



**DİZEL YAKITI İLE BİRLİKTE LPG KULLANAN DUAL YAKITLI BİR
DİZEL MOTORUN VERİMLİLİK PERFORMANS VE EMİSYON
YÖNÜNDEN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

Coşkun ÖZCAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2018

Coşkun ÖZCAN tarafından hazırlanan “DİZEL YAKITI İLE BİRLİKTE LPG KULLANAN DUAL YAKITLI BİR DİZEL MOTORUN VERİMLİLİK PERFORMANS VE EMİSYON YÖNÜNDEN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Makina Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Mecit SİVRİOĞLU

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Prof. Dr. Veli ÇELİK

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Dr. Öğr. Üyesi İbrahim ATILGAN

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 09/07/2018

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Coşkun ÖZCAN

09/07/2018

DİZEL YAKITI İLE BİRLİKTE LPG KULLANAN DUAL YAKITLI BİR DİZEL
MOTORUN VERİMLİLİK PERFORMANS VE EMİSYON YÖNÜNDEN DENEYSEL
OLARAK İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Coşkun ÖZCAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2018

ÖZET

Dizel motorlarında kullanılan petrol yakıtının sürdürülebilir bir enerji kaynağı olmaması ve yaydığı emisyonlar araştırmacıları uzun yıllardan bu yana sıkıştırma ateşlemeli motorlar için alternatif yakıt arayışına yönlendirmiştir. Revize edilen emisyon yönetmeliklerince sınır değerlerin sürekli olarak daha da sıkılaştırıldığı günümüzde, üretilen içten yanmalı motorların emisyon değerlerinin mevzuata uygun hale getirilmesi zorlaşmaktadır. Bu sebeple emisyon kontrol sistemleri daha karmaşık ve maliyetli olmaktadır. Araç seçiminde yakıt tüketimi ve performans marka değeri ile birlikte öncelikli tercih kriterlerini oluşturmaktadır. Artan akaryakıt fiyatları, rekabetçi olabilmek adına otomotiv firmalarını daha verimli motorlar üretmeye sevk etmektedir. İşte bu ekonomik ve çevresel kaygılar nedeniyle dizel motorunu çevreye duyarlı kalmak suretiyle daha ekonomik hale getirebilmek için bu tez çalışması gerçekleştirilmiştir. Uygulaması kolay, düşük maliyetli ve motoru alternatif yakıtın yanı sıra orijinal yakıtı ile de kullanmaya imkan tanıyan LPG dönüşüm sistemi dizel motoru için adapte edilmiş ve oldukça yaygın kullanımı olan bir hafif ticari araca uygulanmıştır. Yapılan çalışma neticesinde %7,8 seviyesinde yakıt tasarrufu ile birlikte motor performansında normal sürüş devirlerinde (2200-3000 d/d) dikkate değer artış sağlanmıştır. Deney aracının sahip olduğu tüm emisyon kontrol sistemlerine rağmen emisyon değerlerinde yoğun bir artış gözlemlenmiştir. Dönüşüm yapılmış aracın emisyon değerleri yasal sınırlar içerisinde kalmasına rağmen, öngörülemeyen emisyon kontrol sistemi arızaları ve sistemin fayda maliyet analizi dikkate alındığında, dizel araç motorunun dizel ve LPG yakıt çifti için tadilatını içeren bu dönüşümün kazançlı bir uygulama olmadığı kanısına varılmıştır.

Bilim Kodu : 91440
Anahtar Kelimeler : Dual yakıtlı motorlar, LPG dönüşüm sistemleri, dizel motorlar
Sayfa Adedi : 87
Danışman : Prof. Dr. Mecit SİVRİOĞLU

AN EXPERIMENTAL STUDY ON THE EFFICIENCY, PERFORMANCE AND
EXHAUST EMISSIONS OF A DUAL FUEL ENGINE, FUELED WITH DIESEL AND
LPG

(M. Sc. Thesis)

Coşkun ÖZCAN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2018

ABSTRACT

The fact that the petroleum fuel used in diesel engines is not a sustainable energy source and its emissions has motivated researchers to study for alternative fuels for compression-ignition engines for many years. At present time, produced internal combustion engines are being enacted for regulations more difficultly while emissions limit values are constantly being tightened in the revised emission regulations. For this reason, emission control systems are more complicated and costly. Vehicle's fuel consumption and performance are priority preference criteria with brand value for choice of vehicle. Increasing fuel prices are driving automotive companies to produce more efficient engines in order to be competitive. Those economic and environmental concerns were the subject of this thesis aiming to render diesel engine more economical provided environmentally sensitive. An LPG conversion system, which is easy to implement, low cost and also allows running engine with its original fuel as well as alternative fuel, was modified and implemented to a light commercial vehicle which is widespread in use. In the context of this study, around 7,8% fuel economy was achieved with considerable increase in engine performance at normal driving speeds (2200-3000 d/d). Despite whole emission control systems of the test vehicle, an intense increase in emission values was observed. Although emission values of the converted vehicle stay within legal limits, considering unpredictable emission control system malfunctions and cost-benefit analysis of the system, a conclusion is reached that converting diesel engine for diesel and LPG dual fuel is not a profitable application.

Science Code : 91440
Key Words : Dual fuel engines, LPG conversion systems, diesel engines
Page Number : 87
Supervisor : Prof. Dr. Mecit SİVRİOĞLU

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca bana hep yol gösteren ve desteğini esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Mecit SİVRİOĞLU'na saygı ve minnetlerimi sunarım. Bilgi ve tecrübesinin yanı sıra, çalışmanın teknik altyapısının hazırlanması ve deneyler için firmasının imkanlarını sunan Sayın Ömer ATİKER'e teşekkür ederim.

Hayatım boyunca maddi ve manevi destekleri ile hep yanımda olan kıymetli aileme ve sevgili eşime şükranlarımı sunarım.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ	1
2. DİZEL MOTORUN TEMEL PRENSİPLERİ VE DİZEL YAKITI ...	7
2.1. Dizel Çevrimi	8
2.2. Dizel Yakıtı.....	9
2.2.1. Özgül ağırlık	10
2.2.2. Setan sayısı	11
2.2.3. Viskozite	11
2.2.4. Uçuculuk	11
2.2.5. Parlama noktası ve yanma noktası.....	12
2.2.6. Akma noktası.....	12
2.3. Dizel Motorunda Karışımın Oluşturulması ve Yanma	12
2.4. Dizel Motorundan Yayılan Emisyonlar	14
2.4.1. Karbondioksit	15
2.4.2. Karbonmonoksit	15
2.4.3. Azotoksit.....	15
2.4.4. Hidrokarbonlar.....	16

2.4.5 Partikül maddeler.....	16
2.4.6. Kükürtlü Bileşenler.....	17
3. İÇTEN YANMALI MOTORLARDA ALTERNATİF YAKIT OLARAK LPG KULLANIMI	19
3.1. LPG Yakıtının Temel Özellikleri	19
3.2. Araç Yakıt Sisteminin LPG için Dönüşümü.....	22
3.2.1. Birinci nesil: basit karıştırıcı LPG sistemleri	22
3.2.2. İkinci nesil: elektronik kontrolü LPG sistemleri	24
3.2.3. Üçüncü nesil: sıralı enjeksiyonlu LPG sistemleri.....	25
3.2.4. Dördüncü nesil: sıvı LPG enjeksiyonlu sistemler	27
3.3. LPG Dönüşüm Sistemlerinin Temel Bileşenleri	28
3.4. Araçlarda Yakıt Sisteminin LPG İçin Uyarlanması	30
3.5. LPG Dönüşümü Yapılmış Motorlarda Karşılaşılabilecek Sorunlar ve Çözümleri	30
4. DİZEL MOTORUNDA YAKIT OLARAK MOTORİN İLE BİRLİKTE LPG KULLANIMI	33
5. DİZEL LPG DÖNÜŞÜM SİSTEMİ UYGULAMASI.....	39
5.1. Dizel LPG Dönüşüm Sisteminin Temel Bileşenleri ve Görevleri	41
5.1.1. Dolum noktası.....	41
5.1.2. LPG tankı.....	42
5.1.3. Multivalf (çoklu valf)	42
5.1.4. Kapama valfleri	43
5.1.5. LPG regülatörü	43
5.1.6. LPG filtresi	44
5.1.7. MAP sensörü	44
5.1.8. Sıcaklık sensörü	45
5.1.9. LPG enjektörleri	45

Sayfa

5.1.10. Elektronik kontrol ünitesi (EKÜ)	46
5.1.10. Elektronik kontrol ünitesi (EKÜ)	46
5.1.11. Devir sensörü	46
5.1.12. Yakıt seçici anahtar ve seviye göstergesi	47
5.1.13. İletim elemanları	47
5.2. Yakıt Sistemi Dönüşümü Yapılan Araç Bilgileri	48
6. DENEYSEL ÇALIŞMA VE BULGULAR.....	51
6.1. Test Düzeneği	51
6.2. Aracın Performans Değerlerindeki Değişim.....	54
6.3. Aracın Emisyon Değerlerindeki Değişim.....	56
6.4. Yakıt Tüketimi	60
6.5. Dizel LPG Dönüşüm Sisteminin Fayda/Maliyet Hesabı	63
6.6. Dizel LPG Dönüşüm Sisteminin Güvenilirliği ve İdamesi	63
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	65
KAYNAKLAR	67
EKLER.....	73
Ek-1. Dizel yakıtı ile çalıştırılan motorun devrine bağlı olarak güç ve tork değerlerindeki değişim	74
Ek-2. Dizel + LPG yakıtı ile çalıştırılan motorun devrine bağlı olarak güç ve tork değerlerindeki değişim	80
Ek-3. Euro 5 emisyon sınır değerleri	85
Ek-4. Konya ili Selçuklu ilçesinde motorin ve LPG fiyatlarının bir yıllık değişimi	86
ÖZGEÇMİŞ.....	87

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. Dünyadan otogaz piyasası verileri	3
Çizelge 1.2. Yakıt cinslerine göre trafiğe kayıtlı araçların 2004-2017 yılları arasında dağılımı.....	4
Çizelge 2.1. Dizel ve benzinli motorlarda yanmanın karşılaştırılması	8
Çizelge 2.2. Dizel yakıtı için ASTM standartları	10
Çizelge 3.1. Propan ve bütanın fiziksel ve kimyasal özellikleri	20
Çizelge 3.2. Propan ve bütanın yanma karakteristikleri	20
Çizelge 3.3. LPG içerisindeki propan ve butan oranının Avrupa ülkelerinde yaz ve kış aylarındaki değişimi	21
Çizelge 5.1. Deney aracının teknik özellikleri.....	48
Çizelge 5.2. Deney aracı motorunun teknik özellikleri	49
Çizelge 6.1. Şasi dinamometresinin teknik özellikleri.....	53
Çizelge 6.2. Emisyon ölçüm cihazının teknik özellikleri	54
Çizelge 6.3. Absorpsiyon katsayısı sınır değerleri.....	56
Çizelge 6.4. Emisyon testi sonuçları (absorpsiyon katsayısı).....	57
Çizelge 6.5. N1 kategori dizel motorlu araç için Euro 5 emisyon sınır değerleri.....	57
Çizelge 6.6. Emisyon testi sonuçları (motor devrine bağlı).....	58
Çizelge 6.7. Yakıt tüketiminin deneysel sonuçları	62

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Dört silindirli Wolkswagen otomobil dizel motoru	7
Şekil 2.2. Dizel motorun çalışma evreleri ve P-v diyagramı	9
Şekil 2.3. Direkt enjeksiyonlu dizel motorunun yanma fazları	13
Şekil 3.1. Birinci nesil basit karıştırıcı LPG sistemi.....	23
Şekil 3.2. Elektronik kontrolü ikinci nesil sistem.....	24
Şekil 3.3. Üçüncü nesil sıralı enjeksiyonlu LPG sistemi	26
Şekil 3.4. Dördüncü nesil LPG dönüşüm sistemi	28
Şekil 5.1. Dizel-LPG dönüşüm sisteminin temel çalışma prensibi.....	39
Şekil 5.2. Dizel LPG dönüşüm sisteminin temel bileşenleri	40
Şekil 6.1. Test düzeneğinin şematik görünümü	51
Şekil 6.2. Yakıt türüne göre motor gücündeki değişim	55
Şekil 6.3. Yakıt türüne göre motor torkundaki değişim.....	56
Şekil 6.4. CO emisyonunun motor devrine bağlı değişimi	58
Şekil 6.5. HC emisyonunun motor devrine bağlı değişimi	59
Şekil 6.6. CO ₂ emisyonunun motor devrine bağlı değişimi.....	59

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 5.1. Dolum noktası.....	41
Resim 5.2. Ø680 mm dıştan boğazlı simit tank (50 lt)	42
Resim 5.3. LPG multivalfi	43
Resim 5.4. LPG selenoid valfi ve kapama valfi.....	43
Resim 5.5. LPG regülatörü	44
Resim 5.6. LPG filtresi	44
Resim 5.7. MAP sensörü	45
Resim 5.8 Sıcaklık sensörü	45
Resim 5.9. Dört silindirli motor için LPG enjektörleri	45
Resim 5.10. Elektronik kontrol ünitesi	46
Resim 5.11. Devir sensörü	46
Resim 5.12. Yakıt seçici anahtar ve seviye göstergesi	47
Resim 5.13. Farklı tiplerde iletim elemanları	48
Resim 5.14. Araç üzerinde dizel - LPG dönüşümü sisteminin gösterimi.....	50
Resim 5.15. Dizel - LPG dönüşümü sisteminin programlanması.....	50
Resim 6.1. Test alanı ve test düzeneği	52
Resim 6.2. Test aracın test düzeneğine alınması	52
Resim 6.3. Şasi dinamometresi	53
Resim 6.4. Emisyon ölçüm cihazı.....	54

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

i	Motor katsayısı
K	Kelvin
m	Yakıt kütlesi
$\dot{m}$	Yakıtın kütleli debisi
n	Motor devri
S	Silindir sayısı
$\dot{V}$	Yakıtın hacimsel debisi
$\bar{V}$	Çevrimde püskürtülen hacimsel yakıt miktarı
λ	Hava/yakıt oranı
ρ	Yoğunluk

Kısaltmalar

Açıklamalar

AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ASTM	Amerikan Malzeme ve Test Derneği
AT	Avrupa Topluluğu
CNG	Sıkıştırılmış doğalgaz
DEE	Dietil eter
DME	Dimetil eter
ECE	Avrupa Ekonomik Komisyonu
EGR	Egzoz gazı devridaim sistemi
EKÜ	Elektronik kontrol ünitesi
HFK	Hava fazlalık katsayısı
HP	Beygir gücü

Kısaltmalar**Açıklamalar****LPG**

Sıvılaştırılmış petrol gazı

MAP

Manifold mutlak basıncı

NŞA

Normal şartlar altında

PPM

Milyondaki partikül sayısı

RM

Referans kütle

RPM

Dakikadaki devir sayısı

TL

Türk Lirası

TS

Türk Standardı

TSE

Türk Standardları Enstitüsü

1. GİRİŞ

Günümüzde hava kirliliğinin tedbir alınmasını gerektiren sürekli bir çevre sorunu haline gelmesi, mevcut enerji kaynaklarının hızla tükenmesi ve artan yakıt fiyatları otomotiv sektörünü alternatif yakıtlar konusunda araştırmalar yapmaya yöneltmiştir. Son yıllarda artan çevre bilinci özellikle gelişmiş ülkelerde otomotiv endüstrisini çevreyi kirletmeyen, alternatif yakıtlı motorlar üretmeye sevk etmiştir.

Otomotiv sektöründe petrole alternatif enerji kaynağı arayışları 1930'lu yıllarda LPG'nin araçlarda yakıt olarak kullanımını gündeme getirmiştir. Özellikle kolay bulunması, ekonomik olması ve geleneksel yakıtlara oranla çevreyi daha az kirletmesi nedeniyle birçok ülkede kullanımı özendirilmekte ve yaygınlaştırılması yönünde çalışmalar yapılmaktadır [1].

Önceleri sabit tesis motorlarında kullanılan sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG-Liquefied Petroleum Gas) ve sıkıştırılmış doğal gaz (CNG-Compressed Natural Gas) motorlu taşıtlarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Gaz yakıtlar, karışımın oluşturulması, dağıtımı, ateşlenmesi ve yanmanın kontrolünde en az zorluk göstermeleri ayrıca emisyon değerlerinin düşük olması nedeniyle ideal alternatif yakıt olarak bilinmektedir [2].

LPG, yeni teknolojilere uyumlu olması, düşük fiyatı ve çevre duyarlı olması gibi özellikleri sebebiyle benzine ciddi bir alternatif olmuştur [3].

Sıvı halde depolanıp taşındığında enerji yoğunluğu bakımından dizel ve benzin yakıtları ile muadil tutulabilecek LPG, doğal gazla mukayese edildiğinde ise uygulama yönünden avantajlıdır. Doğalgazda olduğu gibi LPG de, konvansiyonel sıvı yakıtlarla karşılaştırıldığında daha düşük emisyon değerlerine ve sera gazı etkisine sahiptir [4].

Araçların yakıt sisteminin LPG için kolayca tadil edilebilir olması, kullanımının güvenli oluşu ayrıca benzin ve motorine kıyasla ucuz olması LPG'yi tercih sebebi yapmıştır. Son yapılan gerçek sürüş halindeki emisyon testlerine göre LPG'li araçların petrol yakıtlı araçlara göre %90 daha az partikül emisyonu ve %20 daha az CO₂ emisyonuna sahip

olduğu görülmüştür. Ayrıca LPG'li araçlar dizel muadillerine göre %98 daha az NO_x salınımı yapmaktadır [5].

Diğer taraftan, bazı ülkelerde LPG kullanımını teşvik edici kararlar alınmaktadır. İngiltere hükümeti, LPG dönüşüm ücretinin %70'ini karşılamaktadır. Ayrıca Londra'da şehir merkezlerine giriş tüm araçlara ücretli iken, LPG'li araçlar hiçbir ücret ödmeden bu merkezlere girebilmektedir. İtalya'da bir milyonun üzerinde taşıt LPG ile çalışmaktadır. Bunda, İtalyan hükümetinin LPG'li taşıtlar için yol vergisini kaldırmasının etkili olduğu bilinmektedir. İtalya'da buna ek olarak, özellikle trafiğin yoğun olduğu bölgelerde LPG'li araçlar her gün kullanılabilirken, benzinli ve dizel taşıtlar için sınırlamaya gidilmiştir. LPG Avrupa'nın diğer önemli merkezlerinde popülerliğini ve altyapısını artırmaktadır [6].

Otomotiv sektörünün gelişmesi ve yeni enerji kaynaklarının kullanımının gündeme gelmesi alternatif enerji kaynakları arayışının hızlanmasına neden olmuştur. Son yıllarda LPG ve CNG'nin kolay bulunması, ekonomik olması, geleneksel yakıtlara göre egzoz emisyonlarının düşük olması ve oktan sayılarının yüksek olması nedeniyle içten yanmalı motorlarda alternatif yakıt olarak kullanımı cazip hale gelmiştir [7].

Türkiye, ekonomik olarak gelişmekte olan bir ülke olduğundan petrol fiyat dalgalanmalarından en fazla etkilenen ülkelerdendir. LPG gibi alternatif motor yakıtlarının kullanımı ile özellikle kalkınmakta olan ülkeler gelecekte çıkabilecek enerji krizlerini daha kolay atlatabileceklerdir [8].

Dolum istasyonu bakımından Almanya, Hollanda, İtalya, Polonya ve Türkiye başta olmak üzere yeterli sayıya ulaşılmış durumdadır. Ayrıca ülkemiz, benzin ve motorin fiyatlarının yüksekliği bakımından Avrupa'da lider konumundadır. Bu da ülkemizde LPG kullanımının artmasına neden olmaktadır. LPG istasyonu sayısının yüksek olması, LPG kullanımının yaygınlaştığını göstermektedir [9].

