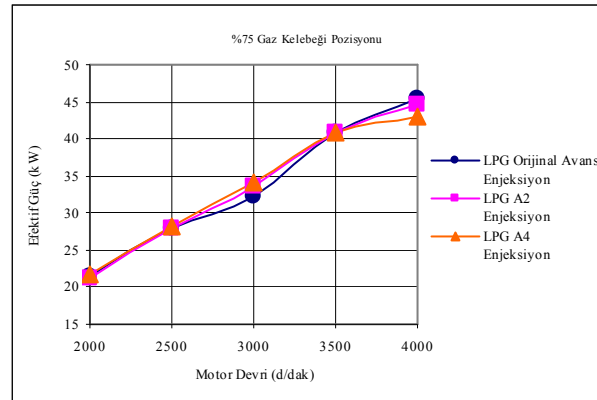
Gaz Kelebeği Açıklığı :%50 Yakıt: LPG – Enjeksiyon Yakıt: LPG – Enjeksiyon Ateşleme:Orijinal		
n (d/dak)	AAD	Efektif Verimde % İyileşme
2000	A4	0,76
2500	A2	7,29
3000	A4	2,21
3500	Orijinal	0,00
4000	Orijinal	0,00

**Çizelge 4.36.** %50 Gaz kelebeği açıklığında enjeksiyonlu LPG kullanımları sırasında en iyi efektif güç değerlerinin elde edildiği test noktalarına ait ateşleme avans değerleri

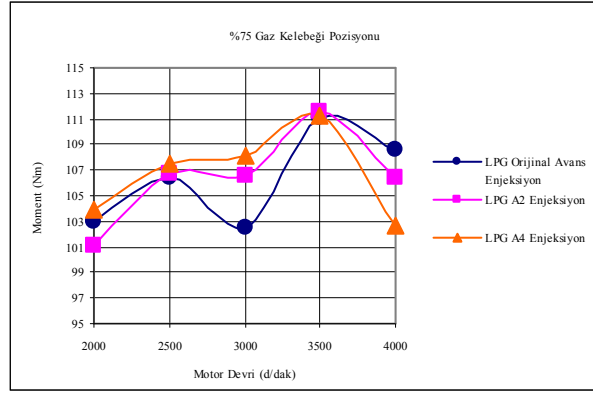
Gaz Kelebeği Açıklığı :%50 Yakıt: LPG – Enjeksiyon Yakıt: LPG – Enjeksiyon Ateşleme:Orijinal		
n (d/dak)	AAD	Efektif Güçte % İyileşme
2000	A2	3,33
2500	A2	5,26
3000	A4	4,36
3500	A4	1,28
4000	A4	0,23

#### 4.4.3. %75 Gaz kelebeği açıklığında gerçekleştirilen testler

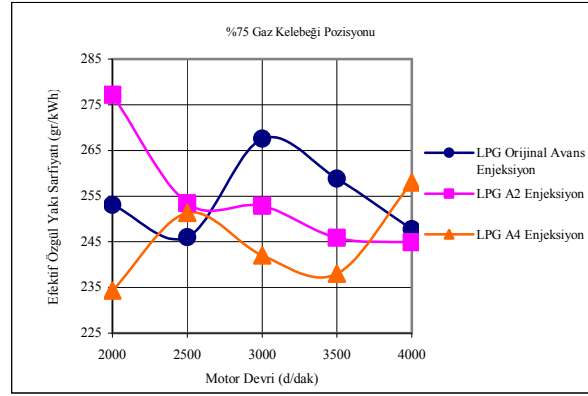
%75 gaz kelebeği açıklığında, ateşleme avans değerlerinin değiştirilmesi ve LPG' nin emme manifolduna püskürtülmesiyle gerçekleştirilen testlerde moment, efektif güç, yakıt tüketimi ve hava fazlalık katsayısı değerleri ölçülerek efektif özgül yakıt tüketimi, efektif ve hacimsel verim ifadeleri hesaplanmıştır. Deneyler sırasında elde edilen efektif güç, moment ve efektif özgül yakıt sarfiyatı değerlerine ait eğriler Şekil 4.17 - 4.19'da bu eğrilere ilave olarak sadece enjeksiyonlu testlerde ölçümü gerçekleştirilen emisyon değerlerine ilişkin eğriler ise Şekil 4.20 - 4.21'de verilmiştir. Gerçekleştirilen testlerde elde edilen tüm değerler Çizelge 4.37 - 4.39'da sunulmuştur.



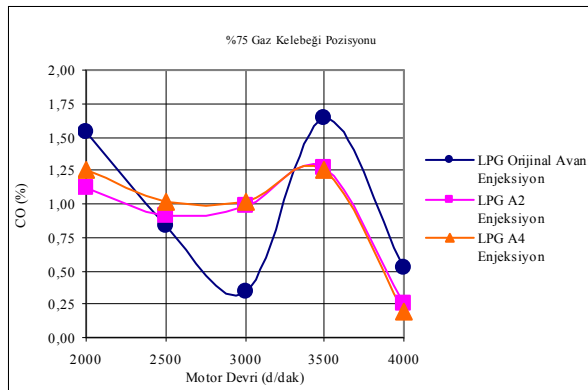
**Şekil 4.17.** %75 gaz kelebeği açıklığında tasarlanan LPG enjeksiyon ve ateşleme kontrol ünitelerinin kullanıldığı motorda gerçekleştirilen testlerde LPG yakıtı ile elde edilen efektif güç eğrileri



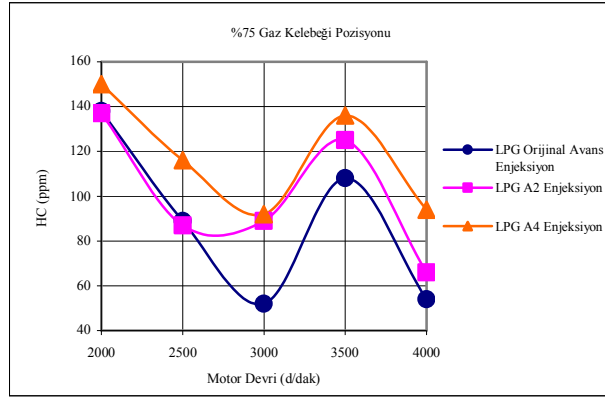
**Şekil 4.18.** %75 gaz kelebeği açıklığında tasarlanan LPG enjeksiyon ve ateşleme kontrol ünitelerinin kullanıldığı motorda gerçekleştirilen testlerde LPG yakıtı ile elde edilen moment eğrileri



**Şekil 4.19.** %75 gaz kelebeği açıklığında tasarlanan LPG enjeksiyon ve ateşleme kontrol ünitelerinin kullanıldığı motorda gerçekleştirilen testlerde LPG yakıtı ile elde edilen efektif özgül yakıt tüketim eğrileri



**Şekil 4.20.** %75 gaz kelebeği açıklığında tasarlanan LPG enjeksiyon ve ateşleme kontrol ünitelerinin kullanıldığı motorda LPG yakıtı ile elde edilen CO emisyon eğrileri



**Şekil 4.21.** %75 gaz kelebeği açıklığında tasarlanan LPG enjeksiyon ve ateşleme kontrol ünitelerinin kullanıldığı motorda LPG yakıtı ile elde edilen HC emisyon eğrileri

**Çizelge 4.37.** %75 gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş LPG Orijinal Avans Enjeksiyon isimli eğriye ilişkin olarak test noktalarında gerçekleşen sayısal değerler

Gaz Kelebeği Açıklığı :%75 Yakıt: LPG – Enjeksiyon Ateşleme:Orijinal								
n (d/dak)	T (Nm)	P <sub>e</sub> (kW)	b <sub>e</sub> (gr/kWh)	η <sub>e</sub> (%)	λ	η <sub>v</sub> (%)	CO (%)	HC (ppm)
2000	102,93	21,57	253,09	30,99	0,97	72,60	1,54	138
2500	106,35	27,85	245,99	31,88	1,01	76,31	0,84	89
3000	102,48	32,21	267,58	29,31	1,06	83,14	0,34	52
3500	111,10	40,74	258,81	30,30	0,96	79,41	1,64	108
4000	108,66	45,53	247,73	31,66	1,03	79,47	0,53	54

**Çizelge 4.38.** %75 gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş LPG A2 Enjeksiyon isimli eğriye ilişkin olarak test noktalarında gerçekleşen sayısal değerler

Gaz Kelebeği Açıklığı :%75 Yakıt: LPG – Enjeksiyon Ateşleme:A2								
n (d/dak)	T (Nm)	P <sub>e</sub> (kW)	b <sub>e</sub> (gr/kWh)	η <sub>e</sub> (%)	λ	η <sub>v</sub> (%)	CO (%)	HC (ppm)
2000	101,02	21,17	277,18	28,30	0,99	79,78	1,12	137
2500	106,66	27,93	253,45	30,95	1,00	77,85	0,90	87
3000	106,50	33,47	252,90	31,01	0,99	77,32	0,99	89
3500	111,55	40,90	245,83	31,90	0,98	77,46	1,26	125
4000	106,40	44,59	244,91	32,02	1,08	80,80	0,25	66



**Çizelge 4.39.** %75 gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş LPG A4 Enjeksiyon isimli eğriye ilişkin olarak test noktalarında gerçekleşen sayısal değerler

Gaz Kelebeği Açıklığı :%75 Yakıt: LPG – Enjeksiyon Ateşleme:A4								
n (d/dak)	T (Nm)	P <sub>e</sub> (kW)	b <sub>e</sub> (gr/kWh)	η <sub>e</sub> (%)	λ	η <sub>v</sub> (%)	CO (%)	HC (ppm)
2000	103,88	21,77	234,32	33,47	0,99	68,69	1,25	150
2500	107,43	28,14	251,32	31,21	1,00	77,45	1,01	116
3000	108,18	34,00	242,02	32,41	1,00	74,38	1,01	92
3500	111,23	40,79	238,05	32,95	0,98	74,84	1,25	136
4000	102,61	43,00	257,95	30,41	1,10	83,44	0,20	94

LPG'nin emme manifolduna püskürtüldüğü, 2 ve 4 derece farklı ateşleme avans haritalarının kullanıldığı testlerin, orijinal ateşleme avanslarının kullanıldığı testlere nazaran yapılan mukayeseli sonuçlar ise Çizelge 4.40 ve 4.41'de verilmiştir.