Dünyanın farklı ülkelerinde 2015-2016 yılı arasında otogaz piyasasındaki değişime ait veriler Çizelge 1.1'de görülmektedir.

Çizelge 1.1. Dünyadan otogaz piyasası verileri [5]

	Tüketim (bin ton)		Araç Sayısı (bin)		Dolum istasyonu sayısı	
	2015	2016	2015	2016	2015	2016
Avustralya	610	532	420	360	3200	2500
Bulgaristan	391	396	490	500	2900	2900
Çin	990	990	165	165	550	550
Çek Cumhuriyeti	88	98	179	190	1100	1250
Fransa	81	72	207	210	1750	1670
Almanya	427	400	476	400	7000	7034
Yunanistan	250	260	400	415	780	860
Hindistan	330	346	2150	2250	1200	1250
İtalya	1648	1659	2137	2211	3600	3940
Japonya	1060	1002	229	221	1459	1440
G. Kore	3715	3515	2276	2185	2015	2031
Litvanya	122	115	100	100	690	690
Meksika	996	986	240	240	2150	2150
Hollanda	183	172	180	170	1750	1650
Polonya	1690	1790	2914	2977	5420	5390
Rusya	3030	3050	3000	3000	4900	4900
Sırbistan	220	223	525	525	700	700
İspanya	40	47	59	62	807	1000
Tayland	1731	1466	1050	920	1150	950
Türkiye	3069	3142	4272	4440	9961	10426
Ukrayna	1032	1385	2150	2250	3500	3500
İngiltere	82	71	135	120	1400	1250
ABD	532	625	147	155	3594	3700
Diğer	4104	4362	2528	2735	13749	14311
Toplam	26421	26704	26430	26 803	75325	76092

Türkiye, otogaz piyasasının büyüklüğü bakımından Güney Kore'nin ardından ikinci sırada gelmektedir. Türkiye'de 1990'lı yılların sonlarında kaldırılan otogaz yasağı ardından özellikle 2003 yılından itibaren otogaz piyasası büyük gelişim göstermiştir. 2009 yılında otogaz tüketimi benzin tüketiminin önüne geçmiştir. Öyle ki Türkiye, otogaz tüketimi benzin tüketiminin önüne geçmiş olan tek ülkedir. Türkiye'de toplam LPG tüketiminin 3/4'ünü otogaz oluşturmaktadır ve tüketilen LPG'nin %77'si ithal edilmektedir [5]. Türkiye'de LPG'li araçların sayısındaki değişim Çizelge 1.2.'de görülmektedir. Ekonomik bir tercih olması sebebiyle LPG'nin taşıtlarda kullanımı sürekli olarak artmıştır [10].

Çizelge 1.2 Yakıt cinslerine göre trafiğe kayıtlı araçların 2004-2017 yılları arasında dağılımı [10]

Yıl	Toplam	Benzin	Dağılım (%)	Dizel	Dağılım (%)	LPG	Dağılım (%)	Bilinmeyen	Dağılım (%)
2004	5 400 440	4 062 486	75,2	252 629	4,7	793 081	14,7	292 244	5,4
2005	5 772 745	3 883 101	67,3	394 617	6,8	1 259 327	21,8	235 700	4,1
2006	6 140 992	3 838 598	62,5	583 794	9,5	1 522 790	24,8	195 810	3,2
2007	6 472 156	3 714 973	57,4	763 946	11,8	1 826 126	28,2	167 111	2,6
2008	6 796 629	3 531 763	52,0	947 727	13,9	2 214 661	32,6	102 478	1,5
2009	7 093 964	3 373 875	47,6	1 111 822	15,7	2 525 449	35,6	82 818	1,2
2010	7 544 871	3 191 964	42,3	1 381 631	18,3	2 900 034	38,4	71 242	0,9
2011	8 113 111	3 036 129	37,4	1 756 034	21,6	3 259 288	40,2	61 660	0,8
2012	8 648 875	2 929 216	33,9	2 101 206	24,3	3 569 143	41,3	49 310	0,6
2013	9 283 923	2 888 610	31,1	2 497 209	26,9	3 852 336	41,5	45 768	0,5
2014	9 857 915	2 855 078	29,0	2 882 885	29,2	4 076 730	41,4	43 222	0,4
2015	10 589 337	2 927 720	27,6	3 345 951	31,6	4 272 044	40,3	43 622	0,4
2016	11 317 998	3 031 744	26,8	3 803 772	33,6	4 439 631	39,2	42 851	0,4
2017	11 401 452	3 044 258	26,7	3 859 039	33,8	4 455 332	39,1	42 823	0,4

Yakıt ekonomisi ve yüksek motor gücü sebebiyle tercih edilen, yakıt cinsine göre toplam trafiğe kayıtlı araçların %33,8 'lik kısmını oluşturan dizel araçlar, bilhassa ticari faaliyetler için çok yoğun olarak kullanıldıklarından toplam yakıt tüketimi bakımından araçlar arasında ilk sırada gelmektedir.

Bu araçların yakıt gideri, ülke bütçesi için dikkate değer bir ithalat kalemi oluşturmakta diğer taraftan çevreye olan olumsuz etkileri sebebiyle büyük sorunlara yol açmaktadır. Öyle ki başta Avrupa Birliği olmak üzere birçok ülke bilhassa şehir içinde bu araçların kullanımın yasaklamaya başlamış; birçok üretici dizel motorlu araçların üretimini yakın zamanda durdurma kararı almıştır.

Günümüzde artık elektrikli otomobiller ulaşımında yerini alsa da toplu ulaşım ve yük taşımacılığında kullanılan dizel araçlara tam olarak bir alternatif getirilememiştir. Dizel araçlara alternatif olarak CNG'li araçlar uzun zamandır şehir içi toplu ulaşım tercih edilmektedir. Fakat dizel araç motorlarının CNG için dönüşümünün zahmetli ve masraflı olması; orijinal yakıt ile kullanımın mümkün olmaması; CNG yakıt tanklarının araca getirdiği ilave yük ve hacim büyük dezavantaj olarak görülmektedir. Ayrıca CNG dolum istasyonlarının sayısı çok azdır ve bireysel araç sahiplerinin kullanımı mümkün değildir.

Bulunabilirliđi ve fiyat avantajı yüksek olan LPG'nin alternatif yakıt olarak kullanıldığı, dizel motorlu araçlar için geliştirilebilecek bir uygulama ile çevreye duyarlı kalarak ve motor performansını düşürmeden ekonomi sağlanması büyük bir kazanım olacaktır. Ülkemizde yaklaşık 20 yıldır benzinli araçların pozitif (kıvılcım) ateşlemeli motorlarında yapılan dönüşümlerden elde edilen bilgi birikimi ve tecrübe yeterli altyapıyı sunmaktadır. Hali hazırda yakıt sistemi dönüşümü sektöründe faaliyet gösteren birçok üretici ve tadilatçı firma bulunmaktadır. Ayrıca diğer akaryakıtlar kadar yaygın bir LPG dolum istasyonu ağı mevcuttur.

Literatürde bulunan ilgili çalışmalar incelendiğinde (bkz. Bölüm 4) dizel yakıtına belli miktarlarda LPG karıştırılması esasına dayalı birçok araştırma yapıldığı görülmüştür. Bu çalışmalar genelde çok fazla kontrol unsuru barındırmayan bir deney motoru üzerinde gerçekleştirilmiştir. Verilecek LPG miktarına eşdeğer miktarda dizel yakıtının silindire eksik verilmesi ile ekonomi sağlanmaya çalışılmıştır. Oysa ki, günümüz dizel araçlarının gelişmiş motor kontrol sistemleri, bu gibi bir uygulamaya izin vermemekte, aracın motoru arıza uyarısıyla durmakta ya da motorda büyük hasarlar meydana gelebilmektedir.

Bu tez çalışmasında, uygulaması kolay ve düşük maliyetli bir yöntem ile günümüz dizel araçlarında LPG'nin alternatif bir yakıt olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Piyasada mevcut ve onaylı LPG aksamı ile bir tadilat seti oluşturularak seçilen bir deney aracı motoruna adapte edilmiştir. Aracın kendi yakıt besleme ve emisyon kontrol sistemine müdahale edilmeden yapılan bu modifikasyon, istenildiği takdirde aracın orijinal yakıtı ile kullanımını mümkün kılmaktadır.

Yapılan yakıt sistemi dönüşümü neticesinde deney aracı olarak seçilen, ülkemiz karayollarında hali hazırda yaygın kullanımda olan hafif ticari aracın motor performansı, egzoz emisyonu ve yakıt ekonomisi incelenmiştir. Günümüz ortalama yakıt fiyatları dikkate alındığında %7,8 civarında yakıt ekonomisi elde edildiği; aracın performans değerlerinde dikkate değer artış sağlandığı; fakat emisyon değerlerinde yoğun artış meydana geldiği belirlenmiştir.

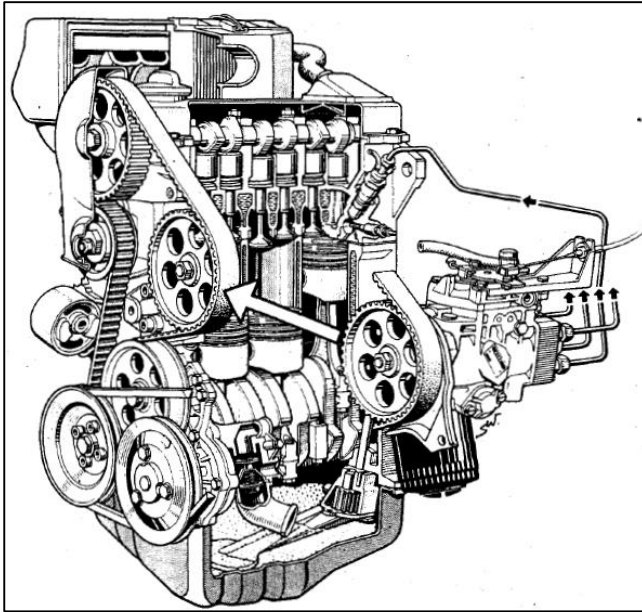
Araç üzerine entegrasyon Konya ilinde yerleşik Ömer Atiker Holding bünyesindeki atölyede, motor performans ve emisyon testleri Konya ilinde bulunan Federal Grup bünyesindeki otomobil test servisinde gerçekleştirilmiştir. Sağlanan yakıt ekonomisi,

uygulamanın güvenilirliği ve idamesi ile ilgili olarak veriler, şehir içi kullanım Konya’da olmak üzere Konya, Ankara ve İstanbul illerinde toplanmıştır.



2. DİZEL MOTORUN TEMEL PRENSİPLERİ VE DİZEL YAKITI

1892’de Rudolf Diesel tarafından icat edilen sıkıştırma ateşlemeli motorlar, kıvılcım ateşlemeli motorlara göre daha yüksek termal verime sahiptir. Genelde 4 stroklu olarak çalışan motorda, pistonun aşağı hareketi sırasında ve emme valfi açıldığı aralıkta hava emme manifoldundan silindire alınır. Alınan havanın miktarı motorun hızına göre değişmektedir. Emme ve egzoz valfleri kapalı durumundayken piston üst ölü noktaya kadar gelerek içerideki havayı sıkıştırır. Piston üst ölü noktaya gelmeden hemen önce atomize haldeki dizel yakıtı yüksek hızda silindire püskürtülür. Buharlaşmış yakıt silindir içinde bulunan yüksek basınç ve sıcaklıktaki hava ile karışır. Hava-yakıt karışımının sıcaklığı yakıtın tutuşma sıcaklığını geçtiğinde bir seri kimyasal reaksiyon sonucu tutuşma gerçekleşir [11]. Silindir içindeki basınç ve sıcaklık çok daha yüksek bir seviyeye ulaşarak genleşme prosesi sonucu piston yeniden alt ölü noktaya doğru hareket eder. Yüksek yanma sıcaklığından dolayı bu süreçte kalan dizel yakıtı buharlaşmaya ve yanmaya devam eder. Yanma prosesi piston alt ölü noktaya ulaşana dek devam eder ve egzoz valfi açılarak yanma ürünleri silindirden tahliye edilir. Silindir içi basınç ile egzoz manifold arasındaki basınç farkı, yanma ürünlerinin dışarı atılmasını sağlar. Sonrasında ise silindir için yeni bir çevrim başlar.



Şekil 2.1. Dört silindirli Volkswagen otomobil dizel motoru [11]

2.1. Dizel Çevrimi

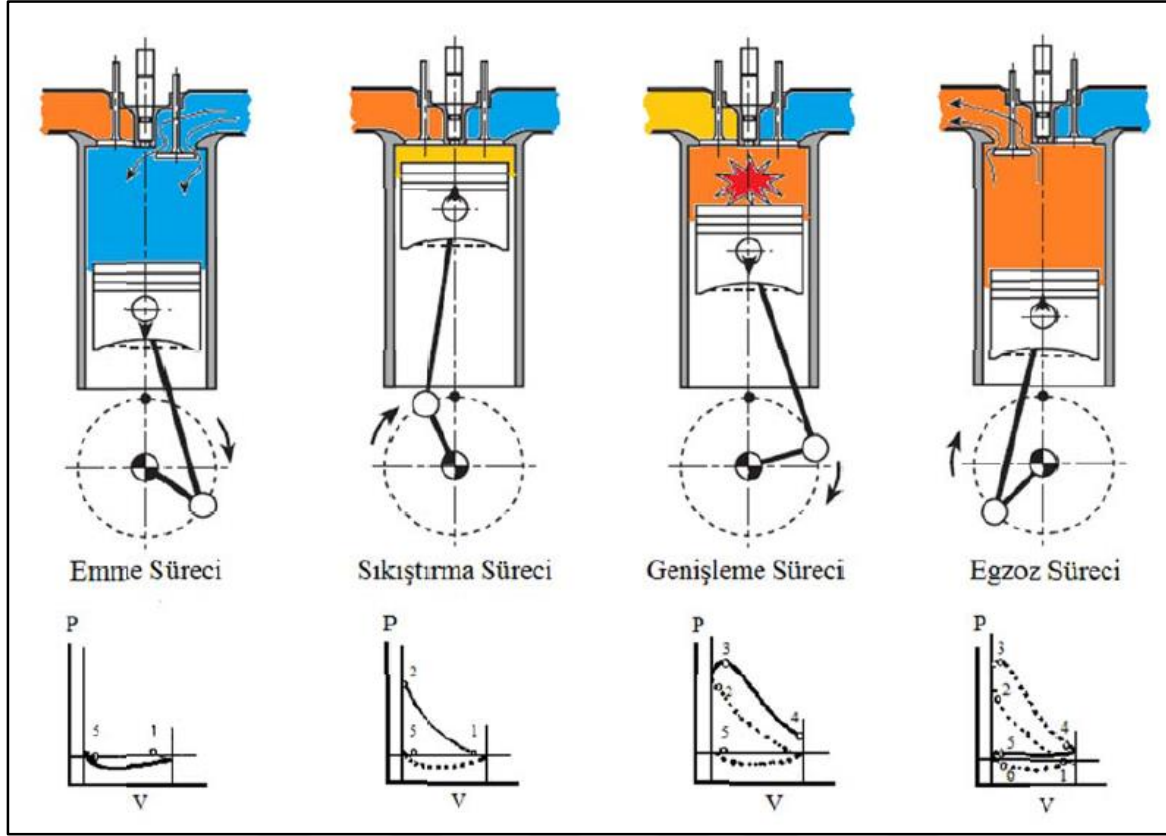
Evreleri ve P-v diyagramı Şekil 2.2’de verile dizel motorunun çalışması aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Emme strokunda silindir içersine hava alınır.
- Sıkıştırma strokunda emilen havanın sıcaklığı yükseltilir ve strok sonuna doğru dizel yakıtı püskürtülerek silindir içersine alınır.
- Dizel yakıtının buharlaşması, hava ile karışımı ardından tutuşma ve yanma sıkıştırma strokunun sonuna doğru başlar ve genişleme strokunda devam eder.
- Egzoz strokunda ise egzoz supabının açılması ile yanmış gazların dışarı atılması sağlanır [14].

Dizel çevrimin otto çevriminden ayrıldığı 2 nokta bulunmaktadır. Bunlar öncelikle yanmanın sabit hacimde değil de sıkıştırma sonunda sabit basınçta gerçekleşmesi diğeri ise silindir içersine sadece havanın emilerek sıkıştırılmasıdır. Silindir içine direk püskürtme yapılmayan benzin motorlarında yanma odasına yakıt–hava karışımı dolarken dizel motorlarda her zaman sadece hava alınır. Bu sebeple dizel motorlarda, silindire aynı sıcaklık ve basınçta giren taze dolgunun silindire girebilecek azami taze dolguya oranı olan volümetrik verim, dizel motorlarda benzinli motorlarla mukayese edildiğinde genellikle daha fazladır. Benzinli motorlarda havaya karışan yakıt silindire dolabilecek hava miktarını azaltmaktadır. Çizelge 2.1’de dizel ve benzinli motorlarda yanmanın karşılaştırılması yapılmıştır.

Çizelge 2.1. Dizel ve benzinli motorlarda yanmanın karşılaştırılması [13]

Özellik	Dizel Motoru	Benzinli Motor
Karışımın Oluşturulması	Silindir içinde	Silindir dışında
Karışım Tipi	Heterojen	Homojen
Ateşleme	Kendinden tutuşma	Kıvılcım ateşlemesi
Hava/Yakıt oranı	$\lambda_v \geq \lambda_{min} \geq 1$	$0,6 < \lambda_v < 1,3$
Yanma	difizyon alevi	Ön alev
Yakıtla bağlı tork değişimi	Değişken	Karışımın miktarına bağlı olarak değişken



Şekil 2.2. Dizel motorun çalışma evreleri ve P-v diyagramı [14]P

Şekil 2.2’de gösterildiği üzere, 5-1 emme; 1-2 izantropik sıkıştırma; 2-3 sabit basınçta yanma; 3-4 izantropik genişleme; ve 4-5 egzoz süreci olarak ifade edilir.

2.2. Dizel Yakıtı

İçten yanmalı motorlarda benzin ve dizel gibi sıvı hidrokarbonlar, etanol ve metanol gibi çeşitli alkoller ve metan, etan, propan ve bütan gibi gaz yakıtlar kullanılır. Bunların arasında, ham petrolün damıtılması yoluyla elde edilen benzin ve dizel en çok kullanılan sıvı hidrokarbon yakıtlardır. Ayrıca bu damıtma usulüyle, bütan ve propan gibi küçük moleküllü gaz yakıtlar ile asfalt ve ağır makine yağları gibi büyük moleküllü bileşikler de elde edilebilir [14].