**Çizelge 4.40.** %75 gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş LPG A2 Enjeksiyon ile LPG Orijinal Avans Enjeksiyon isimli eğrilerin karşılaştırılması

Gaz Kelebeği Açıklığı :%75 Yakıt: LPG – Enjeksiyon Ateşleme:A2 Yakıt: LPG – Enjeksiyon Ateşleme:Orijinal								
n (d/dak)	P <sub>e</sub> (%)	b <sub>e</sub> (%)	η <sub>e</sub> (%)	λ (%)	η <sub>v</sub> (%)	CO (%)	HC (%)	
2000	-1,85	9,52	-8,69	1,75	9,89	-27,26	-0,72	
2500	0,29	3,03	-2,94	-0,79	2,01	8,13	-2,25	
3000	3,92	-5,49	5,81	-6,14	-7,00	192,31	71,15	
3500	0,41	-5,01	5,28	1,56	-2,46	-22,79	15,74	
4000	-2,08	-1,14	1,15	4,76	1,66	-52,19	22,22	

**Çizelge 4.41.** %75 gaz kelebeği açıklığında elde edilmiş LPG A4 Enjeksiyon ile LPG Orijinal Avans Enjeksiyon isimli eğrilerin karşılaştırılması

Gaz Kelebeği Açıklığı :%75 Yakıt: LPG – Enjeksiyon Ateşleme:A4 Yakıt: LPG – Enjeksiyon Ateşleme:Orijinal								
n (d/dak)	P <sub>e</sub> (%)	b <sub>e</sub> (%)	η <sub>e</sub> (%)	λ (%)	η <sub>v</sub> (%)	CO (%)	HC (%)	
2000	0,93	-7,42	8,01	1,65	-5,37	-18,88	8,70	
2500	1,02	2,16	-2,12	-0,89	1,50	21,05	30,34	
3000	5,57	-9,55	10,56	-5,86	-10,54	198,22	76,92	
3500	0,12	-8,02	8,72	1,77	-5,76	-23,40	25,93	
4000	-5,56	4,12	-3,96	6,51	5,00	-62,48	74,07	

LPG'nin emme manifolduna püskürtülmesi ile gerçekleştirilen testlerde elde edilen sonuçlar incelendiğinde orijinal ateşleme avanslarının kullanıldığı testlere nazaran 2 ve 4 derece artırılmış ateşleme avanslarında gerçekleştirilen testler sırasında; efektif

verimde %10,56'lara varan iyileşmelerin gözlemlendiği test noktalarına ait ateşleme avans değişimleri Çizelge 4.42'de sunulmuştur. 2500 d/dak motor devrinde en iyi efektif verim değeri orijinal ateşleme avansının kullanılmasıyla elde edilmiştir. Öte yandan efektif güç değerlerinin %5,57'lere varan oranlarda iyileştirilebildiği test noktalarına ait ateşleme avans değişimleri ise Çizelge 4.43'de verilmiştir. 4000 d/dak motor devrinde en yüksek efektif güç değeri orijinal avans açısının kullanılmasıyla elde edilmiştir. Yapılan tüm testler emisyonlar açısından incelendiğinde; CO emisyonlarının % 0,20 - % 1,64 aralığında ve HC emisyonlarının 52 ppm - 150 ppm değerleri arasında gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Öte yandan en iyi emisyonların baz alındığı bir ateşleme avans optimizasyonu yapılması durumunda; CO emisyonlarının % 0,20 - % 1,25 aralığında ve HC emisyonlarının ise 52 ppm-137 ppm değerleri arasında gerçekleşmesinin mümkün olduğu görülmektedir.

**Çizelge 4.42.** %75 Gaz kelebeği açıklığında enjeksiyonlu LPG kullanımları için en iyi efektif verim değerlerinin olduğu optimum avans değişimleri

Gaz Kelebeği Açıklığı :%75 Yakıt: LPG – Enjeksiyon Yakıt: LPG – Enjeksiyon Ateşleme:Orijinal		
n (d/dak)	AAD	Efektif Verimde % İyileşme
2000	A4	8,01
2500	Orijinal	0,00
3000	A4	10,56
3500	A4	8,72
4000	A2	1,15

**Çizelge 4.43.** %75 Gaz kelebeği açıklığında enjeksiyonlu LPG kullanımları için en iyi efektif güç değerlerinin olduğu optimum avans değişimleri

Gaz Kelebeği Açıklığı :%75 Yakıt: LPG – Enjeksiyon Yakıt: LPG – Enjeksiyon Ateşleme:Orijinal		
n (d/dak)	AAD	Efektif Güçte % İyileşme
2000	A4	0,93
2500	A4	1,02
3000	A4	5,57
3500	A2	0,41
4000	Orijinal	0,00

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Testler; %25, %50, %75 olmak üzere 3 farklı gaz kelebeği açıklığında ve 2000–4000 d/dak motor devir aralığında 500'er d/dak'lık adımlarla yapılmıştır. Test motoruna yakıt sevki; benzinli çalışmada karbüratör, LPG'li çalışmada ise 1. nesil kit ve tasarlanan enjeksiyon sisteminin kullanılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Testlerde ateşleme zamanlarının kontrolü; motorun orijinal ateşleme kontrol sistemi olan Digiplex ve tasarımı yapılan ateşleme kontrol ünitesi kullanılarak yapılmıştır. Tasarımı yapılan ateşleme kontrol ünitesi ile motor; orijinal ve orijinalden çeşitli derecelerde farklı ateşleme avanslarında çalıştırılmıştır.

### 5.1. Karbüratör ve 1. nesil LPG Kitinin Kullanıldığı Deneyler

Karbüratörlü motora 1. nesil LPG kit montajı yapılması sonrasında, benzin ve LPG kullanımları arasında meydana gelen farklılıkların ortaya konduğu deneyler %25 ve %50 olmak üzere iki farklı gaz kelebeği açıklığında yapılmıştır.

Digiplex ateşleme kontrol sistemi kullanılarak %25 gaz kelebeği açıklığında gerçekleştirilen testlerde;

LPG ile yapılan deneylere nazaran tüm test noktalarında efektif verim, %3,70 ile %10,99 arası değişen oranlarda benzinli kullanımlar lehine meydana gelmiştir. Bu testlerde aynı ateşleme avanslarında, benzin ve LPG kullanımları arasındaki farklılıkların ortaya konması hedeflendiğinden avans açıları herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Motorlar teorisine göre silindir dışında aynı karışım şartlarında hacimsel verim ve yakıtların ısı değerleri göz önüne alındığında LPG ve benzin ile çalışma arasında efektif güç bakımından ciddi bir farklılık olmamalıdır. Ancak %25 gaz kelebeği açıklığında elde edilen sonuçlara bakıldığında LPG ile yapılan çalışmalarda efektif güçte % 24,17'lere varan düşüşlerin var olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak efektif güçler arasında meydana gelen bahsi geçen farklılık her iki yakıtın efektif verim, özgül yakıt sarfiyatı ve hava fazlalık katsayısı değerlerindeki birbirine yakınlık ile bir arada düşünüldüğünde ortaya çıkan sonuç şudur; benzine nazaran LPG kullanımında hacimsel verim teorik olarak beklenenden daha düşük çıkmıştır. Bir başka ifadeyle LPG

ortama çok daha düşük yoğunlukta verilebilmiştir. Gerçekten de karşılaştırmalı hacimsel verim değerlerine bakıldığında benzinli ve LPG'li çalışma durumlarında çok ciddi farklılıklar söz konusu iken efektif güçlerde meydana gelen farklılıklar da kabaca aynı mertebede olmuştur. LPG'nin buhar fazında emme manifolduna gönderilmesi sonucu, manifold hacminin önemli bir kısmını işgal etmesi nedeniyle motora daha az miktarda hava alınmakta ve böylece hacimsel verim düşmektedir. Düşük motor devirlerinde LPG'nin emme manifold kollarında kalma süresi uzadığı için hacimsel verim farklılığı daha da artmıştır. Buna karşılık rejim sıcaklığı civarında benzinin yaklaşık %50'sinin emme manifoldunda buharlaştığı düşünülürse (Pulkrabek 2004) hem hava için daha fazla hacim kalmış ve hem de ortamdan çekilen ısının manifold sıcaklığını düşürmesi sonucu içeriye alınan havanın yoğunluğu bir miktar artabilmiştir. LPG'nin alt ısıl değeri (45900 kJ/kg), benzine (43900 kJ/kg) nazaran yüksektir. Yakıtların alt ısıl değerleri arasındaki bu farklılık efektif güç değerlerinde meydana gelen farklılıkları azaltacak yönde etki etmiştir. Motor; benzin kullanıldığında 0.85-0,87 arası hava fazlalık katsayısı değerlerinde, LPG kullanıldığında ise 0,82 ve 0.83 hava fazlalık katsayısı değerlerinde çalışmıştır. Rejim sıcaklığında, HFK=0.91 civarı bir motordan maksimum gücün elde edildiği hava fazlalık katsayısı değeri olarak kabul edilirse (Pulkrabek 2004) benzinli çalışmada gerçekleşen hava fazlalık katsayısı değerlerinin maksimum gücün elde edilebileceği bölgeye daha yakın olması, benzinli çalışmalarda elde edilen güç değerlerinin daha yüksek gerçekleşmesinde etkili olmuştur.