Ham petrolün damıtılması esnasında 200 - 300 °C kaynama noktası aralığında alınan üçüncü ana ürün dizel yakıtıdır. Dizel yakıtı için parafin, aromatik ve naften grubu hidrokarbonlar daha uygundur. Dizel yakıtı, kerozen ile yağlama yağı arasında özgül ağırlık ve damıtma bakımından çok geniş üretim aralığı bulunan yakıtlar grubundadır. Bu

grup içerisinde, kullanım alanına bağlı olarak en ideal olan dizel motoru yakıt türü belirlenir [15]. Dizel yakıtı için ASTM standartları Çizelge 2.2.'de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Dizel yakıtı için ASTM standartları [15]

Özellik	Birim	Limit	Metod
Yoğunluk	15°C kg/l	0,820 – 0,860	ASTM-D 1298
Alevlenme noktası	°C	55 (en düşük)	ASTM-D 93
Soğuk Filtre Tıkama Noktası Kış/Yaz	°C	(-10 en yüksek) / (+5 en yüksek)	IP 309
Damıtma	Hacimde %		ASTM-D 86
Kükürt	Ağırlıkça %	(+0,70 en yüksek)	IP336 veya IP242
Karbon Tortusu	(%10 Tortuda) Ağırlıkça %	(+0,30 en yüksek)	ASTM-D 524 veya ASTM-D 4530
Viskozite	40°C, cst	2,0 - 4,5	ASTM-D 445 veya ASTM-D 88
Bakır Çubuk Korozyonu	3h 50°C	No: 1 (En yüksek)	ASTM-D 130
Kül	Ağırlıkça %	(+0,01 en yüksek)	ASTM-D 482
Setan İndeks	Hesaplanmış	(+46 en yüksek)	ASTM-D 976
Su	mg/kg	(+200 en yüksek)	ASTM-D 1744
Partiküller	mg/kg	(+24 en yüksek)	IP 415
Oksidasyon Dengesi	g/m ³	(+25 en yüksek)	ASTM-D 2274

Dizel yakıtının karakteristiğini belirleyen önemli unsurlar aşağıda sıralanmıştır:

2.2.1. Özgül ağırlık

Birim hacmin ağırlığı olarak tanımlanan özgül ağırlık dizel motorlarında yanmayı doğrudan etkilemektedir. Yakıt pompasından birim hacimde dizel yakıt püskürtüldüğünde silindire gönderilen yakıtın kütlesi değişeceğinden yanma etkilenecektir.

2.2.2. Setan sayısı

Dizel yakıtının en önemli özelliklerinden birisi olan setan sayısı yakıtın kendi kendine tutuşma kabiliyetini gösteren bir ölçüdür. Setan sayının yüksek olması tutuşma gecikmesi süresini kısaltırken yanma hızını da artırmaktadır [11].

2.2.3. Viskozite

Viskozite, sıvıların iç sürtünmelerinin ve akmaya karşı dirençlerinin bir ölçüsüdür. Dinamik ve kinematik olmak üzere iki türü vardır. Dinamik viskozite; birbirinden 1 m uzaklıktaki iki düzlem arasındaki 1 m² alanlı sıvı tabakasını 1 m/s hızla kaydırmak için gerekli Newton kuvvetidir. Kinematik viskozite ise; dinamik viskozitenin yoğunluğa oranıdır.

Dizel yakıtı viskozitesi, ideal yakıt-hava karışımının elde edilmesini ve buna bağlı olarak da silindir içerisinde meydana gelecek yanmayı doğrudan etkilemektedir. Viskozite küçüldükçe enjektörlerden silindirlere gönderilen yakıtın daha küçük zerrelere ayrılması ve hava ile homojen bir karışım oluşturularak daha düzgün bir yanma sağlanmaktadır. Viskozitenin büyük olması halinde ise yakıtın enjektörlerden yeterince küçük zerreler şeklinde püskürtülmesi ve homojen yakıt-hava karışımının oluşması sağlanamamaktadır. Buna ilave olarak özellikle soğuk havalarda yakıtın püskürtülmesinde sorunlar yaşanabilmektedir. Bu da yanma olayının verimini düşürerek yanmamış hidrokarbonların miktarını arttırmaktadır [16].

2.2.4. Uçuculuk

Sıvının molekülleri arasındaki bağların zayıflığı anlamına gelen uçuculuk kaynama noktası ile ters orantılıdır. Silindir içerisinde iyi bir hava yakıt karışımının oluşabilmesi için gereklidir.

2.2.5. Parlama noktası ve yanma noktası

Parlama noktası, bir kapta ısıtılan yakıtı yaklaştıran alev ile geçici olarak tutuşması için gerekli en düşük sıcaklıktır.

Alevlenme noktası ise tutuşma buharının sönmeden devam etme sıcaklığı olup parlama sıcaklığında daha yüksektir.

2.2.6. Akma noktası

Akma noktası; numunenin, belirlenmiş standart şartlar altında soğutuluyorken akıcılığını devam ettirdiği en düşük sıcaklıktır. Dizel yakıtından soğuk çalışma şartlarında akıcılığını kaybetmemesi beklenir. Aksi hallerde motorun yakıt besleme sisteminde ciddi sorunlar görülebilir.

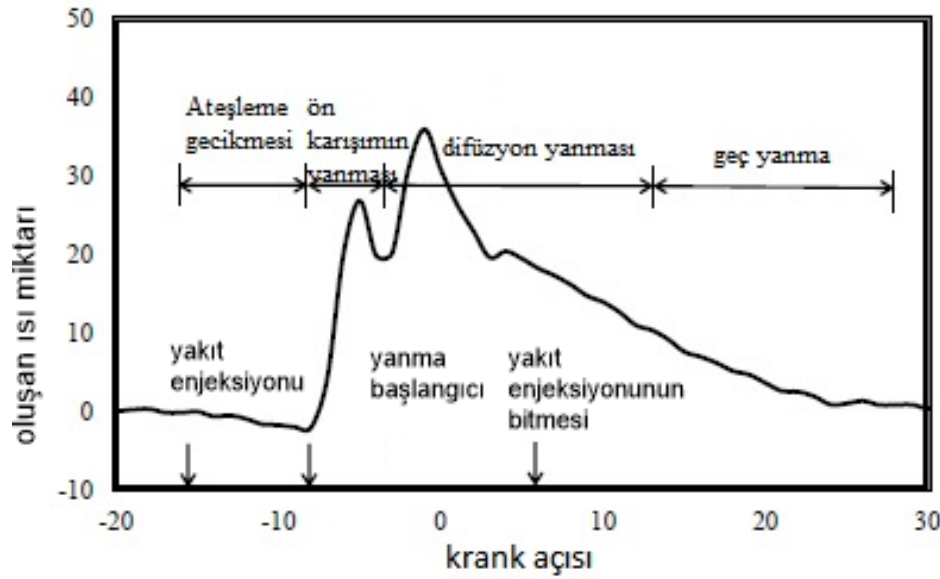
2.3. Dizel Motorunda Karışımın Oluşturulması ve Yanma

Taşıtlarda tercih edilen içten yanmalı motorlar, hidrokarbon içeren yakıt bazlı kimyasal enerjiyi ısıya dönüştürür. Isı sayesinde motor içinde yükselen basınç ile ortaya çıkan genişleme pistonlar üzerinden harekete ve böylece mekanik işe dönüştürülür. Geleneksel benzinli motorlarda hava yakıt karışımı silindir içerisinde sıkıştırılırken dizel motorlarda yanma havası silindir içerisinde sıkıştırılır. Dizel yakıtı piston üst ölü noktaya varmadan hemen önce silindir içine püskürtülerek sıkıştırılır. Bu sayede yanma odasında tutuşma kendiliğinden ve çok kısa bir sürede meydana gelir. Tutuşma için gerekli olan ve dizel yakıtına transfer edilen ısıнын tek kaynağı sıkıştırılan havadır [13].

Dizel motorunda iyi bir yanma elde edilebilmesi karışımın oluşturulması ile doğrudan ilgilidir. Karışımın iyileştirilmesinin en temel yolu pülverizasyonu artırılmasıdır. Artan pülverizasyon ile daha ince zerrelere ayrılan yakıtın sıcak hava ile temas yüzeyi artmaktadır. Bu durum, yakıtın kolaylıkla buharlaşmasını ve yanma havası içerisindeki difüzyonunu artırarak karışım süresinin kısılmasını sağlar. Yanma için gerekli sürenin kısılması ve buna bağlı olarak yakıtın kolaylıkla buharlaşması; hava içerisindeki difüzyonun artması karışım süresini kısaltır ve karışımın homojenliğini artırır [17].

Homojen karışım oluşma hızının yakıtın silindir içine alınma hızına ve yakıtın pülverizasyonuna bağlı olduğu bu tip motorlarda, yakıtın silindire püskürtülerek sokulması mecburidir. Silindire sokulan yakıtın tamamının yüksek bir yanma verimi ile yanması, yakıtın yanma odası içindeki hava ile uygun bir şekilde karışması ile mümkündür.

Dizel motorunda toplam yanma prosesi 4 fazdan oluşur. Ateşleme gecikmesi, ön karışımın yanması, difüzyon yanması ve geç yanma fazları Şekil 2.3'te görülmektedir.



Şekil 2.3. Direkt enjeksiyonlu dizel motorunun yanma fazları [18]

Ateşleme gecikmesi, yakıtın enjeksiyonu ile yanmanın başlaması arasındaki gecikmedir. Bu süre sıcaklık, basınç, dolumun konsantrasyonu, oksijen miktarı gibi sadece silindir içi koşullara değil ayrıca yakıtın fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak değişir. Ön karışım yanma fazı, yakıtın tutuşma sıcaklığında yakıt-hava karışımının yanması sonucu ortaya çıkan silindir içi ısı olarak tanımlanır. Devamında oluşan difüzyon yanması fazı ise verilen yakıt hava karışımı miktarı ile kontrol edilir. Son yanma fazı olan geç yanmayı ise genişleme strokunda silindirde mevcut olan yanmamış yakıt belirler. Silindir sıcaklığının düşmüş olması ve kıt yakıt-hava karışımı sebebiyle son fazda açığa çıkan ısı miktarı daha düşüktür. [19]

2.4. Dizel Motorundan Yayılan Emisyonlar

Özellikle kalabalık şehirlerin hava kirliliğinde taşıtlardan yayılan emisyonların payı çok büyüktür. Taşıtlar arasında ise ticari hayattaki yoğun kullanımı ve taşımacılıkta önemli yeri olan dizel araçlar yaydıkları emisyonlar yönüyle en başta gelmektedir. Bugün birçok farklı gelişmiş ülkede yasal düzenlemeler ile kullanımları sınırlandırılmaya çalışılmaktadır.

Dizel egzoz emisyonu bileşimi büyük ölçüde motor tipi, kullanım şartları, yakıt, yağlama şartları ve emisyon kontrolü sistemlerinin kullanıp kullanılmamasına göre değişmekte olup büyük oranda gaz ve partikül fazları arasında dağılmış olan organik ve inorganik bileşiklerden oluşmaktadır. Bunlar: CO, CO₂, NO_x, NH₃, uçucu organik bileşikler ve su buharı, HC, polinükleer aromatik hidrokarbonlar, karboksil bileşikler, organik asitler, halojenli organik bileşikler, kükürtdioksit ve dioksinlerdir. Motor tasarımında iyileştirilmeler, yakıt ön işlemleri, yanma işlemlerinin daha iyi ayarlanıp basitleştirilmesi, yakıt formülünün iyileştirilmesi, alternatif yakıt kullanımı ve yanma sonrası cihaz kullanımı anılan emisyonların önlenmesi için yapılan işlemlerden başlıcalarıdır [20] .

İçten yanmalı motorlarda yakıt enerjisinin ısı enerjisine dönüşümü silindir içerisinde yakıt ile hava arasındaki kimyasal reaksiyonla olur. Deneysel çalışmalar sonucu egzoz gazı içerisinde CO₂, H₂O ve N₂ de dahil olmak üzere 20 farklı bileşen olduğu bilinmektedir. Bu gazlardan bir kısmı havayı kirlletici bir etkiye sahiptir. Örneğin ABD'de motorlu taşıtlar, insan kaynaklı kirlenmenin içerisinde %60'lık bir paya sahiptir [8].

Motorlu taşıtlarda genellikle hidrokarbon içerikli yakıtlar kullanıldığı için teorik olarak tam yanma gerçekleştiğinde CO₂, H₂O ve N₂ oluşur. İçten yanmalı motorlarda zengin ve fakir karışımlar ile çalışma bölgeleri bulunduğundan yanma ürünleri içerisinde O₂ veya CO bulunur. Fakat Egzoz gazları içerisinde sadece bu bileşikler görülmez. Çünkü kullanılan kimyasal denklemler iki yönlü olarak çalışmaktadır. Bunun anlamı gerekli şartlar oluştuğu zaman oluşan ürünler yeniden reaktantlara dönüşebilmektedir. Bu olaya disosiyasyon adı verilmektedir. Parçalanma bir denge konsantrasyonuna kadar devam eder. Bu bilgilerden yola çıkılarak 11 adet (CO₂, CO, H₂O, H₂, H, O₂, O, OH, N₂, N, NO) bileşenin hesaplamalara dahil edilmesi kabul görmüş bir yöntemdir [2].

Dizel motoru için belirlenmiş kıstas emisyonlar azot oksitler, parçacık emisyonları, yanmamış hidrokarbonlar ve karbondioksittir. Geleneksel bir dizel motorunda azot oksit ve parçacık emisyonları en büyük sorunu oluşturur. Genelde, karışım yakıtların yakılmasında hidrokarbonlar ve karbon monoksit artış eğilimi göstermektedir.

2.4.1. Karbondioksit

Doğrudan insan ve çevre sağlığı üzerinde zararlı bir etkiye sahip değildir. Fakat yanma sonucu ortaya çıkan CO₂'nin yaklaşık %50 si atmosferde birikmekte ve bu gazın yoğunluğunu giderek artırmaktadır. Atmosfere salınan insan kaynaklı CO₂ gazının yaklaşık dörtte üçü fosil yakıtların yanmasından, geri kalanı da arazi kullanım değişikliği ve özellikle ormanların yok edilmesinden kaynaklanmıştır [21].

2.4.2. Karbonmonoksit

Dünyadaki CO üretiminin yaklaşık %70 den fazlası ulaşım sektöründen kaynaklanmaktadır. Kokusuz ve renksiz bir gaz olan CO çok zehirlidir. Kandaki oksijeni taşıma görevine sahip hemoglobine bağlanma yeteneği oksijene oranla yaklaşık 200 kat daha fazladır. Bu nedenle kişinin solunum yoluyla aldığı CO, kandaki normal hemoglobini bozar, vücut hücrelerinin oksijen alma olanağını engelleyerek zehirlenmeye ve boğulmaya neden olur.

Daha çok zengin karışım ile çalışan motorlarda görülen CO, fakir karışım ile çalışan motorlarda ise heterojen karışım, silindir içerisinde homojen olmayan sıcaklık dağılımı ve karbon monoksitin oksijenle ikinci bir reaksiyon oluşturma zamanı bulamadan egzozdan dışarıya atılması gibi nedenlerden kaynaklanmaktadır [21, 22].

2.4.3. Azotoksit

NO, NO₂, NO₃ ve benzeri bileşiklerin tümü azotoksit (NO_x) olarak tanımlanmaktadır. NO_x emisyonunun temel kaynağı atmosferdeki nitrojendir. Alev cephesi ardındaki tüm yüksek sıcaklıklarda oluşur. Özellikle NO, NO₂ hava kirliliği bakımından önem teşkil eder. CO gibi kandaki hemoglobin ile birleşmektedir. Ancak azotoksitlerin en önemli zehirleyici etkisi ciğerlerdeki nem ile birleşerek nitrik asit oluşturmalarıdır [2].

NO_x ayrıca doymamış hidrokarbonlar ile birleşerek yeni bir kirlenme türü olan kimyasal dumanı oluşturmaktadır. Atmosferde bulunan su ile birleşerek nitrik asit oluşumuna sebep

olurlar. Böylece asit yağmuru olayını meydana getirirler ve bitki örtüsüne zarar verirler. Yanma ürünleri arasında genellikle NO bulunmasına rağmen, atmosfere atıldıktan sonra bir kısmı NO₂'ye dönüşmektedir [2]. NO_x emisyonu özellikle dizel motorlarda bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. NO_x oluşumu için üç temel şart gereklidir. Bunlar sırasıyla: Sıcaklık, oksijen ve zamandır. İçten yanmalı motorlarda sıcaklıklar 1700 - 3000 K değerlerine ulaşmaktadır. Dizel motorlarda sıcaklık değerlerinin benzin motorları kadar yüksek olmamasına rağmen, ortamda her zaman fazla oksijenin (HFK > 1,3) olması sebebiyle NO_x oluşur [23].

2.4.4. Hidrokarbonlar

Zehirli bir gaz olmayan fakat bazı türleri solunum yolları üzerinde tahriş edici etkiye sahip hidrokarbon emisyonları araçlarda birkaç yolla üretilir. Öncelikle yanma ürünlerinin içerisinde hidrokarbonlar bulunmaktadır. Ayrıca karbüratör ve yakıt tankından buharlaşma yoluyla HC emisyonu oluşmaktadır.

Yanma ürünleri arasında hidrokarbonlar bulunmasının nedeni yanmanın tamamlanmamasıdır. Zengin karışım ile çalışıldığı durumlarda yakıtın yeterince oksijen bulamamasından kaynaklı hidrokarbonlar oluşur. Fakir karışımlarda ise yanma odası sıcaklığının düşük olması sebebiyle cidara yakın bölgelerde meydana gelen alev sönmeleri hidrokarbon oluşumuna yol açmaktadır [24, 25].

2.4.5. Partikül maddeler

İçten yanmalı motorlarda üretilen katı taneciklerin büyük bir bölümü is oluşturmaktadır. İs yanmamış katı karbon tanecikleridir. Dizel motorlarda yanma sürecinde, hidrojenin karbona oranla daha aktif olması nedeniyle ilk olarak oksijen hidrojen tarafından tutulur. Eğer yeterli oksijen ve zaman yoksa karbon atomları bileşik yapamaz ve katı karbon tanecikleri egzoz gazından is olarak dışarıya verilir [23].

2.4.6. Kükürtlü Bileşenler

Yanma sonucu açığa çıkan kükürtlü bileşenler (SO_2 , SO_3) renksiz ve kokulu emisyonlardır. Yanma olayından sonra egzozdan atmosfere bırakılan kükürt, oksijenle reaksiyonu sonucu oksidasyona uğrayarak kükürt dioksit ve kükürttrioksit (SO_3) emisyonlarını oluşturur. SO_2 akciğer ve karaciğer hastalıklarını tetiklemekte ve mukoza zarını tahriş etmektedir. SO_3 ise atmosferde sülfürik aside (H_2SO_4) dönüşerek çevre açısından önemli bir tehdit oluşturmaktadır. SO_2 ve H_2SO_4 sülfat tuzları solunum sistemini ve mukozayı tahriş eder. Bronşit ve astım gibi kronik hastalıkların oluşumuna neden olur [26].





3. İÇTEN YANMALI MOTORLARDA ALTERNATİF YAKIT OLARAK LPG KULLANIMI

LPG yakıtının genel özellikleri, araç yakıt sisteminin LPG için dönüşümü tadilatının tarihsel gelişimi, bu sistemlerin bileşenleri, ülkemizdeki altyapı, yasal mevzuat ve dönüşüm sistemlerinin genel değerlendirmesi bu bölümde yapılmıştır.

3.1. LPG Yakıtının Temel Özellikleri

Doğrudan gaz yataklarından veya petrolün damıtılması yöntemiyle elde edilen LPG'nin temel bileşenleri bütan ve propandır. Bunun yanında LPG'nin asıl kompozisyonu kaynağına, üretim yöntemine, mevsime ve satış fiyatına göre ülkeden ülkeye ticari olarak değişiklik gösterir [27]. Dünyadaki LPG üretiminin %61'inin doğal gaz, %39'unun ise rafineri üretiminden elde edildiği bilinmektedir.

LPG ile çalışan motorlar, emisyon yönünden faydalarının yanı sıra, düşük yakıt tüketimine ve bakım maliyetine sahiptir. LPG'nin sıkıştırma oranı, oktan sayısı ve alev yayılım hızı sayesinde termal verimi yüksektir [3].