Digiplex ateşleme sistemi kullanılarak %50 gaz kelebeği açıklığında gerçekleştirilen testlerde;

LPG kullanıldığında benzinli çalışmaya nazaran efektif verim değerleri; 2000 ve 3500 d/dak test adımlarında sırasıyla %1,97 ve %3,31 oranlarında daha yüksek gerçekleşmiş, 2500, 3000 ve 4000 d/dak motor devirlerinde ise benzinli çalışmada efektif verim değerleri sırasıyla %0,43, %3,71 ve %1,15 oranlarında daha yüksek çıkmıştır. Gerçekleşen efektif verim değerleri incelendiğinde her iki yakıt tipi de birbirine tüm test noktalarını kapsayacak şekilde ciddi bir üstünlük sağlayamadığı halde tüm test noktalarında, %1,21 ile %8,61 arası değişen oranlarda LPG'li çalışmalara nazaran benzin kullanımlarında daha yüksek efektif güç değerleri elde edilmiştir. Öte yandan

LPG'liye nazaran benzinle yapılan çalışmalarda, 4000 d/dak motor devrinde yapılan test hariç olmak üzere diğer tüm test noktalarında hacimsel verimde meydana gelen artışlar efektif güç değerlerine aynı oranda yansımamıştır (4000 d/dak motor devrinde bahsi geçen oran yaklaşık olarak 1'e1 şeklindedir.). Benzin ve LPG ile yapılan testlerde HFK değerleri sırasıyla 0,75-0,89 ve 0,74-0,81 aralıklarında gerçekleşmiştir. Buna göre 2000 d/dak motor devrinde birbirlerine oldukça yakın HFK değerlerinde çalışılsa da genel olarak LPG'liye nazaran benzin kullanılarak yapılan testlerde 0,91 civarına daha yakın HFK değerlerinde çalışılmıştır. Tüm bu sonuçlar irdelendiğinde LPG'li çalışmalarda daha yüksek güç düşüşleri beklenirken bu durum gerçekleşmemiştir. Burada LPG'nin alt ısı değerinin benzinin alt ısı değerinden daha yüksek olması, efektif güç değerlerinde oluşan farklılığın artmasını bir miktar da olsa engelleyebilmiştir.

LPG ile %50 gaz kelebeği açıklığında yapılan deneylerde elde edilen efektif güç ve moment eğrilerine bakıldığında %25 gaz kelebeği açıklığında olduğu gibi benzinli çalışmaya nazaran büyük farklılıklar olmadığı görülmektedir. %25 ve %50 gaz kelebeği açıklıkları bir arada irdelendiğinde; gaz kelebeğinin kapanma etkisinin LPG üzerinde daha şiddetli bir etkisi olduğu sonucuna varılabilir. Bilindiği üzere karbüratör boğazları belirli bir hava akışında, o hava debisi için yeterli miktarda yakıtı emecek vakumu oluşturabilmek için belirli bir darlıkta imal edilirler. Bu durum gaz kelebeği üzerindeki basınç kayıplarının artmasına neden olur. Sözü edilen basınç kayıpları gaz kelebeğinin kısılması durumunda daha da artar. Bundan dolayı kelebek açıklığının %25 den %50'ye artırılması durumunda, kelebek üzerinde meydana gelen basınç kayıpları azalmakta ve güç eğrileri bir motor için beklenen şekline daha çok yaklaşmaktadır.

%50 gaz kelebeği açıklığında Digiplex ve LPG ile yapılanlara ilave olarak tasarlanan ateşleme kontrol ünitesince farklı ateşleme avanslarının uygulandığı LPG'li deneyler de yapılmıştır. Bu testlerde efektif verim ve güç değerlerinde sırasıyla %38,14 ve %13,20'lere varan iyileşmeler gözlemlenebilmiştir.

Karbüratörlü sistemlerle yapılan testlerde elde edilen sonuçlar bu doktora tezinin bir amacı olmayıp sadece mevcut durumun tespiti açısından önemlidir. Bu nedenle farklı ateşleme avans değerlerinin motor performansı üzerindeki etkilerinin ortaya

çıkarılmasına yönelik, karbüratör kullanılarak gerçekleştirilen testlerden elde edilen veriler için belirsizlik analizi yapılmamıştır.

## 5.2. LPG Püskürtme Ünitesinin Kullanıldığı Deneyler

LPG püskürtme ünitesinin kullanıldığı deneyler %25, %50 ve %75 gaz kelebeği açıklıklarında gerçekleştirilmiştir.

Karbüratörlü ve Digiplex ateşleme kontrol sisteminin kullanıldığı LPG'li çalışmalara nazaran tasarlanan enjeksiyon ve ateşleme kontrol ünitelerinin kullanılmalarıyla gerçekleştirilen testlerde efektif verim ve efektif güç değerlerinde sırasıyla, %25 gaz kelebeği açıklığında; %64,68 ve %158,64'lere, %50 gaz kelebeği açıklığında; %38,09 ve %31,75'lere varan oranlarda iyileşmeler elde edilmiştir.

LPG'nin emme manifolduna püskürtülmesi ile gerçekleştirilen ve orijinal ateşleme avanslarının kullanıldığı testlere nazaran 2 ve 4 derece artırılmış ateşleme avanslarıyla yapılan deneyler kendi içinde değerlendirildiğinde efektif verim ve güç değerlerinde sırasıyla, %25 gaz kelebeği açıklığında; %10,50 ve %5,48'lere, %50 gaz kelebeği açıklığında; %7,29 ve %5,26'lara, %75 gaz kelebeği açıklığında ise %10,56 ve %5,57'lere varan oranlarda iyileşmeler gözlemlenebilmiştir.

Elde edilen tüm bu bulgular, ateşleme avans değişimlerinin LPG dönüşümü yapılmış içten yanmalı bir motorun performansı üzerinde ne derece etkili olduğunu göstermektedir. Farklı ateşleme avanslarının uygulandığı testlerde efektif verim ve güç değerlerinde kayda değer ölçülerde iyileşmeler elde edilmiştir. Farklı yakıt ve avans açılarındaki yapılan deneylerde motor hacmi, sıkıştırma oranı ve devir değerlerinin aynı olduğu durumlarda güç farklılığı eşitlik 5.1'de verilen hacimsel verim  $[\eta_v]$ , yakıt hava oranı  $[Y/H]$ , yakıtın ısı değeri  $[H_u]$  ve efektif verime  $[\eta_e]$  bağlı olarak değişir. %25, %50 ve %75 gaz kelebeği açıklıklarında orijinal ateşleme avans değerlerinin kullanıldığı deneylere nazaran en yüksek efektif verim değerlerinin elde edildiği farklı ateşleme avans değerleriyle gerçekleştirilen testlerin birbirleri ile yapılan mukayeselerinde motor hacmi, sıkıştırma oranı, motor devri ve yakıtın ısı değeri

büyüklikleri aynıdır.  $\eta_t$  teorik verim,  $\eta_m$  mekanik verim ve  $\eta_b$  bağıl verim olmak üzere efektif verim değeri eşitlik 5.2’de verildiği gibi yazılırsa, yapılan karşılaştırmalarda teorik ve mekanik verim değerlerinin aynı olmalarından dolayı efektif verim değerlerinde meydana gelen değişimler üzerinde etki değildirlir. Bu durumda efektif verim değişimleri bir motorun ideal motora yaklaşım derecesini belirten bağıl verim değerlerinde meydana gelen değişimler ile orantılı olmaktadır. Yanma verimi ve ateşleme avans değeri ile değişim gösteren yanma zamanı kayıpları ve ısı kayıplar bağıl verimin en önemli bileşenleridir. Buradan hareketle bağıl verim denklem 5.3’de verildiği üzere yazılabilir.

$$P_e \propto \eta_v \left[ \frac{Y}{H} \right] H_u \eta_e \quad (5.1)$$

$$\eta_e = \eta_t \eta_m \eta_b \quad (5.2)$$

$$\eta_b = \eta_{yanma} \eta_{AA} \quad (5.3)$$

Uygulanan farklı ateşleme avanslarının motor performansı üzerinde meydana getirdiği olumlu etkileri sayısallaştırmak adına yapılacak detay bir analiz için bütün verilere sahip olunmamakla birlikte motorlar teorisi üzerinden mantıksal bir analiz yapılabilir. Deneylelerimizde efektif verim ile Y/H oranı arasındaki ilişki bilinmese de genel motor teorisinden çalışılan Y/H oranı aralıklarında, efektif verimin Y/H oranı ile ne oranda değiştiği bilgilerine ulaşılabilir. Böyle bir eğriden (Rogowski 1986) oransal olarak analiz yapılacak noktalardaki Y/H oranı değerlerinin denk geldiği değer aralığında hava fazlalık katsayısındaki her %10’luk azalmanın, efektif verimde %3,2 oranında bir azalmaya sebep olduğu görülmektedir. Farklı motorlarda bu oranların bir miktar daha farklı gerçekleşmesi yapılan analizdeki yaklaşımın doğruluğunu etkilemeyecektir. Y/H oranının bağıl verime olan etkisinin sadece yanma verimi üzerinden gerçekleştiği kabul edilirse, efektif verim ile Y/H oranı arasındaki ilişkiyi gösteren eğrilerin aynı zamanda yanma verimi ile Y/H oranı arasındaki ilişkiyi de gösterdikleri kabul edilebilir. Öyle ise bağıl verim ve dolayısıyla efektif verim üzerinden yapılacak mukayesede HFK değerinden kaynaklanan etki çıkarıldığında geriye farklı ateşleme avans değerinin motor performansı üzerinde meydana getirdiği etki kalacaktır. Orijinal ve farklı ateşleme avansları ile yapılan deneylerin mukayeselerine yönelik olarak eşitlik 5.1, 5.2 ve 5.3’de

verilmiş ifadeler düzenlenirse 5.4'te verilen ifade elde edilebilir. Denklem 5.4'te verilen eşitlikten ateşleme avansının etkisi çekilecek olursa 5.5'te verilen eşitlik elde edilebilir.

$$\frac{P_{e_{orijinal}} \lambda_{orijinal} \eta_{v_{farklı\_avans}}}{P_{e_{farklı\_avans}} \lambda_{farklı\_avans} \eta_{v_{orijinal}}} = \frac{\eta_{e_{orijinal}}}{\eta_{e_{farklı\_avans}}} = \frac{\eta_{b_{orijinal}}}{\eta_{b_{farklı\_avans}}} = \frac{\eta_{yanma_{orijinal}} \eta_{AA_{orijinal}}}{\eta_{yanma_{farklı\_avans}} \eta_{AA_{farklı\_avans}}} \quad (5.4)$$

$$\frac{\eta_{AA_{orijinal}}}{\eta_{AA_{farklı\_avans}}} = \frac{P_{e_{orijinal}} \lambda_{orijinal} \eta_{v_{farklı\_avans}} \eta_{yanma_{farklı\_avans}}}{P_{e_{farklı\_avans}} \lambda_{farklı\_avans} \eta_{v_{orijinal}} \eta_{yanma_{orijinal}}} \quad (5.5)$$

5.5 eşitliğinin sağ tarafında bulunan bütün oransallıklar bilindiğinden ateşleme avans değişimlerinin motor performansı üzerinde meydana getirdiği etki hesaplanabilir. Bu etkilerin ortaya konması sonrasında, meydana çıkan etkinin deney düzeneğinde gerçekleştirilen ölçümlere ait belirsizlik sınırlarının içinde kalıp kalmadığı da kontrol edilmelidir. Bu amaçla LPG püskürtme sistemlerinin kullanıldığı deney sonuçları belirsizlik analizine tabi tutularak detaylı bir şekilde incelenmiştir. Eşitlik 4.2'de verilmiş efektif verim formülü içinde yer alan efektif güç ifadesi dinamometrede oluşan kuvvet cinsinden yazılırsa

$$\eta_e = \frac{P_e}{\dot{m}_y H_u} = \frac{T \frac{2\pi n}{60}}{\dot{m}_y H_u} = \frac{Fl \frac{2\pi n}{60}}{\dot{m}_y H_u} \quad (5.6)$$

ifadesi elde edilir.

Efektif verim ifadesi içinde ölçüm yoluyla elde edilen parametreler; yakıt tüketimi, kuvvet ve motor devridir. Motor test dinamometresi vasıtasıyla elde edilen kuvvet ve motor devri parametrelerinin ölçüm doğruluğu %0,1'dir. Kütleli yakıt debisi ölçümünde kullanılan terazinin hassasiyeti ise 1/60000'dir.

$$A = \frac{0,4672 \times 2\pi}{60 \times H_u} \quad (5.7)$$

sabit olmak üzere 5.6'da verilen efektif verim ifadesi belirsizlik analizine tabi tutulduğunda,



$$\frac{\partial \eta_e}{\partial F} = \frac{n}{\dot{m}_y} A \quad (5.8)$$

$$\frac{\partial \eta_e}{\partial n} = \frac{F}{\dot{m}_y} A \quad (5.9)$$

$$\frac{\partial \eta_e}{\partial \dot{m}_y} = \frac{-Fn}{\left(\dot{m}_y\right)^2} A \quad (5.10)$$

$$B = \left[ \left( \frac{\partial \eta_e}{\partial F} F \times 0,001 \right)^2 + \left( \frac{\partial \eta_e}{\partial n} n \times 0,001 \right)^2 + \left( \frac{\partial \eta_e}{\partial \dot{m}_y} \dot{m}_y \times (1/60000) \right)^2 \right]^{1/2} \quad (5.11)$$

ifadeleri elde edilir. 5.11’de verilen eşitlik her test noktası için ayrı ayrı hesaplandığında +/- belirsizlik değeri tespit edilir. Farklı ateşleme avansının efektif verim üzerinde meydana getirdiği iyileşme oranı, hesaplanan belirsizlik değerinden daha büyük olmalıdır. Bu durumun sağlanamaması durumunda bir başka ifadeyle farklı ateşleme avansı ile yapılan testte efektif verimde gerçekleşen iyileşme oranı belirsizlik sınırı içinde kalıyorsa, uygulanan avansın iyileştirici bir etkisi olduğundan bahsedilemez. Hesaplamalar sonucunda; orijinal avanslarla elde edilenlere nazaran en yüksek efektif verim değerlerinin elde edildiği, farklı ateşleme avanslarıyla yapılan enjeksiyonlu testlerde tüm test noktalarında belirsizlik değerinin %1,41 olduğu tespit edilmiştir. Çizelge 5.1-5.3’de %25, %50 ve %75 gaz kelebeği açıklıklarında farklı ateşleme avanslarının efektif verim değerlerinde meydana getirdiği iyileşme oranları verilmiştir.

**Çizelge 5.1.** %25 Gaz kelebeği açıklığında enjeksiyonlu LPG kullanımları sırasında orijinal ateşleme avansları ile yapılan testlere nazaran en iyi efektif verim değerlerinin elde edildiği test noktalarında farklı ateşleme avans değerlerinin efektif verim üzerindeki iyileştirici etkileri

n (d/dak)	Bağıl Verim 1 / Bağıl Verim 2	$\lambda$		AA Etkisi %	Belirsizlikten Arındırılmış AA Etkisi %
		Farklılığı %	$\lambda'$ dan kaynaklanan tahmini % değişim		
2000	95,20	0,31	0,10	4,70	3,29
2500	92,73	-2,03	-0,65	7,92	6,51
3000	90,87	8,99	2,88	6,25	4,84
3500	93,01	0,90	0,29	6,70	5,29

**Çizelge 5.2.** %50 Gaz kelebeği açıklığında enjeksiyonlu LPG kullanımları sırasında orijinal ateşleme avansları ile yapılan testlere nazaran en iyi efektif verim değerlerinin elde edildiği test noktalarında farklı ateşleme avans değerlerinin efektif verim üzerindeki iyileştirici etkileri

n (d/dak)	Bağıl Verim 1 / Bağıl Verim 2	$\lambda$ Farklılığı %	$\lambda'$ dan kaynaklanan tahmini % değişim	AA Etkisi %	Belirsizlikten Arındırılmış AA Etkisi %
2500	92,69	-2,46	-0,79	8,09	6,68
3000	97,86	-2,40	-0,77	2,91	1,50

**Çizelge 5.3.** %75 Gaz kelebeği açıklığında enjeksiyonlu LPG kullanımları sırasında orijinal ateşleme avansları ile yapılan testlere nazaran en iyi efektif verim değerlerinin elde edildiği test noktalarında farklı ateşleme avans değerlerinin efektif verim üzerindeki iyileştirici etkileri

n (d/dak)	Bağıl Verim 1 / Bağıl Verim 2	$\lambda$ Farklılığı %	$\lambda'$ dan kaynaklanan tahmini % değişim	AA Etkisi %	Belirsizlikten Arındırılmış AA Etkisi %
2000	92,24	1,65	0,53	7,23	5,82
3000	90,02	-5,86	-1,88	11,85	10,44
3500	92,50	1,77	0,56	6,94	5,53

Motordan en iyi güç ve verimin alınabilmesi için silindir içi maksimum basıncının üst ölü noktadan 10-15<sup>0</sup> krank mili açısı sonra oluşması arzu edilir (Sürmen ve ark. 2008). Böylece krank mili üzerinde maksimum döndürme momentinin oluşması hedeflenir. Bilindiği üzere yanma sonsuz hızda gerçekleşen bir olay olmayıp silindir içinde bulunan yakıt hava karışımının tamamen yanması için bir miktar süreye ihtiyaç vardır. Bu süreyi etkileyen en önemli yakıt parametresi ise alev hızıdır. Yakıt tiplerine göre değişim gösteren alev hızı HFK ve motor devir değerleri ile yakından ilgilidir. Düşük motor devirlerinde azalan türbülans etkisi ile alev hızı düşerken, karışımın HFK değerinin 0,83 civarı bir bölgede olması durumunda ise maksimum alev hızına erişilmektedir (Pulkrabek 2004). Maksimum silindir içi basıncın üst ölü noktadan 10-15<sup>0</sup> sonra oluşması olayı karışımın alev hızı ile yakından ilgilidir. Aynı motor devrinde alev hızının düşük olduğu durumlarda ateşleme avansı artırılarak yanmaya bir miktar süre verilmesi gerekirken, yüksek alev hızlarında ateşleme avansı azaltılmalıdır. Böylece ısı kayıpların azaltıldığı uygun ateşleme avanslarıyla silindir içi basınç-hacim diyagramından elde edilen net iş alanı artırılabilir. LPG gibi benzine alternatif olabilecek bir yakıtın benzin motorunda kullanılması durumunda, optimum performans şartlarının sağlanabilmesi için kullanılacak alternatif yakıtın özellikleri dikkate alınarak, benzinin özelliklerine göre tasarlanmış ateşleme avans haritaları yeniden

hazırlanmalıdır. LPG kimyasal özellikleri benzine en yakın alternatif yakıt tipi olarak kabul edilebilir. Ancak bu durumda bile verimli yanma şartlarının sağlanabilmesi için ateşleme avans açılarının değiştirilmesi zorunluluğu bu tez sırasında ortaya konmuştur. Özellikle H<sub>2</sub>, doğalgaz gibi kimyasal özellikleri benzinden oldukça farklı yakıt tipleri ile çalışılması durumunda bahsi geçen zorunluluk daha da önem arz etmektedir.

%25 ve %50 gaz kelebeği açıklıklarında LPG'nin enjeksiyonlu ve karbüratörlü kullanımlarında ortaya çıkan farklılıklar incelenmiş ve bu incelemenin sonucunda enjeksiyonlu sistem ile efektif güç değerlerinde önemli düzeyde iyileşmelerin gerçekleştiği tespit edilmiştir. Aynı hacimli motorla aynı devirde enjeksiyonlu LPG kit uygulaması ile büyük oranda güç artışı sağlamanın kaynağı olarak hacimsel verim, Y/H oranı ve yanma verimi parametreleri gösterilebilir. Karbüratör boğazlarının belirli bir hava akışında, o hava debisi için yeterli miktarda yakıtı emecek vakumu oluşturabilmek için belirli bir darlıkta imal edilmesi gerektiğinden, bu durumun ise gaz kelebeğinde meydana gelen basınç kayıplarını artırdığından daha önce söz edilmişti. Oysa yakıt püskürtmeli motorlarda yakıt cebri olarak püskürtüldüğünden boğazı daraltma gereği ortadan kalkmıştır. Bundan dolayı herhangi bir gaz kelebek açıklığında enjeksiyonlu sistemler karbüratörlülere nazaran çok daha fazla hava geçiş alanına sahip olup hava içeriye çok daha az bir basınç kaybıyla girmekte ve dolayısıyla hacimsel verim ve ona bağlı olarak güç artmaktadır.