LPG normal şartlarda gaz halindedir ancak depolama tanklarına doldurulması esnasında basınç altında sıvılaştırılmış halde bulunmaktadır. Normal şartlar altında gaz halinde bulunan LPG, basınç uygulandığında sıvı fazına geçer ve sıvı halde taşınır ve depolanır. LPG üzerindeki basınç kaldırıldığında tekrar gaz fazına geçer ve gaz fazında tüketilir. Sıvı halden gaz hale geçiş sırasında hacmi yaklaşık olarak 25°C'de 240 - 270 kat artar. LPG renksiz, kokusuz, havadan ağır ve yanıcı bir gazdır. Gaz kaçaqlarının anlaşılabilmesi amacıyla rafineriler tarafından Etilmerkaptan ile belirgin bir şekilde kokulandırılmıştır. LPG zehirli değildir. Fakat havadan ağır bir gaz olduğu için sızıntı ve kaçaqlarda yere çökerek zeminden itibaren yukarıya doğru birikir. LPG'nin sıvı halden gaz haline geçerken çevreden aldığı ısı, donmalara ve yanık etkisine sebep olur [28].

LPG, üzerindeki basınç kaldırıldığında hava ile hacimsel olarak %2-9 oranında karışımlarında yanıcı hale gelmektedir. Çizelge 3.1. ve 3.2'de propan ve bütan yakıtlarının fiziksel, kimyasal özellikleri ve yanma karakteristikleri verilmiştir.

Çizelge 3.1. Propan ve bütanın fiziksel ve kimyasal özellikleri [29]

Gaz	Propan	Bütan
Kimyasal formülü	C_3H_8	C_4H_{10}
Molüküler ağırlığı	44	58
Özgül ağırlığı (kg/l)	0,51	0,58
Kaynama noktası	-43	-0,5
Alt Isıl değeri (Kcal/kg)	11070	10920
Tutuşma noktası	510	490
Tutuşma sınırları (hacim %)	2,1-9,5	1,5-8,5
Yanma hızı (cm/s)	32	32

Çizelge 3.2. Propan ve bütanın yanma karakteristikleri [29]

Özellikler	Propan	Bütan
Hava/yakıt oranı	15,1	15,0
Alt ısı değeri	46,4	45,6
Normal şartlar altında fiziksel hali	Gaz	Gaz
Atmosfer basıncında buharlaşma sıcaklığı (°C)	-42,0	-0,5
Buharlaşma gizli ısı (kJ/kg)	426	385
NŞA stokiyometrik orandaki karışımı yakmak için gereken tutuşturma enerjisi (MJ)	0,3	0,3
Maksimum laminar yanma hızı (m/s)	0,4	0,4
Tutuşma sınırları	0,65-3,2	0,53-2,2
Stokiyometrik karışımın birim hacimdeki kimyasal enerjisi (MJ/m ³)	3,49	3,45

Bütan ve propan arasındaki diğer bir farklılık ise sıvı fazdan gaz faza geçtikleri sıcaklık derecesidir. Propan -43°C’de sıvı faza geçerken, bütan ise 0°C’de geçer. Özellikle soğuk havalarda daha yüksek propan oranına sahip karışımlara gereksinim duyulur. Böylece gaz fazına dönüşüm kolaylaştırılır. Türkiye’de hava sıcaklığı bölgeden bölgeye değişeceğinden motorlu araçlarda kullanılan LPG karışımının tüm koşullara uygun olacak şekilde ayarlanması gerekmektedir [30].

LPG, başta Avrupa ülkeleri olmak üzere ABD, Japonya, Güney Kore bir birçok ülkede araçlarda yakıt olarak tüketilmektedir. Otomobillerde kullanılan LPG’nin propan ve bütan karışım oranları Çizelge 3.3’te verilmiştir.

Çizelge 3.3. LPG içerisindeki propan ve bütan oranının Avrupa ülkelerinde yaz ve kış aylarındaki değişimi [29]

Ülke Adı	Propan/Bütan Oranları (%)	
	Yaz	Kış
Türkiye	30/70	50/50
Almanya	Propan	Propan
Danimarka	30/70	70/30
İngiltere	Propan	Propan
Avusturya	20/80	80/20
Hollanda	30/70	70/30
İsveç	Propan	50/50
İsviçre	Propan	Propan

Mevsim ve kullanım şartlarına göre üretilecek olan LPG yakıtı, bileşimindeki bulunması gerekli ana hidrokarbon oranına göre Türk Standardları Enstitüsü tarafından sınıflandırılmıştır [31].

Ticari propan: Propan ağırlıkta olmak üzere propan ve propilenden meydana gelen fiziki metotlarla sıvılaştırılabilen gaz karışımıdır. Uçuculuğu yüksek olan bir hidrokarbondur. Soğuk iklimli bölgelerde daha homojen bir karışım oluşturur. Evlerde, ticari ve endüstriyel amaçlı yerlerde kullanılan ticari propan, kütlece % 95 saflıktadır [29].

Ticari bütan: Esas olarak bütan ve bütilenden meydana gelen fiziki metotlarla sıvılaştırılabilen gaz karışımıdır. Uçuculuğu düşük olan bir hidrokarbondur. Ilıman iklimli bölgelerde yakıt olarak kullanılan ticari bütan kütlece % 95 saflıktadır [29].

Ticari propan - bütan karışımı: Bu karışım evlerde, ticari ve endüstriyel amaçlı yerlerde geniş bir uygulama alanına sahiptir. Uçuculuğu orta seviyede olan bu karışımın bileşen oranları geniş aralıklarda olabileceğinden farklı ihtiyaçları karşılayabilecek özellikte yakıt elde edilmesi mümkün olabilmektedir [29].

Özel hizmet propanı: Orta süratte ve vuruntusuz çalışması gereken içten yanmalı motorlar için esas olarak propandan üretilen %98 saflıktaki yakıttır [12, 32].

Türkiye’de TÜPRAŞ rafineri işletmelerinde LPG ürünü % 30 propan + % 70 bütan olarak üretilmektedir.

3.2. Araç Yakıt Sisteminin LPG için Dönüşümü

Benzinli motorlardaki gelişmeye paralel olarak LPG dönüşüm sistemleri güç kaybını önlemek ve egzoz emisyon değerlerini yeni normlara uygun hale getirmek için kendini sistem olarak sürekli yenilemiştir [32].

Yapılan iyi bir dönüşümde araç performansındaki kaybın %5’i geçmediği bunun yanında egzoz emisyonlarında önemli ölçüde iyileşme olduğu bilinmektedir. Benzinli motora sahip bir araçta LPG kullanımı sonucunda benzinle çalışmaya göre HC emisyonlarında %55; CO emisyonlarında ise %95 oranında azalma sağlanabilmektedir.

Günümüzde piyasada iki tip LPG sistemi yaygın olarak bulunmaktadır. Bunlar birinci ve ikinci nesil mikserli LPG dönüşüm sistemleri ile üçüncü ve dördüncü nesil olarak anılan LPG enjeksiyonlu sistemlerdir.

Birinci nesil mikserli LPG sistemlerinde yakıt (LPG) ayarı manüel olarak yapılırken ikinci nesil sistemlerde egzoz gazındaki oksijen miktarını ölçen algılayıcı yardımıyla yakıt miktarını ayarlayabilen elektronik kontrol bulunmaktadır. Üçüncü nesil enjeksiyonlu LPG sistemlerinde LPG buhar olarak silindire gönderilirken dördüncü nesil sistemlerde sıvı fazda silindire gönderilmektedir. Araç yakıt sisteminin LPG ile çalışması için ortaya çıkan dönüşüm sistemleri tarihsel gelişmelerine göre aşağıda ifade edilmiştir.

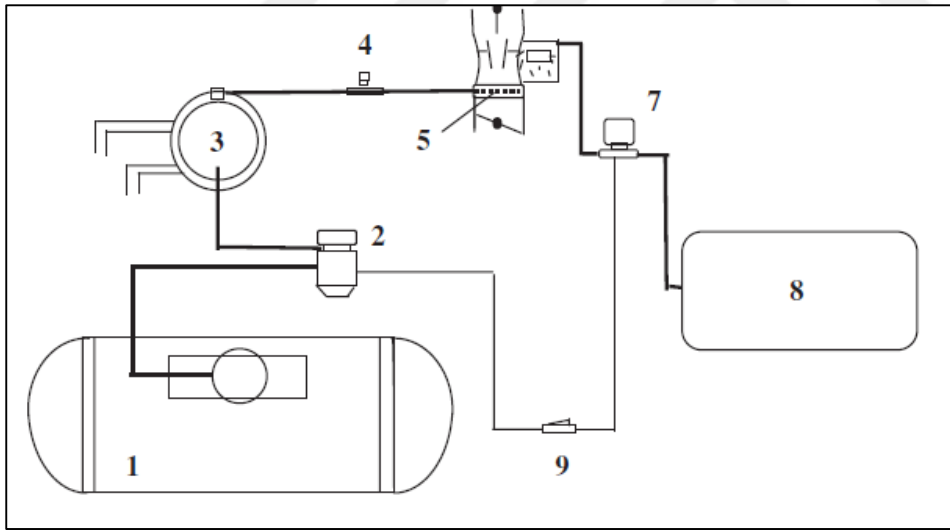
3.2.1. Birinci nesil: basit karıştırıcı LPG sistemleri

Karbüratörlü motorların dönüşümünde kullanılan en basit LPG dönüşüm sistemidir. Yakıt deposundan sıvı halde alınan LPG bir buharlaştırıcı ünite (regülatör) yardımıyla buhar fazında emme manifoldunda yer alan bir gaz karıştırıcıya (mikser) gönderilerek hava ile karıştırıldıktan sonra silindirlere gönderilmektedir.

Şematik görünümü ve aksam listesi Şekil 3.1’de verilen bu dönüşüm sistemi, benzinli bir aracı LPG’ye dönüştürmenin en basit yoludur. Mekanik olarak kontrol edilen bu sistemde

LPG regülatörü (buharlaştırıcı ve basınç düşürücü), LPG selenoid valfi ve karıştırıcı (mikser) bulunmaktadır. Motora giden LPG miktarı regülatör üzerindeki ayar vidalarıyla ayarlanmaktadır. Ayrıca regülatör içerisinde bulunan diyaframın motor vakumuyla hareketi sayesinde LPG miktarı artmakta veya azalmaktadır [3].

LPG'nin gaz fazına geçerken ihtiyacı olan ısıyı motor suyuna bağlanmış regülatör üzerinden sıcak sudan çekmesi sağlanır. Yanma odasına dolan karışımın tamamı gaz fazında olduğundan ayrıca silindirde havanın yerini gaz fazındaki LPG aldığı için volümetrik verim düşmektedir. Herhangi bir algılayıcı barındırmadığı için sistem kendini motorun çalışma rejimine göre ayarlayamamakta ve verim düşmektedir. Ayrıca farklı iklim koşulları için sistem üzerinden manuel ayarlama yapılması gerekmektedir. Sistemde rölanti, kısmi yük ve tam yük için ayar mekanizmaları bulunmaktadır. Yakıt karışımının fakire ayarlanması durumunda motorda geri tepme eğilimi olmakta, zengin yakıt karışımına ayarlama ise egzoz emisyonları ve LPG tüketimi artırmaktadır [3].



Şekil 3.1. Birinci nesil basit karıştırıcılı LPG sistemi

1. LPG tankı,
2. LPG selenoid valfi
3. Regülatör
4. Akış control valfi
5. Mikser
6. Karbüratör,

1. LPG tankı
2. LPG solenoid valfi
3. Regülator
4. Gaz dozaj ünitesi
5. Mikser
6. Benzin enjektörü
7. Benzin elektronik kontrol ünitesi
8. LPG Elektronik kontrol ünitesi
9. Lambda sensörü
10. Katalitik konverter
11. Benzin selenoid valfi
12. Benzin tankı
13. LPG/benzin yakıt seçme anahtarı

3.2.3. Üçüncü nesil: sıralı enjeksiyonlu LPG sistemleri

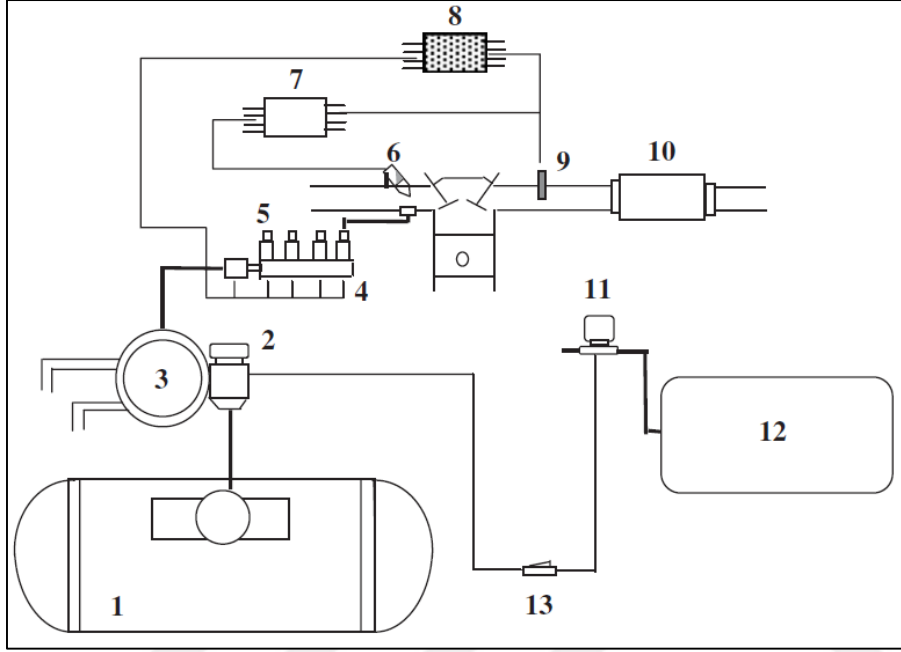
Önceki sistemlere göre daha kompleks bir yapıya sahip olan bu sistemde ilk çalıştırma benzinle yapılmakta olup motor sıcaklığı ve devri düzenli çalışma rejimine ulaştığında LPG enjeksiyonu devreye girmektedir.

Şekil 3.3'te şematik görünümü ve aksam listesi verilen bu sistem çok noktadan benzin enjeksiyonu sistemine benzemektedir. Sıvı haldeki LPG emme supabı üzerine püskürtüldüğü için yakıtın büyük bir miktarı silindire sıvı halde girmektedir. Birinci ve ikinci nesil dönüşüm sistemlerinde LPG'nin gaz halde silindire verilmesi sebebiyle volümetrik verimdeki kayıplar neticesinde ortaya çıkan %2-5 oranında güçte azalma, üçüncü nesil LPG dönüşüm sistemlerinde görülmemektedir [33].

Üçüncü nesil LPG dönüşüm sistemleri mikro işlemci ile kontrol edilmekte; kendi kendine öğrenme özelliği sayesinde manuel bir ayarlama gerektirmemektedir. Anlık olarak motor devrini, yakıt tüketimini ve egzoz değerlerini değerlendiren mikro kontrol sayesinde emme manifoldunda silindirlerin hemen önünde yerleştirilmiş LPG enjektörleri her bir silindire eşit miktarda LPG gönderilmesi işlevini yerine getirmektedir [34].

EKÜ işlevini yerine getirirken LPG dönüşüm sisteminin topladığı (basınç, sıcaklık, oksijen) verileri ile birlikte benzin EKÜ'sünden aldığı verileri değerlendirmektedir.

Üçüncü nesil LPG dönüşüm sistemleri emisyon yönüyle çok daha düşük değerlere ulaşmaktadır. Sahip oldukları kapalı sistem lamda kontrolü ve hassas yakıt ayarlama özelliği, bu sistemi son teknoloji benzinli araçlara tam olarak uyumlu hale getirmektedir [8].



Şekil 3.3. Üçüncü nesil sıralı enjeksiyonlu LPG sistemi [3]

1. LPG tankı,
2. LPG solenoid valfi
3. Regülatör
4. Enjektör rail
5. LPG enjektörü
6. Benzin enjektörü
7. Benzin elektronik kontrol ünitesi
8. LPG Elektronik kontrol Ünitesi
9. Lambda sensörü
10. Katalitik konverter
11. Benzin selenoid valfi
12. Benzin tankı
13. LPG/benzin seçme anahtarı

3.2.4.Dördüncü nesil: sıvı LPG enjeksiyonlu sistemler

Motor üzerinde emme manifoldunda tadilat gerektirmeksizin araca uygulanabilen, LPG'yi sıvı fazda ve motorun kendi benzin enjektörleri ile silindirlere gönderen, orijinal benzin enjeksiyonu ile eş değer bir teknolojiye sahip son nesil sistemlerdir. Üçüncü nesil LPG dönüşüm sisteminin elektronik kontrol altyapısı ile çalışmaktadır.

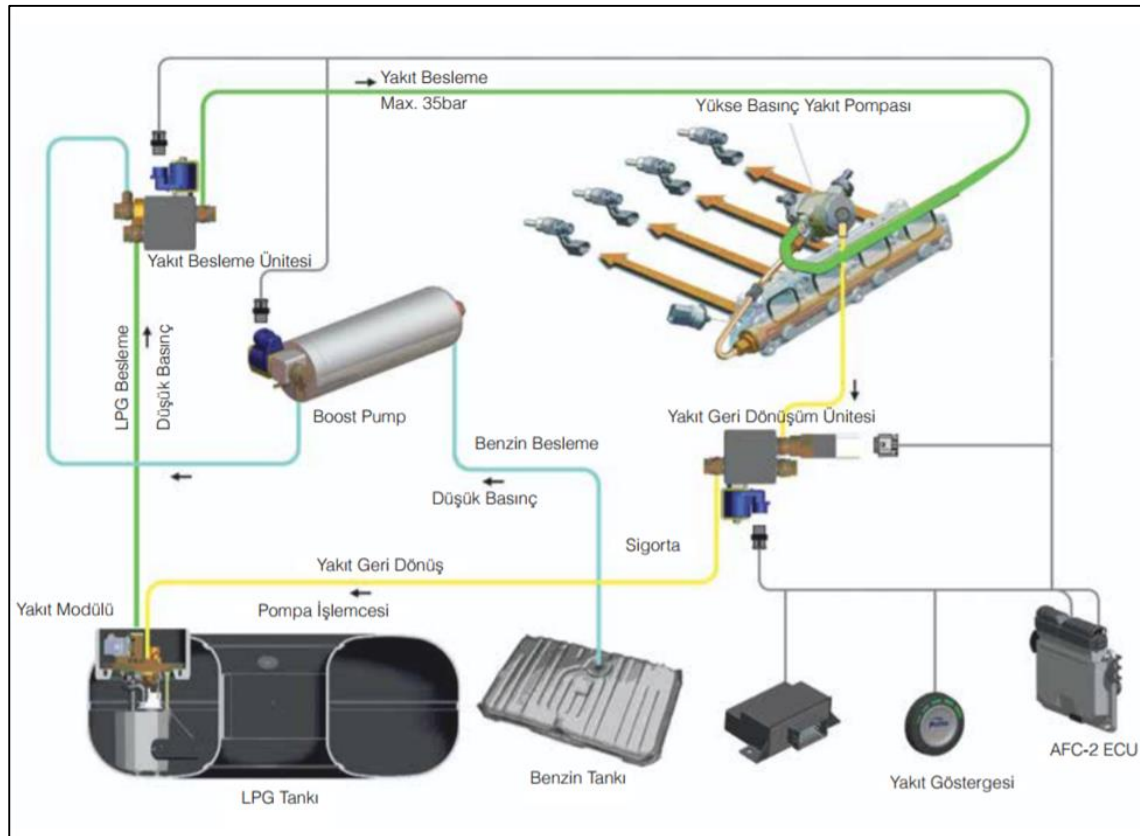
Üçüncü nesil sıralı enjeksiyonlu LPG sisteminden farklı olarak bünyesinde multivalfe tümleşik bir yakıt pompası, aracın benzin pompasına takviye edilen ilave bir benzin pompası (boost pump) ve bu pompalar için kontrol ünitelerini barındırır.