Literatürde bazı kaynaklarda, stokiyometrik karışımda LPG' nin alev hızının benzinin alev hızından daha yüksek olduğu söylenirken (Loganathan ve Ramesh 2007) bazı kaynaklarda da bu durumun tersi savunulmaktadır (Li ve ark.'ları 2002). Bu tezde LPG ile çalışırken, benzin için hazırlanmış ateşleme avansları küçültüldüğünde motorun çevrim değişimlerinin arttığı tespit edilmiş ve bunun bir sonucu olarak da bazı testlerin gerçekleştirilmesi mümkün olamamıştır. Bir başka ifadeyle azaltılmış ateşleme avanslarında LPG ile yapılan testler ya hiç başarılılamamış yada güvenilirliği çok düşük kalmıştır. Benzinli çalışmaya nazaran benzer gaz kelebeği açıklığı, motor devri ve hava fazlalık katsayısı değerlerinde LPG ile yapılan çalışmaların önemli bir bölümünde benzin için hazırlanmış ateşleme avansları artırıldığında efektif verim ve güç

değerlerinde iyileşmelerin gerçekleştiği tespit edilmiş bu durum ise testlerde kullanılan LPG'nin alev hızının, benzine nazaran daha düşük olabileceğini ortaya koymuştur.

Çevre ve Orman Bakanlığı'nın hazırlamış olduğu Trafikte Seyreden Motorlu Kara Taşıtlarından Kaynaklanan Egzoz Gazı Emisyonlarının Kontrolüne Dair Yönetmelik'e göre katalitik dönüştürücü bulunmayan 1/10/1986-sonraki yıllarda üretilmiş benzinli-LPG dönüşümü yapılmış araçlara uygulanan emisyon testleri; motor yüksüz iken rölanti devri civarında (test devri<2000 d/dak) yapılmakta ve bu testlerde sadece CO kirlenici emisyonu dikkate alınmaktadır. Bahsi geçen testlerde CO değerinin hacimsel olarak %3,5 değerinin altında olması arzu edilmektedir. Öte yandan Hatch'ın (2009) Amerika Birleşik Devletleri'nde uygulanan emisyon standartlarından bahsettiği bir eserinde; katalitik dönüştürücüye sahip olmayan bir motorun yüksüz durumda, rölanti veya 2500 d/dak sabit motor devrinde çalıştırılması durumunda istenen emisyon sınırlarını CO < %2.5-%3 ve HC< 300-400 ppm olarak belirtmiştir. Her ne kadar bu doktora tezinde gerçekleştirilen test algoritmasına ilişkin bir emisyon standardı olmasa da tasarımı yapılan enjeksiyon ve ateşleme kontrol ünitelerinin kullanıldığı deney sonuçları emisyonlar açısından incelendiğinde ortaya çıkan değerlerin kabul edilebilir sınırlar içinde kaldığı tespit edilmiştir.

- %25 gaz keleşi açıklığında yapılan testlerde; CO emisyonları %0,17 ile %3,41 ve HC emisyonları 83 ppm ile 225 ppm aralığında gerçekleşmişlerdir. Öte yandan en iyi CO veya HC emisyonlarının baz alındığı bir yakıt püskürtme ve ateşleme avans kontrol stratejisinin uygulanması durumunda; CO emisyonlarının %0,17 - %2,07 ve HC emisyonlarının 83 ppm – 139 ppm aralığında gerçekleşmeleri mümkün olabilmştir.
- %50 gaz keleşi açıklığında yapılan testlerde; CO emisyonları %0,38 ile %2,26 ve HC emisyonları 66 ppm ile 176 ppm aralığında gerçekleşmişlerdir. Öte yandan en iyi CO veya HC emisyonlarının baz alındığı bir yakıt püskürtme ve ateşleme avans kontrol stratejisinin uygulanması durumunda; CO emisyonlarının %0,38 - %1,74 ve HC emisyonlarının 66 ppm – 161 ppm aralığında gerçekleşmeleri mümkün olabilmştir.

- %75 gaz keleşbeği açıklığında yapılan testlerde; CO emisyonları %0,20 ile %1,64 ve HC emisyonları 52 ppm ile 150 ppm aralığında gerçekleşmişlerdir. Öte yandan en iyi CO veya HC emisyonlarının baz alındığı bir yakıt püşkürtme ve ateşleme avans kontrol stratejisinin uygulanması durumunda; CO emisyonlarının %0,20 - %1,25 ve HC emisyonlarının 52 ppm – 137 ppm aralığında gerçekleşmeleri mümkün olabilmıştir.

Sonuç olarak bu doktora tezinde özetle;

- Karbüratörlü motorda kullanılmak üzere bir LPG püşkürtme sistemi tasarlanmış böylece karbüratörün motor performansı üzerindeki olumsuz etkileri bertaraf edilebilmiştir. Gerek 1. nesil LPG kitiyle ve gerekse karbüratör-benzinle yapılan çalışmalara nazaran tasarlanan LPG enjeksiyon sistemi ile yapılan testlerde motor performansında ciddi seviyelerde iyileşmeler elde edilmiştir.
- Distribütörsüz bir ateşleme kontrol sistemi tasarlanarak motorun orijinal distribütörlü ateşleme sistemi devre dışı bırakılmış, bu sayede LPG'li çalışmalarda farklı ateşleme avanslarının motor performansı üzerindeki etkileri incelenebilmiştir. Sonuçta ateşleme avans değişimleri ile motor performansının kayda değer oranlarda iyileşme gösterdiği tespit edilmiştir.
- Ülkemizde kullanılan alternatif yakıt sistemlerine ait elektronik kontrol ünitelerinin yerini alabilecek, daha verimli bir son ürünün ortaya çıkarılmasına yönelik önemli bir adım atılmıştir.

## KAYNAKLAR

- Holman, J.P. 1966.** Experimental Methods For Engineers. McGraw-Hill, Tokyo, Japan, 423 pp.
- Rogowski, A.R. 1986.** Elements of Internal Combustion Engines. McGraw-Hill, New York, USA, 226 pp.
- Anonim, 1990.** Tofaş Temptra Servis Kataloğu Elektrik Sistemi. *Kaya Basım*, 23-32.
- Gerini, A., Monnier, G.A., Bonetto, R. 1996.** Ultra low emissions vehicle using LPG engine fuel. *SAE paper*, 961079: 29-37.
- Smith, W. J., Timoney, D. J. , Lynch, D. P. 1997.** Emissions and efficiency comparison of gasoline and LPG fuels in a 1.4 litre passenger car engine. *SAE paper*, 972970: 1–10.
- Borat, O. 1997.** Optimization of spark advance for maximum torque in spark ignition engines. *V. Yanma Sempozyumu*, (1997): 236–244.
- Alasfour, F. N. 2001.** Lean misfire limits of LPG fueled S.I. engine. *SAE paper*, 2001-01-1960:1-7.
- Li, L., Wang, Z., Deng, B., Han,Y.,Wang, H. 2002.** Combustion and emissions characteristics of a small spark-ignited LPG engine. *SAE paper*, 2002-01-1738: 1-8.
- Li, L., Wang, Z., Wang, H., Deng,B., Xiao, Z. 2002.** A Study of LPG lean burn for a small SI engine. *SAE paper*, 2002-01-2844: 1-9.
- Li, L.,Liu, Z., Wang, H., Deng, B., Wang, Z., Xiao, Z., Su, Y., Jiang, B. 2003.** Development of a gas-phase LPG injection system for a small SI engine. *SAE paper*, 2003-01-3260:1-9.
- Pulkrabek, W.W. 2004.** Engineering fundamentals of the internal combustion engine. Prentice Hall, New Jersey, USA, 478 pp.
- Lee, K., Ryu, J. 2005.** An Experimental study of the flame propagation and combustion characteristics of LPG fuel. *Fuel*, 84 (2005): 1116–1127.
- Gyeung, H.C., Yon, J.C., Sung, B. H. 2005.** Comparison study between mixer and liquefied petroleum injection system fuel supply methods in a heavy-duty single cylinder engine. *J. Automobile Engineering*, Proc. IMechE Vol. 219 Part D: 1119-1123.
- Mistry, C.S. 2005.** Comparative assessment on performance of multi cylinder engine using CNG, LPG and petrol as a fuel. *SAE paper*, 2005-01-1056:1-7.

**Erkuş, B., Sürmen, A. 2005.** Benzin Motorunun Doğalgaz Performans Optimizasyonu İçin Tasarlanan Test Sistemi. *IX. Otomotiv ve Yan Sanayi Sempozyumu – Bursa*, E/2005/373: 250-254.

**Hu,C., Liu,N., Li,W., Song, X. 2006.** Investigation on rapid lean-burning of spark ignition LPG engines. *SAE paper*, 2006-32-0079: 1-10.

**Loganathan, M., Ramesh, A. 2007.** Study on manifold injection of LPG in two stroke SI engine. *Journal of the Energy Institute*,80:3168-3174.

**Sürmen, A., Karamangil, M.İ., Arslan, R. 2008.** Motor termodinamiği. Alfa Aktüel, Bursa, Türkiye, 244 s.

**Hatch S.V. 2009.** Computerized Engine Controls Eighth Edition, New York, USA, 660pp.

**Anonim, 2011.** Liquid Propane Injection System. <http://www.vialle.nl/> - (Erişim tarihi: 26.04.2011).

**Anonim, 2011.** LPG Direct Injection System. <http://www.vialle.nl/> - (Erişim tarihi: 26.04.2011).

**Anonim, 2011.** Sequent 56 Kit. <http://www.2a.com.tr/> - (Erişim Tarihi: 27.04.2011).

## EKLER

### EK A. Literatürden Elde Edilmiş Orijinal Ateşleme Avans Değerleri

**Çizelge A.1.** Karbüratör 1. boğaz kelebeğinin kapalı olduğu durumdaki ateşleme avansları

n (d/dak)	AA <sup>0</sup>	n (d/dak)	AA <sup>0</sup>	n (d/dak)	AA <sup>0</sup>	n (d/dak)	AA <sup>0</sup>	n (d/dak)	AA <sup>0</sup>
300	8	460	8	1600	8	3100	14	4600	40
310	8	470	8	1700	8	3200	22	4700	40
320	8	480	8	1800	8	3300	28	4800	40
330	8	490	8	1900	8	3400	30	4900	40
340	8	500	8	2000	8	3500	40	5000	40
350	8	600	12	2100	8	3600	40	5100	40
360	8	700	12	2200	8	3700	40	5200	40
380	8	800	12	2300	8	3800	40	5300	40
390	8	900	12	2400	8	3900	40	5400	40
400	8	1000	12	2500	8	4000	40	5500	40
410	8	1100	11	2600	8	4100	40	5600	40
420	8	1200	10	2700	8	4200	40	5700	40
430	8	1300	10	2800	8	4300	40	5800	40
440	8	1400	8	2900	8	4400	40	5900	40
450	8	1500	8	3000	8	4500	40	6000	40

**Çizelge A.2.** 0,04 Bar emme manifoldu vakum değerindeki ateşleme avansları

n (d/dak)	AA <sup>0</sup>	n (d/dak)	AA <sup>0</sup>	n (d/dak)	AA <sup>0</sup>	n (d/dak)	AA <sup>0</sup>	n (d/dak)	AA <sup>0</sup>
300	8	460	8	1600	10	3100	22	4600	27
310	8	470	8	1700	11	3200	22	4700	27
320	8	480	8	1800	12	3300	23	4800	27
330	8	490	8	1900	13	3400	23	4900	28
340	8	500	8	2000	14	3500	24	5000	28
350	8	600	10	2100	15	3600	24	5100	28
360	8	700	10	2200	16	3700	25	5200	29
380	8	800	10	2300	16	3800	25	5300	29
390	8	900	10	2400	17	3900	26	5400	29
400	8	1000	10	2500	18	4000	26	5500	29
410	8	1100	10	2600	18	4100	26	5600	29
420	8	1200	10	2700	19	4200	26	5700	29
430	8	1300	10	2800	20	4300	26	5800	29
440	8	1400	10	2900	20	4400	26	5900	30
450	8	1500	10	3000	21	4500	27	6000	30



**Çizelge A.3.** 0,0933 Bar emme manifoldu vakum değerindeki ateşleme avansları

n (d/dak)	AA <sup>0</sup>	n (d/dak)	AA <sup>0</sup>	n (d/dak)	AA <sup>0</sup>	n (d/dak)	AA <sup>0</sup>	n (d/dak)	AA <sup>0</sup>
300	8	460	8	1600	12	3100	24	4600	29
310	8	470	8	1700	13	3200	24	4700	29
320	8	480	8	1800	14	3300	25	4800	30
330	8	490	8	1900	16	3400	25	4900	30
340	8	500	8	2000	17	3500	26	5000	30
350	8	600	10	2100	18	3600	26	5100	31
360	8	700	10	2200	18	3700	27	5200	31
380	8	800	10	2300	19	3800	27	5300	31
390	8	900	10	2400	20	3900	27	5400	32
400	8	1000	10	2500	21	4000	27	5500	32
410	8	1100	10	2600	21	4100	27	5600	32
420	8	1200	10	2700	22	4200	28	5700	32
430	8	1300	10	2800	22	4300	28	5800	32
440	8	1400	10	2900	23	4400	29	5900	32
450	8	1500	10	3000	23	4500	29	6000	32

**Çizelge A.4.** 0,1466 Bar emme manifoldu vakum değerindeki ateşleme avansları

n (d/dak)	AA <sup>0</sup>	n (d/dak)	AA <sup>0</sup>	n (d/dak)	AA <sup>0</sup>	n (d/dak)	AA <sup>0</sup>	n (d/dak)	AA <sup>0</sup>
300	8	460	8	1600	15	3100	26	4600	30
310	8	470	8	1700	16	3200	26	4700	31
320	8	480	8	1800	17	3300	27	4800	31
330	8	490	8	1900	18	3400	27	4900	31
340	8	500	8	2000	19	3500	28	5000	32
350	8	600	10	2100	20	3600	28	5100	32
360	8	700	10	2200	21	3700	29	5200	33
380	8	800	10	2300	22	3800	29	5300	33
390	8	900	10	2400	23	3900	29	5400	34
400	8	1000	10	2500	24	4000	29	5500	34
410	8	1100	10	2600	24	4100	30	5600	34
420	8	1200	10	2700	24	4200	30	5700	34
430	8	1300	12	2800	25	4300	30	5800	34
440	8	1400	13	2900	26	4400	30	5900	34
450	8	1500	14	3000	26	4500	30	6000	34

**Çizelge A.5.** 0,2 Bar emme manifoldu vakum değerindeki ateşleme avansları

n (d/dak)	AA <sup>0</sup>	n (d/dak)	AA <sup>0</sup>	n (d/dak)	AA <sup>0</sup>	n (d/dak)	AA <sup>0</sup>	n (d/dak)	AA <sup>0</sup>
300	8	460	8	1600	18	3100	29	4600	32
310	8	470	8	1700	19	3200	30	4700	33
320	8	480	8	1800	20	3300	30	4800	33
330	8	490	8	1900	21	3400	30	4900	33
340	8	500	8	2000	22	3500	30	5000	34
350	8	600	12	2100	23	3600	31	5100	34
360	8	700	12	2200	24	3700	31	5200	35
380	8	800	12	2300	25	3800	31	5300	35
390	8	900	12	2400	26	3900	31	5400	36
400	8	1000	12	2500	27	4000	31	5500	36
410	8	1100	13	2600	27	4100	31	5600	36
420	8	1200	14	2700	28	4200	32	5700	36
430	8	1300	15	2800	28	4300	32	5800	36
440	8	1400	16	2900	28	4400	32	5900	36
450	8	1500	17	3000	29	4500	32	6000	36

**Çizelge A.6.** 0,2533 Bar emme manifoldu vakum değerindeki ateşleme avansları

n (d/dak)	AA <sup>0</sup>	n (d/dak)	AA <sup>0</sup>	n (d/dak)	AA <sup>0</sup>	n (d/dak)	AA <sup>0</sup>	n (d/dak)	AA <sup>0</sup>
300	8	460	8	1600	21	3100	31	4600	35
310	8	470	8	1700	22	3200	32	4700	35
320	8	480	8	1800	23	3300	32	4800	36
330	8	490	8	1900	24	3400	32	4900	36
340	8	500	8	2000	24	3500	33	5000	36
350	8	600	12	2100	25	3600	33	5100	36
360	8	700	12	2200	26	3700	33	5200	36
380	8	800	12	2300	27	3800	33	5300	36
390	8	900	12	2400	28	3900	33	5400	37
400	8	1000	12	2500	29	4000	34	5500	37
410	8	1100	14	2600	30	4100	34	5600	37
420	8	1200	16	2700	30	4200	34	5700	37
430	8	1300	17	2800	31	4300	35	5800	37
440	8	1400	18	2900	31	4400	35	5900	37
450	8	1500	20	3000	31	4500	35	6000	37

**Çizelge A.7.** 0,3066 Bar emme manifoldu vakum değerindeki ateşleme avansları

n (d/dak)	AA <sup>0</sup>	n (d/dak)	AA <sup>0</sup>	n (d/dak)	AA <sup>0</sup>	n (d/dak)	AA <sup>0</sup>	n (d/dak)	AA <sup>0</sup>
300	8	460	8	1600	25	3100	34	4600	37
310	8	470	8	1700	25	3200	34	4700	37
320	8	480	8	1800	26	3300	35	4800	38
330	8	490	8	1900	26	3400	35	4900	38
340	8	500	8	2000	27	3500	35	5000	38
350	8	600	12	2100	28	3600	35	5100	38
360	8	700	12	2200	29	3700	36	5200	38
380	8	800	12	2300	29	3800	36	5300	38
390	8	900	12	2400	30	3900	36	5400	38
400	8	1000	12	2500	30	4000	36	5500	38
410	8	1100	14	2600	31	4100	37	5600	38
420	8	1200	16	2700	31	4200	37	5700	38
430	8	1300	19	2800	32	4300	37	5800	38
440	8	1400	23	2900	33	4400	37	5900	38
450	8	1500	24	3000	34	4500	37	6000	38

**Çizelge A.8.** 0,380 Bar Emme manifoldu vakum değerindeki ateşleme avansları

n (d/dak)	AA <sup>0</sup>	n (d/dak)	AA <sup>0</sup>	n (d/dak)	AA <sup>0</sup>	n (d/dak)	AA <sup>0</sup>	n (d/dak)	AA <sup>0</sup>
300	8	460	8	1600	26	3100	38	4600	39
310	8	470	8	1700	27	3200	38	4700	39
320	8	480	8	1800	28	3300	38	4800	39
330	8	490	8	1900	29	3400	38	4900	39
340	8	500	8	2000	29	3500	38	5000	39
350	8	600	12	2100	30	3600	38	5100	39
360	8	700	12	2200	31	3700	38	5200	39
380	8	800	12	2300	32	3800	38	5300	39
390	8	900	12	2400	32	3900	38	5400	40
400	8	1000	12	2500	33	4000	38	5500	40
410	8	1100	14	2600	34	4100	38	5600	40
420	8	1200	18	2700	35	4200	38	5700	40
430	8	1300	21	2800	36	4300	38	5800	40
440	8	1400	24	2900	37	4400	38	5900	40
450	8	1500	26	3000	37	4500	39	6000	40