LPG'nin manifold yerine yüksek basınçla silindire enjekte edilmesi motorun ilk çalışmasını doğrudan LPG ile yapabilmesine olanak tanır. LPG sıvı halde silindire girdiğinden volümetrik verimi düşürmez.

Bu otogaz dönüşüm kiti, motorda yer alan mevcut elektronik düzeneklerden en yüksek düzeyde faydalanmayı sağlar.

Sıralı LPG dönüşüm sisteminde 10.000 km'de bir yapılan rutin bakım aralığı bu sistemler için 25.000 km olarak öngörülmektedir [35].

Günümüzde yeni kullanıma başlanan ve sınırlı sayıda firmanın ürettiği bu sistemler önceki dönüşüm sistemlerine nazaran daha karmaşık ve pahalıdır. Bu sistemin şematik görünümü Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4. Dördüncü nesil LPG dönüştürme sistemi [35]

3.3. LPG Dönüşüm Sistemlerinin Temel Bileşenleri

UN ECE R 67 regülasyonu madde 17.3'e göre bir LPG sistemi en az aşağıdaki aksamı kapsamalıdır [36]:

1. Yakıt tankı
2. %80 durdurmalı valf
3. Seviye göstergesi
4. Basınç tahliye valfi
5. Taşma valfli uzaktan kumandalı servis valfi
6. Birleştirilebilen basınç regülatörü ve gazlaştırıcı
7. Uzaktan kumandalı kapama valfi
8. Doldurma ünitesi
9. Gaz boruları ve hortumları
10. LPG sistem aksamı arasındaki gaz taşıyan bağlantılar

11. Enjektör veya gaz enjeksiyon cihazı ya da gaz karıştırıcı parça
12. Elektronik kumanda ünitesi
13. Basınç tahliye cihazı

Sistem ayrıca aşağıdaki aksamı da kapsayabilmektedir [36]:

14. Gaz sızdırmaz mahfaza, yakıt tankına bağlı aksesuarları koruyan kapak
15. Geri dönüşsüz valf
16. Gaz borusu basınç tahliye valfi
17. Gaz dozaj ünitesi
18. LPG filtre ünitesi
19. Basınç veya sıcaklık algılayıcısı
20. LPG yakıt pompası
21. Tank için güç kaynağı elemanları (çalıştırıcı / yakıt pompası / yakıt seviye algılayıcısı)
22. Servis bağlantısı (sadece tek yakıtlı taşıtlar ve yedeklemesiz sistem)
23. Yakıt seçme sistemi ve elektrik sistemi
24. Yakıt hattı

Yukarıda sıralanan aksamın, araçların yakıt sisteminin LPG için dönüşümü tadilatlarında kullanılabilmeleri için ECE R 67 regülasyonundan tip onaylı olmaları gerekmektedir. Söz konusu aksamın onay alabilmesi için sahip olması gerekli nitelikler yine anılan regülasyonda ifade verilmiştir.

Diğer taraftan, söz konusu aksam ECE R 110 regülasyonundan tip onaylı olmak şartıyla araçların yakıt sisteminin CNG için dönüşümünde de yer alabilmektedir.

Ayrıca, AB’de yukarıda sıralanan aksamın bir araya gelerek oluşturduğu tadilat setinin bir araca uygulanabilmesi için ECE R 115 regülasyonundan tip onaylı olması gerekmektedir. Eşzamanlı olarak 2 yakıtın aynı anda yakıldığı (dizel+LPG, dizel+LNG gibi) içten yanmalı motorlar için oluşturulacak tadilat setinin araca uygunluğu için belirlenen kriterler ECE R 143 regülasyonunda yer almaktadır.

3.4. Araçlarda Yakıt Sisteminin LPG İçin Uyarlanması

Türkiye’de araçların yakıt sistemini LPG için dönüştürmek üzere LPG seri tadilatı yapabilme yetkisine sahip 1000’in üzerinde TSE’den belgeli tadilatçı firma bulunmaktadır. Dönüşüm işlemi, aracın ön kontrolleri ve tadilatı sonrası kontrol ve ayarlamalar sebebiyle birçok Avrupa ülkesinde 3 güne kadar sürmekte iken bu işlem ülkemizde azami bir gün sürmektedir. Yine dönüşüm maliyeti Türkiye’de birçok Avrupa ülkesi ile kıyaslandığında daha ekonomiktir. Örneğin, Almanya’da bir aracın yakıt sistemi dönüşümü tadilatı Türkiye’den 3 kat daha pahalıdır.

Yakıt sisteminin LPG için dönüşümü uygulaması aracın yapısı üzerinde büyük değişiklikler gerektirmemektedir. Aracın imkanları dahilinde bagaj içerisine veya stepne bölümüne değişik kapasitede silindirik veya simit tank monte edilmektedir. LPG yakıt hattı aracın altından motora sevk edilir. Dolum noktası genelde tampondan bir delik ile zemine paralel olarak dışarı açılır. Güncel uygulamalarda dolum noktasının depo kapağına alındığı da görülmektedir. Yakıt seçici anahtar aracın ön konsolunda uygun bir alana yerleştirilir. EKÜ enerjisini araç aküsünden almaktadır. Aracın motor EKÜ’sünden ve araca ait sensörler üzerinden alınacak data çekilen paralel hatlar ile EKÜ’ye aktarılmaktadır.

Araca monte edilecek her bir LPG aksamının pozisyonu ve bağlantısı üreticiler tarafından belirlenip teknik bülten olarak yetkili tadilatçılara bildirilmiştir. Sistemin verimli çalışabilmesinde dönüşüm sisteminin doğru montajının önemi çok büyüktür.

3.5. LPG Dönüşümü Yapılmış Motorlarda Karşılaşılabilecek Sorunlar ve Çözümleri

Gaz yakıtlarda söz konusu olan volümetrik verim düşüklüğü LPG için de geçerlidir. LPG ile çalışan motorlarda benzine nazaran en uyumlu ve verimli sistem kullanılsa dahi bir güç düşüklüğü söz konusudur [37]. Motor sıcaklığının yükselmesiyle birlikte emme manifoldu sıcaklığının artması bu güç düşüklüğünü beraberinde getirmiştir. Bu olumsuz durumu azaltmak için manifold dizaynında değişiklikler yapılarak emme ve egzoz manifoldları birbirinden uzaklaştırılmaktadır.

LPG ile çalışmada güç düşüklüğünü ve rejim sıcaklığının üzerinde çalışmayı doğuran ana etkenlerden biri de motorun avans haritaları ve ayarının benzine göre oluşudur. Yeni avans haritaları ve ayarıyla bu durumun önüne geçilebilmektedir [38].

Özellikle soğuk havalarda, LPG ile çalışan motorlarda ilk harekete geçme gücü sık yaşanan bir durumdur. Bunun ana nedeni LPG'nin tutuşma sıcaklığının benzene göre daha yüksek olmasıdır. Bu durum araçların ilk harekete benzin ile başlamasına neden olmaktadır. Bu sorunun önüne geçilebilmesi için LPG ön ısıtma çalışmaları olumlu sonuçlar doğurmuş ve ilk harekete geçiş süresi kısaltılmıştır.

Aluminyum supapların kullanıldığı LPG dönüşümü yapılmış motorlarda ısı ve mekanik zorlanmalar neticesinde supap yenmeleri, oyulması, kırılması, aşınması gibi sorunlar görülebilmektedir. Supapların değiştirilmesi, ve dayanımı yüksek çelik subap kullanımıyla bu sorun çözülebilmektedir.

LPG dönüşümü yapılmış benzin motorunda tam yükte güç düşüklüğü, rölantide silkeleme, motor devrinde kararsızlık ve düşük ivmelenme sık görülen diğer problemler olarak sıralanabilir. LPG sisteminin sahip olduğu sensörlerin doğru yerleşimi ve EKÜ'nün doğru programlanması ile bu sorunun önüne geçilebilmektedir.



4. DİZEL MOTORUNDA YAKIT OLARAK MOTORİN İLE BİRLİKTE LPG KULLANIMI

Sıkıştırma ateşlemeli motorlarda sıkıştırma stroku sonunda silindir içi sıcaklığının LPG'nin tutuşma sıcaklığının altında kalması sebebiyle motoru dual yakıtlı (aynı anda çift yakıt ile) kullanımı stratejisi ortaya çıkmıştır [39].

Dizel dual yakıtlı motorlar gaz yakıtların yakılması için modifiye edilmiş motorlardır. Bu motorlarda gaz hava ile karıştırılır ve silindir içerisine alındıktan sonra karışım sıkıştırılır. Sıkıştırma zamanının sonuna doğru da dizel yakıtı enjektörden püskürtülür [40].

Dual yakıtlı motorlar LPG, CNG, propan, hidrojen gibi neredeyse tüm gaz yakıtlarla çalışabilirler. Mevcut enerji kaynaklarının değerlendirilebilmesi; ayrıca yakıt tasarrufu ve egzoz emisyonlarını düşürme potansiyelleri sebebiyle tercih edilirler [41].

Son zamanlarda birçok araştırma merkezi sıkıştırma ateşlemeli motorların gaz yakıtlar ile dual modda kullanılması için yeni konseptler geliştirmektedir. Ateşlemeyi sağlamak üzere küçük miktarda sıvı yakıtın dizel motora gönderilmesi ve yanma enerjisinin büyük bölümünün gaz yakıttan elde edilmesi amaçlanmaktadır. Matematiksel modelleme ve yapay sinir ağları ile uygun bir şekilde tasarlanmış bir sistem sayesinde sıkıştırma ateşlemeli motorda birden çok yakıt kullanılabilmesi ve yakıtın bulunulabilirliğine göre sıvı ya da gaz istenilen yakıtın istenilen anda seçilebilmesi mümkün olabilecektir [42].

Dizel motorunun dual yakıt ile çalışması için yapılacak dönüşüm birçok teknik problemi de yanında getirmektedir. Özel yakıt besleme sistemlerinin sağlanması, yakıt enjeksiyonunun kontrolü, motor performansının korunması ve emisyonların minimize edilmesi için motorun optimizasyonu bunların başlıcalarıdır [43]. Sıvı ve gaz yakıtın tutuşması için kompleks kontrol sistemi ve özellikle gaz-sıvı enjektör dizaynı kullanılmaktadır.

Çift yakıtlı yanmanın karakteristikleri tek yakıtlı yanmadan farklı olmaktadır. Dizel yakıt buharı silindir içerisine püskürtüldüğü için yüksek sıcaklıkta sıkıştırılan hava ile karıştıktan sonra kendi kendine tutuşan ve buharlaşan damlacıklar içinde çabucak çözülür. Çift yakıtlı çalışmada yanma, tersine alevin yayılması ile kontrol edilme eğilimindedir. Pilot dizel yakıtıyla sağlanan enerji bir buji kıvılcımıyla sağlanan enerjiden daha büyüktür [29].

Dual yakıtlı motorlarda yanma, difüzyon yanması ve alev cephesi yanmasının bir karışımı şeklindedir ve 3 ana faza ayrılabilir. Bu fazlar, ilk olarak aşırı reaktif yakıtın yanması, sonrasında düşük ve yüksek reaktif yakıtların karışımının yanması ve son olarak da kalan düşük reaktif yakıtın ön cephe yanması olarak ifade edilebilir [45].

Dizel motorların dual yakıt ile kullanılması için birçok akademik çalışma yapılmıştır. Dizel Motorun dual yakıt ile kullanılması için en basit yöntemler emme manifolduna yerleştirilen gaz enjektörleri ya da bir gaz mikseri yardımı ile gerçekleştirilen uygulamalardır [47, 48].

Pirouzpanah ve Mohammadi, indirekt enjeksiyonlu bir endüstriyel dizel motoru ile yaptıkları deneysel çalışmada dizel yakıtı ve dizel+LPG yakıt çifti ile tam yük koşullarında performans değerlerindeki değişimi incelenmişlerdir. Çift yakıt içersindeki LPG miktarının artırılmasının özgül yakıt tüketimini, egzoz gazı sıcaklığını ve is miktarını düşürdüğünü, ancak yanmamış HC ve CO gibi kirleticilerin miktarını, maksimum silindir basıncını ve basınç artış oranını yükselttiğini tespit etmişlerdir [49].

Abd Alla ve diğerleri, çift yakıtlı tek silindirli araştırma dizel motoru (Ricardo E6) ile ana yakıtın metan veya propan, pilot yakıtın dizel olduğu bir deneysel çalışma yapmışlardır. Tam yükte artan pilot dizel yakıtının vuruntuya sebep olduğunu, düşük yük koşullarında görülen verim düşmesinin ve yüksek emisyonun ise pilot dizel yakıt miktarının arttırılması ile düzeltilebileceğini tespit etmişlerdir [50].

Ciniviz ve Salman, yaptıkları deneysel çalışmada tek silindirli direkt püskürtmeli bir dizel motorda ağırlıksal olarak %30 LPG ve %70 dizel yakıtı kullanılmasının performans ve emisyon parametrelerine etkisini incelemişlerdir. Bu uygulama ile motor torku ve gücünün %5,8 oranında arttığı, NO_x emisyonunun %5,9, is emisyonun ise %11 oranında azaldığı belirlenmiştir [51].

Abd Alla, Soliman, Badr, ve Abd Rabbo tarafından, çift yakıtlı bir dizel motorda püskürtme zamanının motor performansına etkisinin araştırılması için yapılan çalışmada püskürtme zamanının öne alınması ile düşük yükte karşılaşılan düşük verim ve emisyon sorununun düzeltilebileceği tespit edilmiştir [52].

Selim, yaptığı çalışmada dizel pilot yakıtı ile ateşlenen dual yakıtlı bir Ricardo E6 motorda dizel yakıtı ile birlikte üç farklı gaz yakıtını yanma gürültüsü, yanma sınırı ve vuruntu

sınırı yönüyle incelemiştir. Çalışmada LPG, metan ve doğal gaz ayrı, ayrı test edilmiştir. Değerler her gaz için farklılık göstermiştir. LPG, kendi kendine tutuşma sıcaklığı metan ve doğalgaza göre düşük olduğundan en erken vurutuya neden olmuştur. LPG'den, metan ve doğal gaza göre daha düşük performans değerleri elde edilmiştir [53].

Qi ve diğerleri, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorda dizel yakıtının içerisine LPG karıştırarak bunun motorun yanma ve egzoz emisyon karakteristiklerine etkisini araştırmışlardır. Azot gazı basılarak bir tüp içerisine alınan LPG ve dizel yakıtının karışması sağlanmıştır. Bu yöntemle %0, %10, %20, %30 ve %40 olmak üzere beş farklı LPG oranında yakıt karışımı hazırlanmıştır. Testler farklı motor devri ve yükleri altında gerçekleştirilmiştir. LPG oranı arttıkça NO_x emisyonunun düştüğü ve dizel yakıt ile karşılaştırıldığında daha iyi performans elde edildiği görülmüştür. Duman koyuluğu ciddi şekilde düşmüştür. Buna karşın CO emisyonları düşük yüklerde artmıştır. HC oranının karışımdaki LPG kütlesinin artışına paralel olarak arttığını tespit edilmiştir [54].

Yeom ve diğerleri, homojen dolgulu sıkıştırma ateşlemeli bir motorda benzin ve LPG'nin birlikte kullanımı ile ilgili yaptıkları deneysel çalışmada LPG'nin setan sayısının artırılması için dimetil eter (DME) kullanmışlardır. Benzin ve LPG yakıtının farklı yanma özellikleri sebebiyle motorun değişken valf zamanlamasından faydalanılmıştır. Yapılan deneyler neticesinde çift yakıt ile çalışmada sadece benzinle çalışmaya göre HC ve CO emisyonunda artış, CO₂ emisyonunda ise azalma tespit edilmiştir [55].

Jothi ve diğerleri, dizel + LPG çift yakıtlı, homojen dolgulu bir dizel motorda egzoz gazı resirkülasyonunun (EGR) farklı oranlarının etkilerini deneysel olarak araştırmıştır. LPG'nin düşük setan sayısı sebebiyle dizel motorlarda %100 kullanılamaması durumunu setan sayısını arttırarak çözmüşlerdir. LPG'nin setan sayısını arttırmak için içerisine setan sayısı çok yüksek olan dietil eter (DEE) ilave edilmiştir. Oluşturulan düzenek ile DEE ve LPG emme zamanında emme manifoldundan verilmiştir. Farklı EGR oranlarında yük değişimine bağlı olarak termik verim, HC, CO, NO_x, partikül miktarı, maksimum silindir basıncı ve basınç artış oranı tespit edilmiştir. Farklı EGR oranlarının LPG'li çalışmalarda farklı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. EGR'nin %5 olduğu durumda en yüksek termik verime ulaşılmıştır. Fakat bu değer de dizel yakıt ile çalışmaya göre düşük kalmıştır. EGR

oranındaki artışın yanmayı etkilediği ve maksimum silindir basıncını düşürdüğü görülmüştür [56].

Yiğit, tek silindirli, dört zamanlı, direkt enjeksiyonlu, hava soğutmalı bir dizel motorda LPG kullanımının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerini araştırmıştır. Deneysel çalışma neticesinde dizel motorunda dizel yakıt ile LPG'nin birlikte kullanılmasının motor gücü ve torku, özgül yakıt tüketimi, CO, CO₂ ve is emisyonları üzerine olumlu sonuçlar verdiğini tespit etmiştir [30].

Saleh, yaptığı çalışmada dual yakıtlı dizel motorda farklı oranlarda propan bütan içeriğine sahip LPG yakıtları kullanarak LPG bileşiminin motor performansına ve emisyonlara etkisini araştırmıştır. Deneysel çalışma için iki silindirli, doğal emişli, dört zamanlı direkt enjeksiyonlu dizel motoru kullanılmıştır. Testler sabit devir ve değişken yük altında yapılmıştır. Bütan oranı arttıkça NO_x emisyonunun azaldığı; propan oranının artması ile CO emisyonunun azaldığı tespit edilmiştir. %70 propan ve %30 bütan oranına sahip LPG kullanılarak, %40 LPG %60 dizel dual yakıt karışımı kullanıldığında performans ve emisyon açısından en iyi sonuçlar elde edilmiştir [57].

Vijayabalan ve Nagarajan, kızdırma bujisi ilave ederek yaptıkları dizel + LPG dual yakıtlı motor çalışması ile kızdırma bujisi devrede iken %3 oranında termik verimde artış elde etmişlerdir. Ayrıca, HC emisyonlarında %69, CO emisyonunda %50, partikül emisyonunda ise %9 azalma sağlanmıştır [58].

Sertçelik, yaptığı çalışmada birisi direkt diğeri indirekt enjeksiyonlu iki dizel motorunu dizel+LPG yakıt çifti ile çalışması için dönüştürmüştür. Direkt enjeksiyonlu dizel motorda tam yükte 2250 rpm hızda, dizel+%10 LPG ile %4,7 oranında; %75 yükte 1800 rpm hızda ve dizel+%10 LPG ile %14 oranında termik verimde artış belirlenmiştir. İndirekt motorda optimum LPG miktarı farklı motor hızları için %2-25 arasında değişmiştir. Optimum LPG oranı düşük motor devri ve yüklerinde artarken yüksek motor devri ve yüklerinde azalmaktadır. Böylece indirekt dizel enjeksiyonlu motorda termik verimde %0,7 ile %2,5 arasında iyileşme sağlanmıştır [59].

Aktaş ve Doğan, tek silindirli, direkt püskürtmeli bir dizel motoruna ikinci yakıt olarak LPG vererek bunun motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisini araştırmışlardır. Testler, maksimum tork devrinde (2600 d/d), değişen yüklerde saf dizel yakıtı ve kütleli

olarak %20, %40, %60, %80 ve %90 LPG içeren çift yakıt ile gerçekleştirilmiştir. LPG kullanımı ile NO_x ve is emisyonlarının azaldığını, CO ve HC emisyonlarının ise arttığını tespit etmişlerdir. Ayrıca, yakıt tüketiminin yüke bağlı olarak dizel yakıtına göre %3,5-15 oranında azaldığı görülmüştür [23].