**Çizelge A.9.** 0,4132 Bar emme manifoldu vakum değerindeki ateşleme avansları

n (d/dak)	AA <sup>0</sup>	n (d/dak)	AA <sup>0</sup>	n (d/dak)	AA <sup>0</sup>	n (d/dak)	AA <sup>0</sup>	n (d/dak)	AA <sup>0</sup>
300	8	460	8	1600	29	3100	40	4600	40
310	8	470	8	1700	29	3200	40	4700	40
320	8	480	8	1800	30	3300	40	4800	40
330	8	490	8	1900	31	3400	40	4900	40
340	8	500	8	2000	32	3500	40	5000	40
350	8	600	12	2100	33	3600	40	5100	40
360	8	700	12	2200	34	3700	40	5200	40
380	8	800	12	2300	35	3800	40	5300	40
390	8	900	12	2400	36	3900	40	5400	40
400	8	1000	12	2500	36	4000	40	5500	40
410	8	1100	14	2600	36	4100	40	5600	40
420	8	1200	18	2700	37	4200	40	5700	40
430	8	1300	22	2800	38	4300	40	5800	40
440	8	1400	26	2900	39	4400	40	5900	40
450	8	1500	28	3000	40	4500	40	6000	40

## EK B. İnterpolasyon Yöntemiyle Hesaplanmış Ateşleme Avans Değerleri

Çizelge B.1. %25 Gaz kelebeği açıklığında interpolasyon yöntemiyle elde edilen ateşleme avans açıları

n (d/dak)	AA <sup>0</sup>	n (d/dak)	AA <sup>0</sup>	n (d/dak)	AA <sup>0</sup>	n (d/dak)	AA <sup>0</sup>	n (d/dak)	AA <sup>0</sup>	n (d/dak)	AA <sup>0</sup>
150	8	460	8	770	10	1400	10,4	2950	29,2	4500	39,7
160	8	470	8	780	10	1450	10,5	3000	29,8	4550	39,8
170	8	480	8	790	10	1500	10,6	3050	30,5	4600	39,9
180	8	490	8	800	10	1550	11,2	3100	31,1	4650	40,1
190	8	500	8	810	10	1600	11,9	3150	31,8	4700	40,2
200	8	510	10	820	10	1650	12,6	3200	32,5	4750	40,3
210	8	520	10	830	10	1700	13,3	3250	33,1	4800	40,4
220	8	530	10	840	10	1750	14	3300	33,8	4850	40,5
230	8	540	10	850	10	1800	14,6	3350	34,4	4900	40,7
240	8	550	10	860	10	1850	15,3	3400	35,1	4950	40,8
250	8	560	10	870	10	1900	16	3450	35,7	5000	40,9
260	8	570	10	880	10	1950	16,7	3500	36,4	5050	41
270	8	580	10	890	10	2000	17,4	3550	36,6	5100	41,1
280	8	590	10	900	10	2050	18	3600	36,8	5150	41,3
290	8	600	10	910	10	2100	18,6	3650	37	5200	41,4
300	8	610	10	920	10	2150	19,2	3700	37,2	5250	41,5
310	8	620	10	930	10	2200	19,8	3750	37,5	5300	41,6
320	8	630	10	940	10	2250	20,5	3800	37,7	5350	41,7
330	8	640	10	950	10	2300	21,1	3850	37,9	5400	41,9
340	8	650	10	960	10	2350	21,7	3900	38,1	5450	42
350	8	660	10	970	10	2400	22,3	3950	38,3	5500	42,1
360	8	670	10	980	10	2450	22,9	4000	38,5	5550	42,2
370	8	680	10	990	10	2500	23,6	4050	38,6	5600	42,3
380	8	690	10	1000	10	2550	24,2	4100	38,7	5650	42,5
390	8	700	10	1050	10	2600	24,8	4150	38,9	5700	42,6
400	8	710	10	1100	10	2650	25,4	4200	39	5750	42,7
410	8	720	10	1150	10	2700	26,1	4250	39,1	5800	42,8
420	8	730	10	1200	10	2750	26,7	4300	39,2	5850	42,9
430	8	740	10	1250	10	2800	27,3	4350	39,3	5900	43,1
440	8	750	10	1300	10,3	2850	28	4400	39,5	5950	43,2
450	8	760	10	1350	10,3	2900	28,6	4450	39,6	6000	43,3

**Çizelge B.2. %50 Gaz keleşbeği açıklığında interpolasyon yöntemiyle elde edilen ateşleme avans açıları**

n (d/dak)	AA <sup>0</sup>	n (d/dak)	AA <sup>0</sup>	n (d/dak)	AA <sup>0</sup>	n (d/dak)	AA <sup>0</sup>	n (d/dak)	AA <sup>0</sup>	n (d/dak)	AA <sup>0</sup>
150	8	460	8	770	10	1400	10	2950	23,5	4500	34
160	8	470	8	780	10	1450	10	3000	23,5	4550	34
170	8	480	8	790	10	1500	10	3050	23,5	4600	34
180	8	490	8	800	10	1550	11	3100	23,5	4650	35
190	8	500	8	810	10	1600	11	3150	26	4700	35
200	8	510	10	820	10	1650	10	3200	26	4750	35
210	8	520	10	830	10	1700	10	3250	27	4800	35
220	8	530	10	840	10	1750	10	3300	27	4850	35
230	8	540	10	850	10	1800	10	3350	27	4900	35
240	8	550	10	860	10	1850	10	3400	28	4950	36
250	8	560	10	870	10	1900	15	3450	28	5000	36
260	8	570	10	880	10	1950	15	3500	28	5050	36
270	8	580	10	890	10	2000	15	3550	28	5100	36
280	8	590	10	900	10	2050	15	3600	28	5150	36
290	8	600	10	910	10	2100	15	3650	28	5200	37
300	8	610	10	920	10	2150	18	3700	28	5250	37
310	8	620	10	930	10	2200	19	3750	28	5300	38
320	8	630	10	940	10	2250	19	3800	33	5350	38
330	8	640	10	950	10	2300	19	3850	33	5400	38
340	8	650	10	960	10	2350	20	3900	31,5	5450	38
350	8	660	10	970	10	2400	21	3950	31,5	5500	38
360	8	670	10	980	10	2450	21	4000	31,5	5550	38
370	8	680	10	990	10	2500	21	4050	31,5	5600	38
380	8	690	10	1000	10	2550	21	4100	31,5	5650	38
390	8	700	10	1050	10	2600	21	4150	34	5700	38
400	8	710	10	1100	10	2650	22	4200	34	5750	38
410	8	720	10	1150	10	2700	22	4250	34	5800	38
420	8	730	10	1200	10	2750	22	4300	34	5850	38
430	8	740	10	1250	10	2800	25	4350	34	5900	38
440	8	750	10	1300	10	2850	25	4400	34	5950	38
450	8	760	10	1350	10	2900	23,5	4450	34	6000	38

**Çizelge B.3. %75 Gaz keleşbeği açıklığında interpolasyon yöntemiyle elde edilen ateşleme avans açıları**

n (d/dak)	AA <sup>0</sup>	n (d/dak)	AA <sup>0</sup>	n (d/dak)	AA <sup>0</sup>	n (d/dak)	AA <sup>0</sup>	n (d/dak)	AA <sup>0</sup>	n (d/dak)	AA <sup>0</sup>
150	8	460	8	770	10	1400	10	2950	20,7	4500	26,4
160	8	470	8	780	10	1450	10	3000	21	4550	26,5
170	8	480	8	790	10	1500	10	3050	21,3	4600	26,6
180	8	490	8	800	10	1550	10,4	3100	21,6	4650	26,8
190	8	500	8	810	10	1600	10,8	3150	21,9	4700	26,9
200	8	510	10	820	10	1650	11,2	3200	22,2	4750	27
210	8	520	10	830	10	1700	11,6	3250	22,5	4800	27,1
220	8	530	10	840	10	1750	12	3300	22,8	4850	27,2
230	8	540	10	850	10	1800	12,4	3350	23,1	4900	27,4
240	8	550	10	860	10	1850	12,8	3400	23,4	4950	27,5
250	8	560	10	870	10	1900	13,2	3450	23,7	5000	27,6
260	8	570	10	880	10	1950	13,6	3500	24	5050	27,7
270	8	580	10	890	10	2000	14	3550	24,1	5100	27,8
280	8	590	10	900	10	2050	14,4	3600	24,2	5150	28
290	8	600	10	910	10	2100	14,8	3650	24,4	5200	28,1
300	8	610	10	920	10	2150	15,2	3700	24,5	5250	28,2
310	8	620	10	930	10	2200	15,6	3750	24,6	5300	28,3
320	8	630	10	940	10	2250	16	3800	24,7	5350	28,4
330	8	640	10	950	10	2300	16,4	3850	24,8	5400	28,6
340	8	650	10	960	10	2350	16,8	3900	25	5450	28,7
350	8	660	10	970	10	2400	17,2	3950	25,1	5500	28,8
360	8	670	10	980	10	2450	17,6	4000	25,2	5550	28,9
370	8	680	10	990	10	2500	18	4050	25,3	5600	29
380	8	690	10	1000	10	2550	18,3	4100	25,4	5650	29,2
390	8	700	10	1050	10	2600	18,6	4150	25,6	5700	29,3
400	8	710	10	1100	10	2650	18,9	4200	25,7	5750	29,4
410	8	720	10	1150	10	2700	19,2	4250	25,8	5800	29,5
420	8	730	10	1200	10	2750	19,5	4300	25,9	5850	29,6
430	8	740	10	1250	10	2800	19,8	4350	26	5900	29,8
440	8	750	10	1300	10	2850	20,1	4400	26,2	5950	29,9
450	8	760	10	1350	10	2900	20,4	4450	26,3	6000	30

## ÖZGEÇMİŞ

### **Eğitim Durumu:**

Ortaokul–Lise: Bursa Erkek Lisesi (1994).

Lisans: Uludağ Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Elektronik Mühendisliği (1999).

Yüksek Lisans: Uludağ Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Makine Müh. Otomotiv Ana Bilim Dalı (2004).

### **Yabancı Dil:**

İngilizce (2010 Mart Dönemi Üniversitelerarası Kurul Yabancı Dil Sınavı Sınav Sonucu: 66.250).

### **Mesleki İlgi Alanları:**

Assembly , C , C++ programlama dilleri ile yazılım geliştirme.

Analog - Sayısal devre simülasyon ve tasarımları.

Bilgisayar tabanlı kontrol uygulamaları.

Mikro denetleyici tabanlı kontrol uygulamaları.