Ergenç ve Koca, geliştirdikleri PLC devreye sahip elektronik kontrollü dizel+LPG yakıt sistemini Lombardini LDA 450 tipi motora uygulamışlar ve çift yakıtlı çalışmada yanma kalitesinde artış tespit etmişlerdir [60].

Ashok ve diğerleri, dizel+LPG dual yakıtlı motorların performans ve yanma parametrelerinin iyileştirilmesi için yaptıkları çalışmada dual yakıtlı motorların NO_x ve partikül emisyonunu azaltmak için uygun bir metot olduğunu fakat farklı motor yüklerinde sadece dizel yakıt ile çalışma durumuna göre motor veriminde azalma olduğunu tespit etmişlerdir. Motor devri, pilot yakıt miktarı, motor yükü, enjeksiyon zamanı, emme manifoldunun durumu, hava yakıt karışımının kompozisyonu gibi unsurların dual yakıtlı motorun performans ve emisyon karakteristikleri etkileyen parametreler olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca motor vuruşu seviyesinin üzerindeki sıkıştırma oranlarının motor verimini ve yanmadan kaynaklı gürültüyü arttırdığı tespit edilmiştir [61].

Nutu ve diğerleri, 6 silindirli Roman D2156 MTN 8 tipindeki motoru dual yakıt ile çalıştırmak için dönüştürmüştür. Bu dönüşüm sayesinde %18 seviyesinde yakıt tasarrufu ve NO_x emisyonlarında yaklaşık %25 seviyesinde azalma tespit edilmiştir. Ancak partikül emisyonlarında artma gözlemlenmiştir [62].

Vinoth ve diğerleri LPG'nin ana yakıt dizelin ise pilot yakıt olarak kullanılması için yaptıkları direkt ateşlemeli motor modifikasyonunda, dietil eteri (DEE) tutuşmanın iyileştirilmesi için kullanmışlardır. Yapılan bu deneysel çalışma neticesinde termik verimin %20 arttığı, artan LPG akış hızına bağlı olarak CO, NO_x emisyonunda azalma olduğu görülmüştür. Ancak artan DEE'ye bağlı olarak emisyon değerlerinde ve yakıt tüketiminde artış gözlemlenmiştir [63].

Dizel - LPG dual yakıtlı motorlar üzerine yapılan araştırmalar neticesinde Emme havası sıcaklığının artması ile yanma gecikmesinin azaldığı, termik verimin arttığı, HC ve CO

emisyonlarının azaldığı; optimum EGR akış hızı ile termik verimin arttığı ve HC emisyonlarının azaldığı belirlenmiştir [61, 64, 65].

Artan motor devri ile yanmadan kaynaklı motor gürültüsünün azaldığı, yanma veriminin arttığı ve devir hızına bağlı motordaki basınç yükselme oranının düştüğü görülmüştür [61] [66].

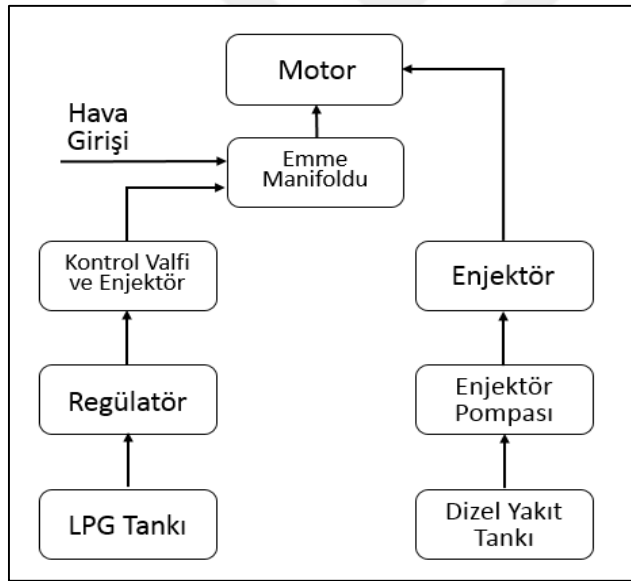
LPG kompozisyonu egzoz gazı sıcaklığını ve emisyon değerlerini değiştirmektedir. İçerisinde %30 bütan olan LPG'nin en iyi sonuçları verdiği ve değişken yük durumları hariç tutulursa dizel yakıtına eşdeğer motor performansı sunduğu görülmüştür [19, 57, 61, 67, 68].

Düşük motor yüklerinde motor veriminin düştüğü ve HC emisyonlarında artma olduğu, yüksek yük değerlerinde ise motor veriminin ve gürültüsünün arttığı gözlemlenmiştir [61, 69, 70].

Gelişmiş enjeksiyon zamanlaması ile motor veriminde artış sağlanabildiği görülmüştür. Bu yöntemle dizel duman opaklığı, HC, CO emisyonlarında azalma görülürken, artan sıcaklık sebebiyle NO_x emisyonunda ve motor gürültü seviyesinde artma meydana gelmektedir [52, 61].

5. DİZEL LPG DÖNÜŞÜM SİSTEMİ UYGULAMASI

Bu tez çalışması için deney aracına entegre edilen dizel-LPG dönüşüm sisteminin uygulanması aşamasında, motorda büyük çaplı bir tadilat söz konusu olmayıp sadece emme manifoldu üzerine yerleştirilen enjektörler yardımıyla silindir içerisine hava ile birlikte LPG enjekte edilmesi sağlanmıştır. LPG püskürtme zamanlaması bilgisi dizel enjektörleri üzerinden alınmış ve LPG EKÜ'sü ile LPG enjektörlerine açılma/kapanma komutu verilmiştir. LPG yakıt tankı aracın bagaj bölümü altında yer alan stepne kısmına yerleştirilmiştir. Dolum noktası aracın arka tampon kısmındadır. Diğer aksam motor bölümünde konumlandırılmıştır. Araç ön konsoluna sürücü için bir yakıt seçme anahtarı konmuştur. Uygulanan dizel-LPG dönüşüm sisteminin temel çalışma prensibi Şekil 5.1'de sunulmuştur.



Şekil 5.1. Dizel-LPG dönüşüm sisteminin temel çalışma prensibi

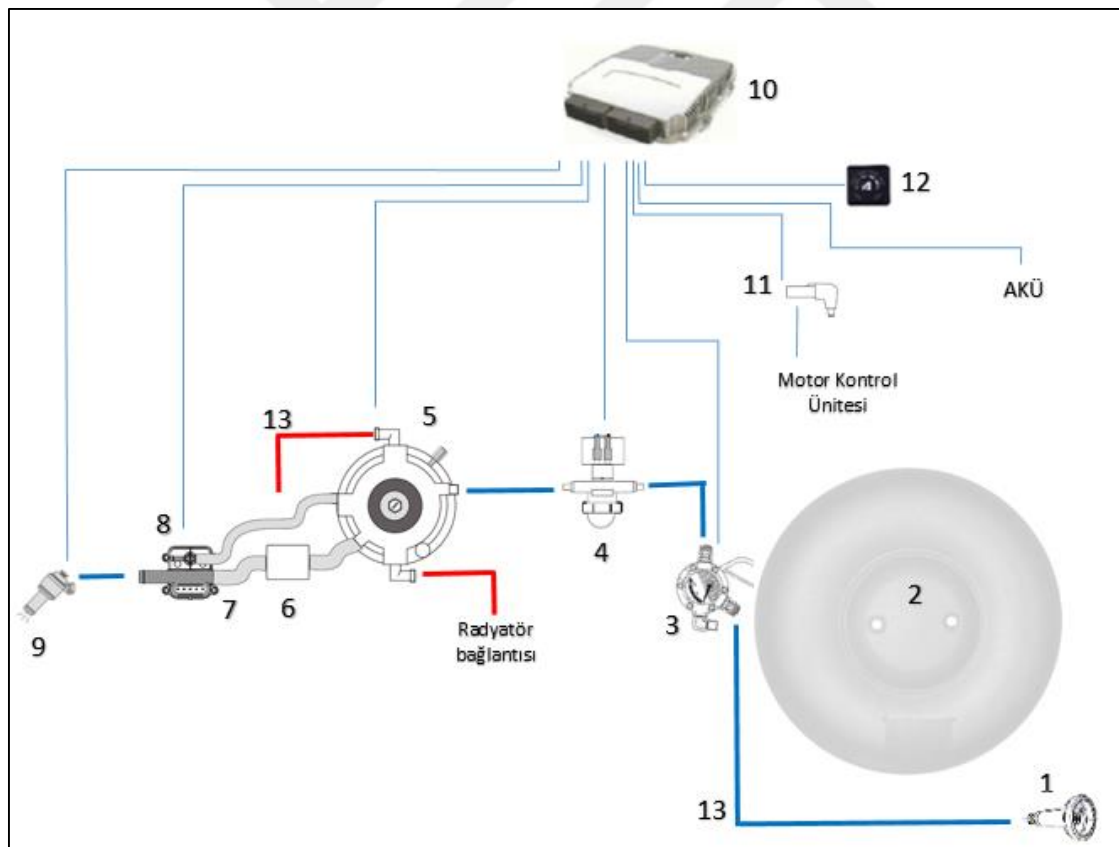
Motorun kararlı bir şekilde çalışabildiği, maksimum LPG miktarının emme manifoldundan yanma havası içine dahil edilmesi, böylece talep edilen motor gücü için daha düşük dizel yakıtı enjeksiyonu yapılması ile yakıt tasarrufu sağlanması amaçlanmıştır.

Standart benzin – LPG dönüşümü sistemlerinin aksine sistemin orijinal yakıt beslemesi kesilmemiş; yanma havası içerisine LPG ilave edilmiş; böylece daha etkili bir yanma

hedeflenmiştir. Düşük devirlerde daha yüksek motor gücü elde edilmiş; daha az dizel yakıtı ile istenen hız değerlerine ulaşılabilmesi sağlanmıştır.

Bu süreçte önceki akademik çalışmaların sonuçlardan faydalanılmış; deney yöntemi ile motorun kararlı olarak çalışabildiği karışım miktarı tayin edilmiştir. Soğuk çalıştırmanın ardından regülatör sıcaklığının 70 C°'ye vardığı ve motorun 1500 d/d'ya ulaştığı andan itibaren sistemin devreye girmesi durumunda motorun dizel yakıttan dizel+LPG yakıtı geçmesi halinde kararlı çalışmasını sürdürebildiği görülmüştür.

Yine yapılan deneyler sonucunda 1500-2000 d/d motor çalışma aralığında %20; 2001-2500 d/d çalışma aralığında %25 ve 2501< sonrası için ise %30 oranında yanma havasına eklenen LPG ile en iyi sonuçlar elde edilmiştir. Dizel-LPG dönüşüm sisteminin temel bileşenleri ile bağlantı şeması Şekil 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.2. Dizel LPG dönüşüm sisteminin temel bileşenleri

1. Dolum ucu
2. LPG tankı

3. Multivalf
4. Kapama valfi
5. Regülatör
6. LPG filtresi
7. Sıcaklık sensörü
8. MAP sensörü
9. LPG enjektörü
10. Elektronik kontrol ünitesi
11. Devir sensörü
12. Yakıt seçici anahtar ve seviye göstergesi
13. İletim elemanları

5.1. Dizel LPG Dönüşüm Sisteminin Temel Bileşenleri ve Görevleri

Test aracına uygulanan LPG dönüşüm sisteminin temel bileşenleri, LPG tankına dolum yapılmasını sağlayan dolum noktasından silindir içerisine LPG gönderilmesini sağlayan enjektöre kadar uçtan uca bu başlık altında verilmiştir.

5.1.1. Dolum noktası

Dolum noktası (Resim 5.1), LPG tankına dolum yapılabilmesini sağlayan parçadır. Ülkemizde “İtalyan tipi” olarak adlandırılan dolum noktası kullanılmaktadır. Sistemin en dış bileşeni olup zemine paralel olarak araç gövdesinden dışarıya bakacak şekilde konumlandırılmaktadır.



Resim 5.1. Dolum noktası

5.1.2. LPG tankı

Basınç altında sıkıştırılmış LPG gazını muhafaza eden; araca sabitlenmiş aksamdır. LPG tankı, maksimum 115 atmosfer basınca ve dış etkenlere mukavemetli yapılmış basınçlı bir kaptır. LPG tankı silindirik ve stepne tipte olmak üzere iki çeşittir. Araçlara uygun şekilde farklı uzunluk ve çapta üretilmektedir [33].

Sızdırmaz olarak üretilen tank aşırı doldurmaya ve aşırı basınca karşı koruma sistemi ile donatılmıştır. Buhar genişmesi hesaba katılarak %80'e kadar doldurulmaları mümkün kılınmıştır. 50 lt kapasitede ve 680 mm çapındaki dıştan boğazlı bir simit tank Resim 5.2'te verilmiştir.



Resim 5.2. Ø680 mm dıştan boğazlı simit tank (50 lt)

5.1.3. Multivalf (çoklu valf)

%80 durdurmalı valf, basınç tahliye valfi ve seviye göstergesini üzerinde barındırması sebebiyle multivalf olarak adlandırılır. LPG dönüşüm sisteminde yakıt deposu üzerine takılan multivalf dolum yapmayı, yakıtın tahliyesini ve seviye gösterimini sağlayan parçadır.

Resim 5.3'te verilen multivalf, üzerinde barındırdığı güvenlik unsurları sayesinde LPG sisteminde görülecek bir sorunda aşırı akışı kontrol etmekte ve tank içinde tehlikeli boyuta yükselen basıncı LPG'nin kontrollü tahliyesi ile düşürmektedir.



Resim 5.3. LPG multivalfi

5.1.4. Kapama valfleri

LPG selenoid valfi, LPG deposu ve buharlaştırıcı arasına monte edilmiş elektromanyetik kumandalı bir valftir. Bu valfin görevi, motor çalışmadığı veya motor benzin ile çalıştırıldığında LPG akışını kesmektir. LPG selenoid valfi buharlaştırıcı üzerine monte edilebildiği gibi buharlaştırıcıya en yakın noktadan aracın gövdesine monte edilebilmektedir [33].

LPG dönüşüm sistemleri, motor LPG ile çalıştığında motora giden benzin yakıtı kesmek için bir selenoid valf içerir. Resim 5.4'te LPG selenoid valfi ve kapama valfi örnekleri sunulmuştur.



Resim 5.4. LPG selenoid valfi ve kapama valfi

5.1.5. LPG regülatörü

LPG regülatörü (Resim 5.5), LPG'yi sıvı fazdan gaz faza dönüştürdüğü için buharlaştırıcı olarak da adlandırılır. Motorun soğutma suyu sıcaklığından faydalanmak suretiyle LPG'yi

buharlaştırarak atmosferik basınca yakın ayarlanmış basınca getirerek miksere veya LPG enjektörlerine gönderir.



Resim 5.5. LPG regülatörü

5.1.6. LPG filtresi

LPG filtresi (Resim 5.6), LPG yakıtı içine karışması muhtemel yağ, pas ve toz gibi istenmeyen maddeleri tutarak LPG enjektörlerini korur. Sistem üzerinde bir sarf malzemesi durumunda olan LPG filtresi ortalama 10,000 km’de bir değiştirilmektedir.



Resim 5.6. LPG filtresi

5.1.7. MAP sensörü

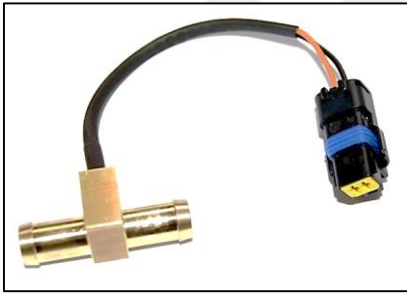
Mutlak basınç sensörü olarak da adlandırılan MAP sensörü (Resim 5.7), İngilizce Manifold Absolute Pressure kelimelerinin kısaltmasıdır. Emme manifoldundaki atmosferik basınç ile regülatörden çıkan gazın basıncını ölçerek EKÜ'ye gerekli sinyalleri gönderir. Böylece hava - LPG karışımı sabit tutularak maksimum verimlilik sağlanmış olur.



Resim 5.7. MAP sensörü

5.1.8. Sıcaklık sensörü

Sıcaklık sensörü (Resim 5.8), regülatör sıcaklığını algılayarak EKÜ'ye bildirmekte; böylece EKÜ tarafından LPG sisteminin ne zaman devreye gireceği belirlenmektedir. Ayrıca sisteme gönderilen LPG'nin sıcaklığı da sürekli izlenmektedir.



Resim 5.8 Sıcaklık sensörü

5.1.9. LPG enjektörleri

Borularla emme manifolduna bağlantısı olan LPG Enjektörleri (Resim 5.9), EKÜ tarafından selenoid valf ile kontrol edilen ve silindirlere doğrudan gaz yakıt gönderilmesini sağlayan aksamdır.



Resim 5.9. Dört silindirli motor için LPG enjektörleri

5.1.10. Elektronik kontrol ünitesi (EKÜ)

Elektronik kontrol ünitesi (Resim 5.10), modern LPG dönüşüm sistemlerinde tüm aksamın çalışmasını kontrol eden bir bilgisayardır. Toplanan tüm verileri işler. Aracın kendi motor EKÜ'sü ile iletişim kurup ihtiyaç anında ve ihtiyaç duyulan benzine tekabül eden LPG'yi silindirlere gönderir. LPG dönüşüm sistemi veya araç motoru çalışmadığında tüm valfleri kapatarak sistemin emniyetli kalmasını sağlar.



Resim 5.10. Elektronik kontrol ünitesi

5.1.11. Devir sensörü

Devir sensörü (Resim 5.11) sayesinde aracın orijinal motor EKÜ'sünden dizel enjektörlerine verilen komut alınıp LPG EKÜ'süne iletilerek doğru LPG püskürtme zamanı hesaplanır. Ayrıca LPG sisteminin çalışabilmesi için aracın RPM sinyalinin alınması ve LPG EKÜ'süne iletilmesi gerekir. Aksi halde motorda düzensiz çalışma ve vuruntu görülür.



Resim 5.11. Devir sensörü

5.1.12. Yakıt seçici anahtar ve seviye göstergesi

Yakıt seçme anahtarı, aracın hangi yakıt ile çalışacağını seçilebileceği, sürücü erişimi için araç içi ön konsola monte edilen bir elektrik anahtarıdır. Günümüz yakıt seçici anahtarları, üzerinde açık-kapalı konum seçici anahtar ile birlikte LPG deposundaki yakıt seviyesini gösteren LED göstergeye sahiptir. Tümüleşik yakıt seçici anahtar ve seviye göstergesi Resim 5.12’de verilmiştir.



Resim 5.12. Yakıt seçici anahtar ve seviye göstergesi

5.1.13. İletim elemanları

Bakır borular

LPG’yi dolum noktasından LPG tankına ya da LPG tankındaki sıvı LPG’yi LPG selenoid valfine ve oradan da buharlaştırıcıya ileten bağlantı elemanlarıdır.

Çelik zırlı örgülü hortumlar

Buharlaştırıcı, mikser ve enjektörler arasındaki LPG akışını sağlamaktadır

Hortumlar

Isıl etkilere ve basınca dayanıklı olarak üretilirler. Su hortumu; genelde kauçuk malzemeden üretilmektedir; motor soğutma suyunu buharlaştırıcıya taşıma görevini yerine getirir. Havalandırma kapağına hava akışını sağlayan hortumlar ise plastik malzemeden üretilir.

LPG dönüşüm sisteminde kullanılan farklı tiplerde iletim elemanları Resim 5.13’de sunulmuştur.