Lineer ve Bond grafikleri metotlarını kullanarak mühendislik sistemlerinin analizlerinin, MATLAB / Simulink ortamında gerçekleştirilmesi.

Otomotiv elektroniği.

İçten yanmalı motor performans testleri.

Alternatif yakıtlar.

### **İş Deneyimi ve Tanımı:**

2000- ..... Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda araştırma görevlisi.

Farklı yakıt tipleri için benzinli ve dizel motorlara ait elektronik kontrol ünitelerinin ve bu ünitelere gömülen yazılımların, performans parametrelerine bağlı olarak yeniden tasarlanarak gerekli test sistemlerinin oluşturulması.

### **Danışmanlıklar:**

Uludağ Üniversitesi ve Robert Bosch Türkiye arasında imzalanan protokol ile, üretim hattı optimizasyon çalışmaları (2003).



## **Görev Aldığı Projeler:**

**Proje No: UAP(M)-2010/17. Sıra Tip LPG Sistemine Sahip Araçlarda Kullanılan Motor Kontrol Üniteleri İçin Optimum Püskürtme ve Ateşleme Avans Stratejilerinin Belirlenmesi (2010-2012). Destekleyen Kuruluş: Uludağ Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Birimi**

İçten yanmalı bir motorun kontrol ünitesine diyagnoz soketi vasıtasıyla bağlanılarak, elektronik kontrol ünitesine (EKÜ) gömülmüş ve aracın kendi orijinal yakıtı için optimize edilmiş harita ve/veya değişkenleri yeni yakıt tipi için yeniden optimize edilmesi projenin temel çalışma konusudur. Bu çerçevede ateşleme zamanı, yakıt enjeksiyon miktarları gibi önemli motor parametrelerinin yanı sıra sınırlandırılmış bir çok parametrenin sınırları da yeniden belirlenerek kullanılan yeni yakıt için en verimli çalışma şartları araştırılmaktadır.

**Proje No: 107M405. Buji Ateşlemeli Motorlarda LPG Kullanımını Optimize Eden Elektronik Kumanda Stratejilerinin Geliştirilmesi (2007- 2010). Destekleyen Kuruluş: Tübitak.**

Bu çalışmada temel olarak, içten yanmalı motorların, LPG ile kullanımlarında ulaşılabilecek en yüksek verimde kullanılmaları hedeflenmiştir. Buna yönelik olarak mevcut sistemlerin, böyle bir verimlilikle kullanılmalarına engel olacak unsurların ne olabileceğinden hareketle bir iyileştirme stratejisi oluşturulmuştur.

Halen karbüratörlü ve bazı elektronik kontrol ünitesi (EKÜ) benzin püskürtmeli araçlarda kullanılan 1. nesil LPG sistemleri ile yaklaşık son 5-6 yıldır elektronik kumanda ünitesi (EKÜ) benzin püskürtmeli araçlarda kullanılan 2. nesil ve "sıralı tip" diye bilinen püskürtmeli LPG sistemleri birbirlerinden çok farklıdır. Bu projenin esas hedefi 2.neslin ıslahı olduğu halde her iki sistem ile de çalışmalar yapılmış ve hem benzinliye göre diğerlerinin üstünlüğü, hem bu iki nesil arasındaki performans farklılıkları, hem de geliştirdiğimiz kontrol üniteleri ile sağlanan ilave üstünlük (2. nesle göre) bilimsel zeminde ortaya konmuştur.

İyileştirmeye esas olabilecek en önemli parametrenin ateşleme avansı olabileceği öngörüsünden hareketle, birinci aşamada karbüratörlü bir motorun orijinal ateşleme avans eğrileri sınırlı vakum değerleri için literatürden bulunmuştur. Daha sonra farklı çalışma şartlarındaki farklı vakumlar için gerekli avans değerleri interpolasyonla hesaplanmıştır.

İkinci aşamada, proje teklifinde bulunmadığı halde geliştirilmesi hedeflenen sistemin, halen 1. nesil LPG sistemi kullanan araçlara uygulanması durumunda nasıl bir tasarruf sağlanabileceğini göstermek için, karbüratörlü bir motor önce benzin ve 1. nesil LPG kiti ile kullanılmıştır.

Daha sonra projemizde geliştirilen ateşleme kontrol ünitesi kullanılarak, ileride faydasını umduğumuz ateşleme avansı değişikliklerinin muhtemel sonuçları hakkında bir fikir sahibi olmak için, orijinal avans değerlerinden farklı bazı avans değerleri karbüratörlü motorun benzinle ve 1. nesil LPG sistemi ile çalışmalarında denenmiştir.

Dördüncü aşamada, projenin esas hedefine uygun olarak ilk defa bu projede gerçekleştirilen ateşleme ve püskürtme kontrol üniteleri ile birlikte 2. nesil “sıralı tip” LPG püskürtme kiti ve motorun orijinal avans değerleri kullanılarak deneyler yapılmıştır. Böylece projenin en önemli hedeflerinden biri olan “kendi püskürtme sistemimizi ve ateşlememizi bağımsız olarak kontrol etme” hedefine başarı ile ulaşılmıştır. Ancak motor performansı bakımından bu aşamada halen kullanılan 2. nesil LPG sistemine kıyasla farklı bir beklenti yoktur.

Beşinci aşamada ise bir diğer ana hedefimiz olan ve “2. nesil sistemlerin benzinli araç EKÜ’sü ile kullanılmalarında özellikle avans açısı olmak üzere gerekli tüm parametrelerde LPG’ye özgü bir değişiklik yapılmamaktadır” gerçeğinden hareketle, ateşleme avansında yapılan değişikliklerle motorun performansında halen uygulamadaki 2. nesil motorlara göre olabilecek performans farklılıkları gözlenmiştir. Avansla ilgili yakıt özellikleri (alev hızı) bakış açısından LPG benzine göre en az fayda sağlayabilecek yakıt olmasına rağmen, aynı veya daha yüksek güçlerde yakıt sarfiyatında %4–10 arası azalmalar görülebilmektedir.

Son olarak bazı geçici rejim şartları ile ilgili çalışmalar yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

Bütün bunlar yapılırken 3-yollu katalitik dönüşüme en uygun hava fazlalık katsayısı değeri olan 1 civarında kalınmaya gayret edilmiştir.

Sonuçlar motor devrine karşılık motor gücü, moment, özgül yakıt sarfiyatı ve önemli egzoz emisyonları bazında sunulmuştur.

### **Yüksek Lisans Tezi:**

#### **Buji Ateşlemeli Bir Doğalgaz Motorunun Performans Optimizasyonu (2004).**

Ateşleme zamanlaması ve yakıt hava oranı değerlerinin birer değişken olarak alındığı optimizasyonun, PC tabanlı bir kontrol sistemi vasıtasıyla; efektif özgül yakıt sarfiyatı, moment, güç ve egzoz emisyon parametreleri çerçevesinde gerçekleştirilmesi planlanmıştır. Yazılım ve donanım anlamında söz konusu kontrol sisteminin herhangi bir SI motora uygulanabilmesi noktasında oldukça esnek olması planlanarak, optimum değerlerin kolayca tespiti hedeflenmiştir.

### **Katıldığı Etkinlikler ve Eğitimler:**

Motor Simülasyonları Eğitimi. Eğitimi veren kuruluş: Sherpa Engineering – Santor Sanal Motor İleri Mühendislik Hiz. A.Ş. Süre:10 gün (2006).

PSA – FIAT - TOFAŞ ortaklığında gerçekleştirilen Mini Cargo projesi prototip fazında, motor - şanzıman kalibrasyon ve testleri üzerine çalışmalar (2006).

ODTÜ Kültür Merkezi’nde gerçekleştirilen Tasarım, Otomasyon-Kontrol Uygulamaları, İmalat Teknolojileri ve Sistemleri, Endüstriyel Tasarım Arge Proje Pazarı’ nda “Buji Ateşlemeli Benzin Motorunun Doğalgaz Optimizasyonu” konulu proje sunumu.(2002).

## **Yayın Listesi:**

### **SCI, SCI-Expanded İndekslerinde Yayınlanan Makaleler**

**Erkuş, B., Sürmen, A., Karamangil, M.İ., Arslan, R., Kaplan, C. 2012.** The effect of ignition timing on performance of LPG injected SI engine. *Energy Education Science and Technology Part A-Energy Science and Research*, Volume 28. Issue 2: 1199-1206.

### **Uluslararası Sempozyum - Kongrelerde Yayınlanan Bildiriler**

**Erkuş, B., Sürmen, A., Karamangil, M.İ., Arslan, R., Kaplan, C. 2011.** The effect of ignition timing on performance of LPG injected SI engine. 5th European Combustion Meeting, 28th June – 1st July, 2011, Cardiff, Wales.

**Erkuş, B., Sürmen, A., Karamangil, M.İ., Arslan, R., Kaplan, C. 2010.** Effect of a specifically developed management system on the performance of an SI engine. 11. Uluslararası Yanma Sempozyumu, 24-25 Haziran, 2010, Saraybosna.

**Erkuş, B., Sürmen, A. 2004.** Design of control system for performance optimization of CNG-fueled spark ignition engines. 8. Uluslararası Yanma Sempozyumu, 8-9 Eylül 2004, Ankara.

### **Ulusal Sempozyum-Kongrelerde Yayınlanan Bildiriler**

**Erkuş, B., Yüksel, İ., Şefkat, G. 2006.** Sürtünmesiz fren sistemi tasarımı ve denetimi üzerine bir inceleme. 3. Otomotiv Teknolojileri Kongresi OTEKON'06, 26-28 Haziran 2006, Bursa.

**Erkuş, B., Sürmen, A. 2005.** Benzin motorunun doğalgaz performans optimizasyonu için tasarlanan test sistemi. IX. Otomotiv ve Yan Sanayi Sempozyumu – 2005, Bursa.

### **Ulusal Dergilerde Yayınlanan Makaleler**

**Erkuş, B., Sürmen, A. 2008.** Benzin motorunun doğalgaz performans optimizasyonu için tasarlanan test sistemi. *Mühendis ve Makine*, Cilt:49 Sayı:585 18-24.