Resim 5.13. Farklı tiplerde iletim elemanları

5.2. Yakıt Sistemi Dönüşümü Yapılan Araç Bilgileri

Tez çalışması için Türkiye’de oldukça tercih edilen bir markanın 2015 model N1 kategori hafif ticari aracı (kamyonet) seçilmiştir. Araç teknik özellikleri Çizelge 5.1’de, araç motorunun teknik özellikleri ise Çizelge 5.2’de verilmiştir.

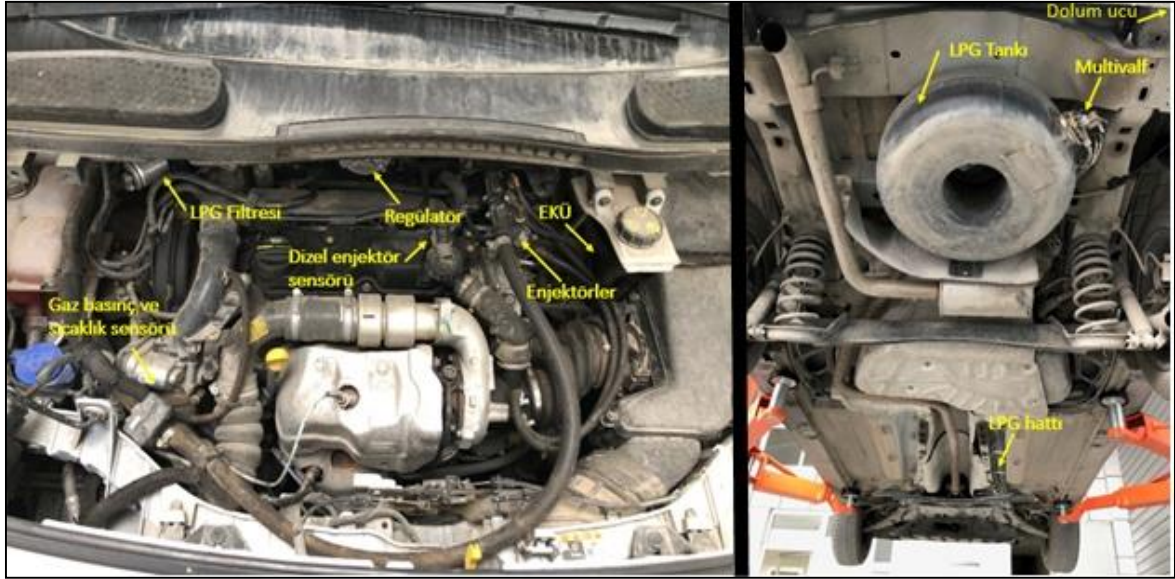
Çizelge 5.1. Deney aracının teknik özellikleri

Araç Kategorisi	N1 (minivan)
Net ağırlık	1506 kg
Azami yüklü ağırlığı	2215 kg
Boyutlar	2137/4418/1861 mm
Aktarma	Önden çekişli
Şanzıman	5 ileri manuel
Depo hacmi	60 lt

Çizelge 5.2. Deney aracı motorunun teknik özellikleri

Tipi	Turbo Diesel Common Rail Injection					
Yakıt sistemi	Enjeksiyonlu					
Motor tipi	DOHC Üstten eksantrikli, 8 valfli, sıkıştırma ateşlemeli					
Azami motor gücü	75 hp (55 kW) @3500 d/d					
Azami motor momenti	220 Nm@1500 d/d					
Silindir hacmi	1560 cm ³					
Silindir çapı	75 mm					
Strok boyu	88.3 mm					
Ateşleme sırası	1-3-4-2					
Şanzıman oranları	1. 1/3,800	2. 1/2,48	3. 1/1,258	4. 1/0,865	5. 1/ 0,674	Geri 1/ 3,727
Motor rölanti devri	780 d/d					
Azami motor devri	4500 d/d					
Emisyon kontrolü	Oksidasyon katalizörü, Su soğutmalı egzoz gazı devridaim sistemi Dizel partikül filtre katalizörü					
Emisyon Seviyesi	Euro 5					

Dizel - LPG dönüşümü sisteminin araç üzerinde gösterimi Resim 5.14'te; dönüşüm sisteminin programlanması aşamasında ait görüntü ise Resim 5.15'te verilmiştir.



Resim 5.14. Araç üzerinde dizek - LPG dönüşümü sisteminin gösterimi



Resim 5.15. Dizek - LPG dönüşümü sisteminin programlanması

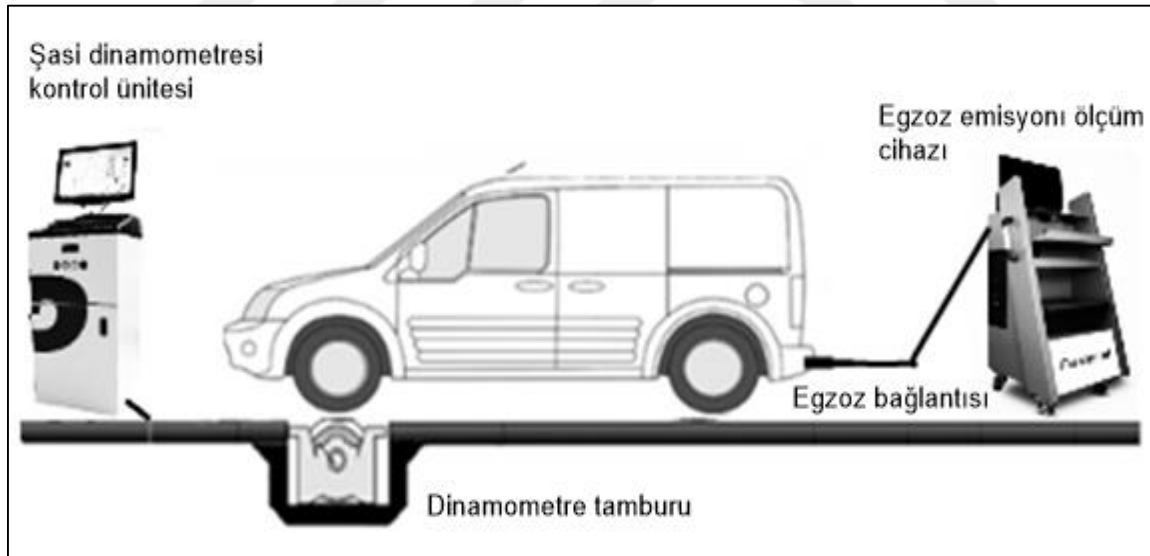
6. DENEYSEL ÇALIŞMA VE BULGULAR

Yakıt sistemi dönüşümü yapılan deney aracının performans ve emisyon testleri Konya ilinde yerleşik, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Egzoz Gazı Emisyon Ölçüm Yetki Belgesine ve TSE Hizmet Yeterlilik Belgesine sahip, şasi dinamometresi ve egzoz emisyon ölçüm cihazı olan, Federal Grup'a bağlı bir otomobil test merkezinde gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen yakıt ekonomisinin belirlenebilmesi için Konya il sınırlarındaki D715 karayolu üzerinde gerçek yol şartlarındaki kullanımda yakıt tüketimi hesaplanmıştır.

6.1. Test Düzeneği

Deneysel çalışmada kullanılan test düzeneğinin şematik görünümü Şekil 6.1'de, test alanına ait görüntü Resim 6.1'de, test aracın test düzeneğine alınmasına ait görüntü ise Resim 6.2'de verilmiştir.



Şekil 6.1. Test düzeneğinin şematik görünümü

Uygulamanın güvenilirliği ve idamesi ile ilgili olarak veriler, şehir içi kullanım Konya'da olmak üzere Konya, Ankara ve İstanbul illerindeki otoyollarda toplanmıştır.



Resim 6.1. Test alanı ve test düzeneği



Resim 6.2. Test aracının test düzeneğine alınması

Test düzeneğinde yer alan şasi dinamometresine ait görüntü Resim 6.3'te, şasi dinamometresi teknik özellikleri ise Çizelge 6.1'de verilmiştir.



Resim 6.3. Şasi dinamometresi

Çizelge 6.1. Şasi dinamometresinin teknik özellikleri

Marka Model:	Dyno Race DF2IS
Dinamometre Boyutları (mm)	3190X1060X390
Tambur Genişliği (mm)	650
Tamburlar Arası Mesafe (mm)	550
Tambur Çapı (mm)	318
Yol (mm)	850-2.100
Aks Açıklığı (mm)	//
Kaldırma ve Blokaj	Pnömatik
Ağırlık (kg)	1280
Maks. Hız (km/s)	300
Tekerlekteki Maksimum güç (kw)	400
Azami Devir (d/d)	5000
Aks Başına Azami Ağırlık (kg)	2500
Tekerlek Boyutu (inç)	13-23

Test Düzeneginde yer alan emisyon ölçüm cihazına ait görüntü Resim 6.4'te, emisyon ölçüm cihazı teknik özellikleri ise Çizelge 6.2'de verilmiştir.



Resim 6.4. Emisyon ölçüm cihazı

Çizelge 6.2. Emisyon ölçüm cihazının teknik özellikleri

Marka	Federal
Ölçüm standardı	EN ISO 3930 ve EN ISO 11614
Uyum	EURO 4 +
Ölçüm türleri	O ₂ , CO, CO ₂ , HC, PM
Ölçüm Hassasiyeti	
CO	% 0 – 10 hacmen
CO	% 0 – 20 hacmen
HC	0-20.000 ppm

6.2. Aracın Performans Değerlerindeki Değişim

Normal çalışma koşullarının teste yansıtılabilmesi için motor soğuk çalıştırma yerine 10 dk'lık bir rölanti çalışması ardından test edilmiştir. Böylece dizel+LPG sisteminin soğutma suyu sıcaklığına bağlı olarak geç devreye girmesinin önüne geçilmiştir.

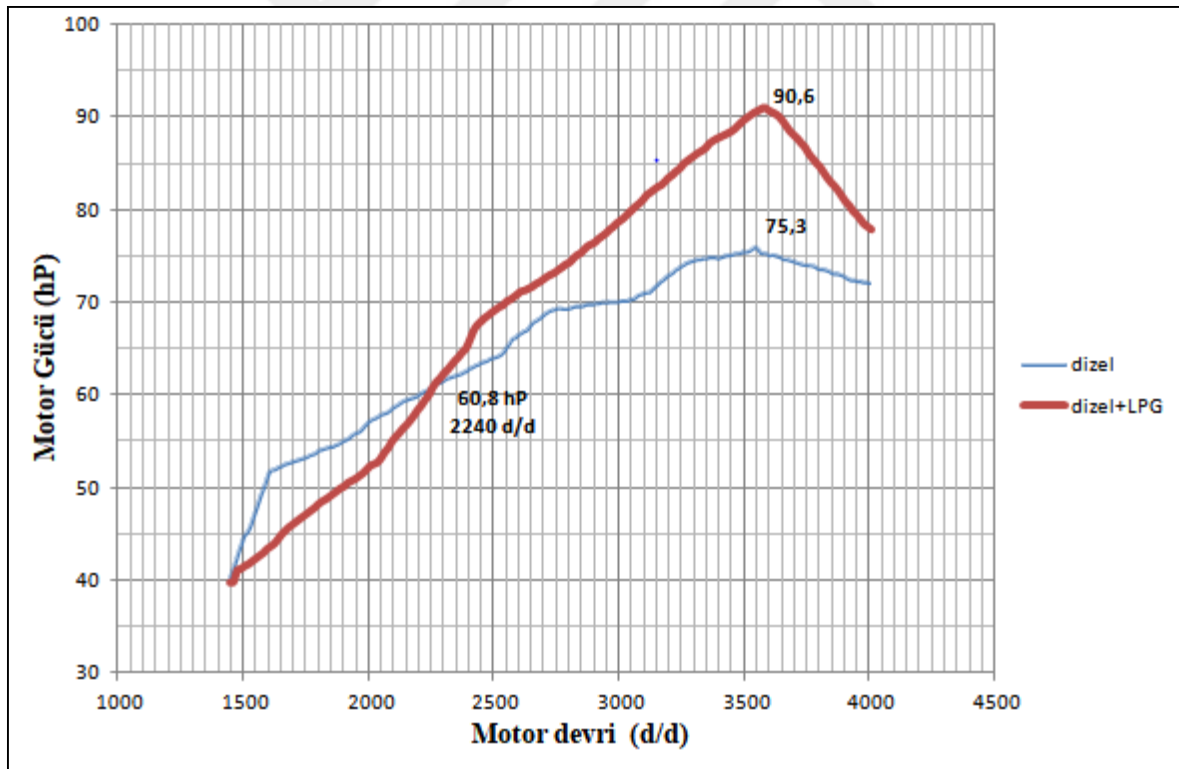
Şasi dinamometresi üzerinde yapılan deneyler neticesinde dizel yakıtı ile çalıştırılan motorun devrine bağlı olarak güç ve tork değerlerindeki değişim Ek-1'de, dizel + LPG yakıtı ile çalıştırılan motorun devrine bağlı olarak güç ve tork değerlerindeki değişim ise Ek-2'de sunulmuştur.

Elde edilen sonuçların daha iyi yorumlanabilmesi için Şekil 6.2'de ve 6.3'de verilen grafikler oluşturulmuştur. Dizel+LPG sistem modifikasyonu neticesinde 1530 rpm

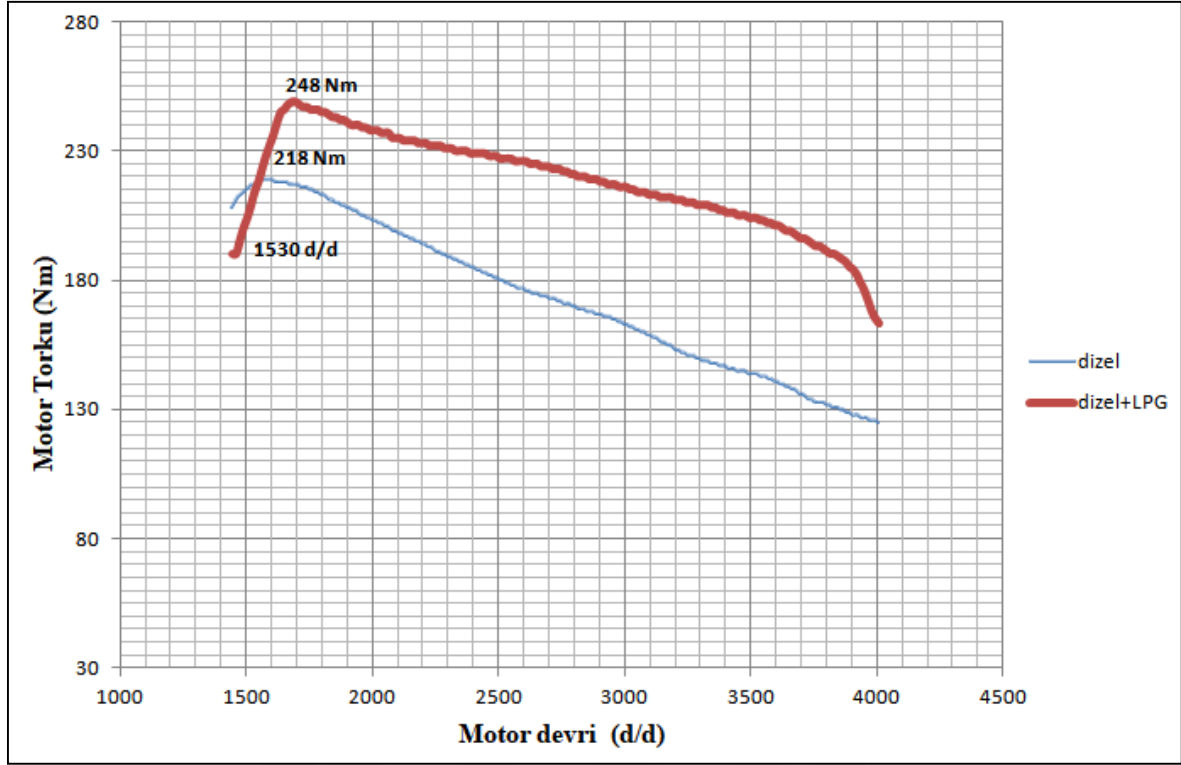
sonrasında aracın tork değerlerinde artış sağlandığı, normal sürüş devirleri arasında olan olan 2240 d/d sonrasında daha fazla motor gücü elde edildiği görülmüştür.

Sadece dizel yakıt ile çalışmada araç azami 75,3 kW güce ve 218 Nm torka ulaşırken, dizel+LPG ile çalışmada bu değer 90,6 kW, 248 Nm'ye kadar çıkmıştır. 3580 d/d'da sadece dizel yakıt ile çalışmada motor gücü 56 kW iken dizel+LPG ile çalışmada bu değer 67,9 kW değerindedir. Dizel+LPG dual yakıtı ile çalışmada azami %21,2 motor gücü artışı ortaya çıkmıştır. 3620 d/d'da sadece dizel yakıt ile çalışmada motor torku 140 Nm iken dizel+LPG ile çalışmada bu değer 200 Nm değerindedir. Dizel+LPG dual yakıtı ile çalışmada azami %42,8 tork artışı ortaya çıkmıştır.

Yapılan sistem modifikasyonu neticesinde dizel + LPG dual yakıtı ile çalışmanın aracın motor gücü ve tork değerlerinde dikkate değer iyileştirme sağladığı belirlenmiştir.



Şekil 6.2. Yakıt türüne göre motor gücündeki değişim



Şekil 6.3. Yakıt türüne göre motor torkundaki değişim

6.3. Aracın Emisyon Değerlerindeki Değişim

Emisyon değerlerindeki değişimin tespiti için öncelikle ülkemizdeki egzoz emisyon kriterleri çerçevesinde TS 13231 standardında belirtilen, dizel araçları için duman koyuluğunu gösteren ve egzoz gazı içinden geçen ışının absorpsiyon miktarına karşılık gelen absorpsiyon katsayısı ölçümü yapılmıştır.

Trafikte kullanılmakta olan dizel motorlu taşıtlarda absorpsiyon katsayısı sınır değerleri Çizelge 6.3'te verilmiştir [71, 72].

Çizelge 6.3. Absorpsiyon katsayısı sınır değerleri

Taşıta Ait Bilgi	Absorpsiyon katsayısı, 1/m
Normal emişli dizel motorlarda	2.5
Aşırı doldurmalı (turbo) dizel motorlarda	3.0
2011 model ve daha yüksek modellerdeki dizel motorlarda	1.5

TS 13231 çerçevesinde yapılan test neticesinde elde edilen test sonuçları Çizelge 6.4'te verilmiştir. Yapılan sistem modifikasyonu neticesinde dizel + LPG dual yakıtı ile çalışma absorpsiyon katsayısında neredeyse iki katına varan bir artışa sebep olmuştur. Ancak araç halen 1,5 olan sınır değeri içerisinde kalmaktadır.

Çizelge 6.4. Emisyon testi sonuçları (absorpsiyon katsayısı)

DİZEL		DİZEL + LPG
Partikül 1/m		
0,79	Ölçüm 1	1,33
0,72	Ölçüm 2	1,39
0,77	Ölçüm 3	1,36
0,76	Sonuç	1,36

Diğer taraftan, kirlетici madde temelinde, deney aracının tabi olduğu emisyon sınır değerleri Avrupa Parlamentosunun 715/2007 sayılı regülasyonunda ve ülkemizde Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığınca yayınlanan “Hafif Yolcu ve Ticari Araçlardan Çıkan Emisyonlar (Euro 5 Ve Euro 6) Bakımından ve Araç Tamir ve Bakım Bilgilerine Erişim Konusunda Motorlu Araçların Tip Onayına İlişkin Yönetmelik (AT) 715/2007)’te Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik’te belirlenmiştir. Araç kategorisi ve motor tipi bazında sınır değerler Ek-3’te sunulmuştur [73, 74]. Deney aracının tabi olduğu emisyon sınır değerleri Çizelge 6.5.’te verilmiştir.

Çizelge 6.5. N1 kategori dizel motorlu araç için Euro 5 emisyon sınır değerleri

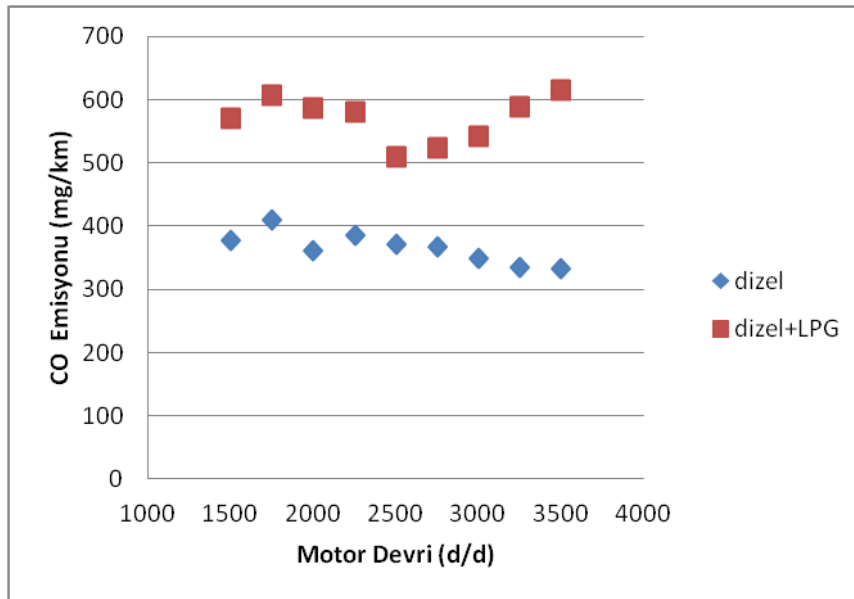
Referans kütle (RM) (kg)	Sınır Değerler						
	Karbon monoksit kütle (CO)	Hidrokarbonların toplam kütle (THC)	Metan olmayan hidrokarbon-ların kütle (NMHC)	Azot oksitlerin kütle (NO _x)	Hidrokarbonların ve azot oksitlerin birleşik kütle (THC+NO _x)	Parçacık maddenin kütle (PM)	Parçacık sayısı (P)
1305 < RM ≤ 1760	630	-	-	235	295	5,0/4,5	6,0x10

Soğuk çalıştırmadan itibaren izlenen deney yöntemi neticesinde motor devrine bağlı olarak elde edilen emisyon değerleri Çizelge 6.6'da verilmiştir. NO_x ölçüm altyapısı mevcut olmadığından bu kirletici ile ilgili sonuçlar alınamamıştır.

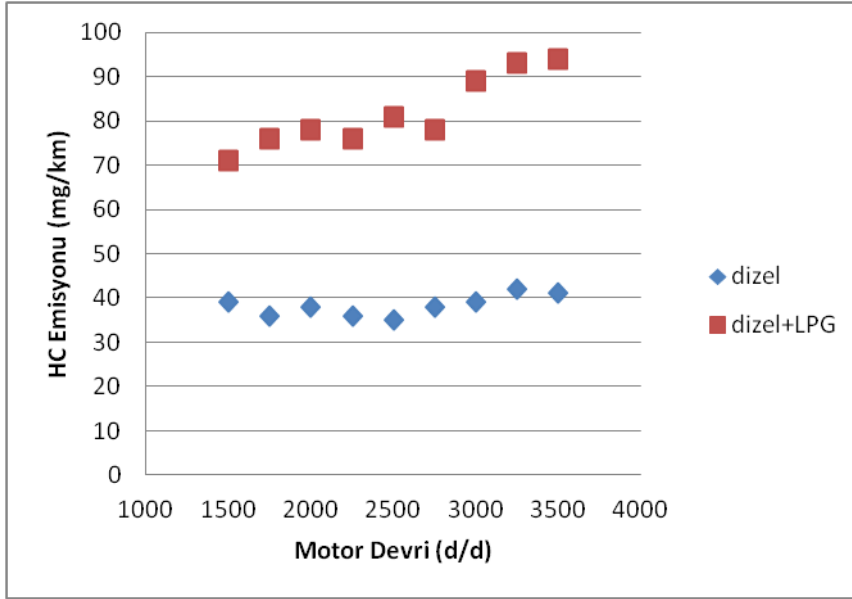
Çizelge 6.6. Emisyon testi sonuçları (motor devrine bağlı)

DİZEL				Motor Devri (d/d)	DİZEL + LPG			
CO mg/km	HC mg/km	Partikül mg/km	CO ₂ g/km		CO ₂ g/km	Partikül mg/km	HC mg/km	CO mg/km
378	39	0,42	141	1500	137	0,76	71	571
409	36	0,39	138	1750	132	0,75	76	606
361	38	0,43	155	2000	134	0,72	78	586
385	36	0,41	142	2250	134	0,7	76	580
371	35	0,38	155	2500	140	0,67	81	509
368	38	0,4	161	2750	137	0,68	78	523
349	39	0,48	178	3000	135	0,71	89	542
335	42	0,47	183	3250	132	0,75	93	589
332	41	0,45	186	3500	130	0,78	94	615

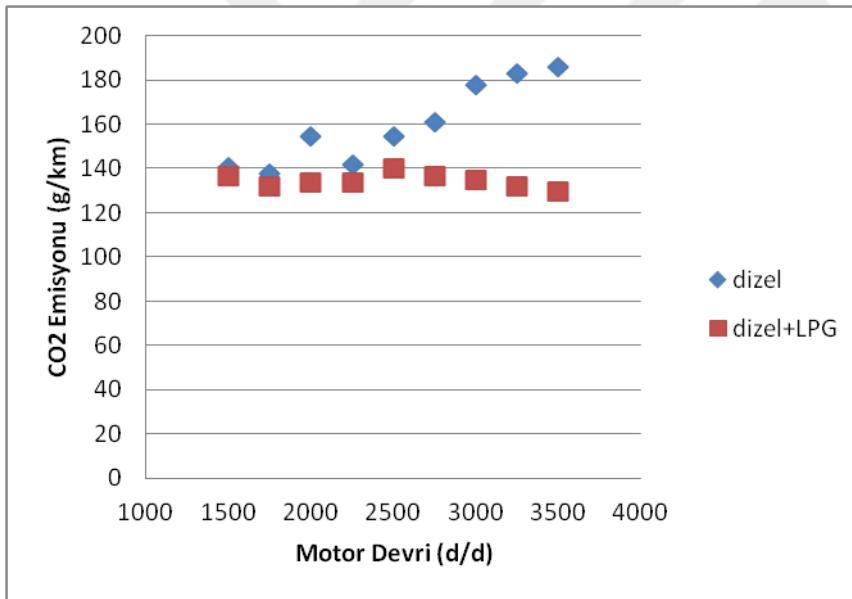
Çizelge 6.6'da tablo halinde verilen emisyon değerlerinin daha iyi yorumlanabilmesi için kirletici bazında hazırlanan grafikler Şekil 6.4, Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'da sunulmuştur.



Şekil 6.4. CO emisyonunun motor devrine bağlı değişimi



Şekil 6.5. HC emisyonunun motor devrine bağlı değişimi



Şekil 6.6. CO₂ emisyonunun motor devrine bağlı değişimi

Deney sonuçları incelendiğinde, CO, HC ve partikül emisyonlarının arttığı; CO₂ emisyon değerinin ise bir miktar düştüğü gözlemlenmiştir. Çizelge 6.5.'de verilen deney aracı için Euro 5 emisyon sınırları dikkate alındığında anılan kirleticiler için sınır değerlere yaklaşıldığı fakat sınır değerlerinin geçilmediği görülmektedir. NO_x emisyonu özellikle dizel motorlarda bir sorun olarak ortaya çıkmaktadır. Sıcaklık, oksijen ve zaman NO_x oluşumu için üç temel şarttır. Artan motor devirlerinde yanma odası içerisindeki türbülans artacak ve tutuşma gecikmesi süresi kısalmaktadır. Diğer taraftan motor sıcaklığı

yükselecektir. LPG sisteminin devreye girdiği ilk aşamada silindire giren LPG'nin HFK'yı düşürmesi ve daha az dizel yakıtı enjeksiyonu gereksinimi NO_x emisyonlarında düşüşe sebep olsa da artan silindir içi sıcaklık sebebiyle dual yakıtlı çalışmada NO_x emisyonlarının artması beklenir.

6.4. Yakıt Tüketimi

Dizel ve LPG enjektörlerinin sabit basınç altında püskürtme sürelerinin (enjektörlerin açık kalma süresinin) bilinmesi durumunda enjektörlerin yakıt debilerinin tespiti mümkün olabilmektedir. Motorun yakıt tüketimi bütün enjektörlerin yakıt debilerinin toplamıdır.

Dizel+LPG dual yakıtlı dönüşüm sisteminde benzinli sistemlerden farklı olarak dizel enjektörleri kapatılmamakta; LPG ilave yakıt olarak silindirlere gönderilmektedir. Dolayısıyla toplam tüketim, motorun standart dizel yakıt tüketimi ve ilave edilen LPG tüketimidir.

Yakıtların kütleli debileri aşağıdaki eşitliklerden teorik olarak hesaplanabilir.

Dizel yakıtının kütleli debisi:

$$\dot{m}_d = \rho_d \dot{V}_d \quad (6.1)$$

şeklinde yazılabilir. Dizel yakıtının hacimsel debisi, bir enjektörün bir çevrimde püskürttüğü hacimsel yakıt miktarının ($\bar{V}_d$) bilinmesi durumunda:

$$\dot{V}_d = i s \frac{n}{60} \bar{V}_d \quad (6.2)$$

bağıntısıyla ifade edilebilir.

Eş. 6.1'de $\dot{V}_d$ ifadesi yerine konursa dizel yakıtının kütleli debisi:

$$\dot{m}_d = \rho_d i s \frac{n}{60} \bar{V}_d \quad (6.3)$$

olarak bulunur.

Aynı şekilde Eş. 6.1 ve Eş. 6.2 LPG için düzenlenirse LPG yakıtının kütleli debisi:

$$\dot{m}_{LPG} = \rho_{LPG} i s \frac{n}{60} \bar{V}_{LPG} \quad (6.4)$$

$$\dot{m}_{LPG} = \rho_{LPG} i s \frac{n}{60} t \quad (6.5)$$

olarak elde edilir. [75]

yukarıda görülen eşitliklerde;

i : motor katsayısı (4 zamanlı motorlar için 0.5)

$\dot{m}_d$: dizel yakıtın kütleli debisi (kg/s)

$\dot{m}_{LPG}$: LPG kütleli debisi (kg/s)

n : motor devri (d/d)

s : silindir sayısı

ρ_d : dizel yakıtının yoğunluğu (kg/m³)

ρ_{LPG} : LPG yakıtının yoğunluğu (kg/m³)

$\dot{V}_d$: dizel yakıtı hacimsel debisi (m³/s)

$\dot{V}_{LPG}$: LPG yakıtı hacimsel debisi (m³/s)

$\bar{V}_d$: bir çevrimde enjektörden püskürtülen hacimsel dizel yakıt miktarı (m³/çevrim)

$\bar{V}_{LPG}$: bir çevrimde enjektörden püskürtülen hacimsel LPG yakıt miktarı (m³/çevrim)

ifade etmektedir.

Diğer taraftan, gerçek yol şartlarında araç rölanti devri ile 3500 rpm arasında değişken rejimde kullanılmaktadır, dolayısıyla sabit devire göre yapılacak bir hesap yanıltıcı olacaktır. Bu sebeple aracın yakıt tüketimi deneysel olarak hesaplanmaya çalışılmıştır.

Aracın yakıt tüketiminin hesaplanabilmesi için testler havanın açık ve 14 C° civarında olduğu 2 günde Konya il sınırlarında D715 karayolu üzerinde gidiş ve dönüş olarak toplam 214 km'lik güzergahta, aynı yol şartlarında gerçekleştirilmiştir. Aracın cruise control sisteminden yardım alınarak otoyolda test aracı için müsaade edilen 110 km/h ortalama hız

ile önce dizel yakıtla daha sonra ise dizel+LPG yakıtla bu mesafe alınmıştır. Dizel yakıt deposu ve LPG tankından azalan yakıt miktarının ölçülmesi ile toplam tüketim elde edilmiştir. Yapılan deneyin doğruluğunu teyit amaçlı bit refakatçi ve farklı sürücülerle aynı güzergahta ikişer kez yol testi gerçekleştirilmiş ve ortalama değer alınmıştır. Aynı akaryakıt istasyonundan dolum yapılmıştır ve her test öncesi aracın km sayacı sıfırlanarak alınan mesafe ölçülmüştür. Yapılan testler neticesinde elde edilen Yakıt tüketimi sonuçları Çizelge 6.7’de verilmiştir.

Çizelge 6.7. Yakıt tüketiminin deneysel sonuçları

	Alınan Mesafe (km)	Dizel Tüketimi (l)	LPG Tüketimi (l)	Toplam Tüketim Ortalaması (l)
Dizel yakıt ile 1. test	214	18,36	0	18,20 Dizel
Dizel yakıt ile 2. test	214	18,05	0	
Dizel+LPG yakıt ile 1. test	214	13,48	4,9	13,39 Dizel + 5,02 LPG
Dizel+LPG yakıt ile 2. test	214	13,3	5,15	

Test sonuçları değerlendirildiğinde, aracın dizel yakıtı ile kullanımında 8,5 l dizel/100 km; dizel+LPG yakıtı ile kullanımında ise toplam 6,25 l dizel/100 km ve 2,34 lt LPG/100 km maliyet ortaya çıktığı görülmüştür.

Ülkemizde yakıt fiyatları yıl içinde dikkate değer şekilde değişim gösterebilmektedir. Bu sebeple aynı markanın belirli bir satış bölgesi için 1 yıl içinde EPDK’ya bildirdiği pompa tavan satış fiyatları Ek-4’de toplanmış ve yıllık yakıt fiyatı ortalaması tespit edilmiştir [76, 77].

03.04.2017 - 04.04.2018 tarihleri arasında dizel yakıtı için ortalama fiyat 4,80 l/TL; LPG için ortalama fiyat ise 3,25 l/TL olarak hesaplanmıştır. Bulunan ortalama yakıt fiyatları ile yakıt tüketimi dizel yakıtı için 40,8 TL/100 km; dizel + LPG yakıtı için 37,6 TL/100 km olarak tespit edilmiştir. Dizel + LPG yakıtı kullanılması ile ortaya çıkan tasarruf %7,8 civarındadır.

6.5. Dizel LPG Dönüşüm Sisteminin Fayda/Maliyet Hesabı

Bu dönüşümün araca uygulanabilmesi için Türkiye koşullarında ortalama 2450 TL gibi bir maliyet öngörülmektedir. Diğer taraftan tadilat sonrası gerekli olan aracın fenni muayenesi ve yapılan tadilatın aracın tescil belgesine işletilmesi için ilave 314,56 TL maliyet ortaya çıkmaktadır. Böylece toplam ilk yatırım maliyeti 2764,56 TL olarak hesaplanmıştır.

Bu maliyet, ancak aracın 86392,5 km kullanımı sonunda amorti edilebilmektedir. Bu da yıllık ortalama 15000 km yol alan bir araç için 5 yıl 9 aylık zamana tekabül etmektedir.

LPG dönüşüm sistemi kaynaklı ilave yıllık rutin bakım masrafları (LPG filtresi değişimi vs.) ile regülatör veya tank imalatçısının beyanına bağlı olarak 10 veya 15 yıl içinde zorunlu olan LPG tankı değişimi gibi büyük tadilatlar hesaba katılırsa sistem maliyetinin geri kazanımı çok daha uzamakta, hatta aracın 10 yıl olarak öngörülen ekonomik ömrünü geçmektedir.

6.6. Dizel LPG Dönüşüm Sisteminin Güvenilirliği ve İdamesi

Söz konusu deney aracı 2 hafta boyunca farklı sürücüler ile şehir içi ve şehir dışı trafikte kullanılmış ve geri dönüşler toplanmıştır. Aracın uzun yolda sabit 2500-3000 d/d aralığında kullanımı durumunda daha iyi bir performans gösterdiği ve yakıt ekonomisi sağladığı; fakat şehir içi trafiğinde, ani motor devri değişikliklerinde, çok fazla dur-kalk şeklinde sürüş mevzu bahis olduğunda motorun kararlı rejiminin kaybolduğu; sistemin devreye girip çıktığı 1500 d/d aralığında bazen motorun vurunutulu olarak çalıştığı hatta durduğu görülmüştür. LPG EKÜ parametrelerinde farklı LPG/hava karışımı oranları uygulanmış fakat bu sorunun önüne geçilememiştir.

Bununla birlikte, yakıt sistemi modifikasyonu neticesinde söz konusu zaman aralığında yukarıda ifade edilenler hususlar hariç araç motorunda herhangi bir arıza ile karşılaşılmamıştır.



7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Motorun kararlı bir şekilde çalışabildiği, maksimum LPG miktarının emme manifoldundan yanma havası içine dahil edilmesi, böylece talep edilen motor gücü için daha düşük dizel yakıtı enjeksiyonu yapılması prensibine bağlı olarak yapılan bu çalışmada elde edilen bulgular değerlendirilmiştir.

Sistemin devreye girdiği andan itibaren motorun tork değerlerinde artış meydana geldiği, aracın normal sürüş devirlerinde (2200-3000 d/d) motorun daha fazla güç ürettiği görülmüştür. 1.4 l motor hacmine sahip araç neredeyse aynı modelde (araç tipi - varyantında) 1.6 l motor hacmine sahip olan aracın performans değerlerine erişmiştir. Daha düşük motor devrinde daha fazla güç üretilmesi sebebiyle yakıt ekonomisi sağlanmıştır.

Yapılan yol testlerinde ortalama yakıt fiyatları dikkate alındığında %7,8 civarında yakıt ekonomisi sağlandığı; bazı emisyon değerlerinde artış meydana geldiği fakat yürürlükteki mevzuat çerçevesinde sınır değerlerin geçilmediği görülmüştür. Emme manifoldundan verilen LPG sebebiyle silindirlere daha az hava alınabilmekte dolayısıyla volümetrik verim düşmektedir. Ayrıca, LPG'nin silindirlere verilme hızının motorda değişen yanma hızına tam olarak adapte edilememesi, uygun olmayan hava-dizel+LPG karışımı yanma verimini düşürmektedir. LPG'nin homojen olarak silindirlerde bulunması, ayrıca yüksek alt ısı değeri sayesinde karışımın yanması neticesinde verim yükselmektedir.

Ülkemizdeki yasal mevzuat incelenmiş, araç üzerinde yapılan bu tadilat sonrasında Araçların İmal Montaj ve Tadilatı Hakkında Yönetmelik kapsamında aracın dual (dizel+LPG) yakıtlı olarak tescil edilmesinde herhangi bir sakınca bulunmadığı görülmüştür. Bu tadilat anılan yönetmelikte ve ECE R 115 regülasyonunda tanımlıdır.

Yapılan yakıt sistemi modifikasyonu neticesinde iki haftalık deneysel kullanım süresi boyunca aracın motorunda herhangi bir arıza tespit edilmemiştir.

Aracın faydalı yük kapasitesindeki azalma, LPG tankı konumuna bağlı olarak araç içi hacimdeki azalma, maliyetin geri dönüş süresinin uzunluğu ve olası motor arızalarının

öngörülmemesi sebebiyle dizel araç motorunun dizel+LPG dual yakıtı için modifikasyonu kazançlı bir uygulama olarak değerlendirilememiştir.

Elektrikli araçların hızla piyasada yerini aldığı günümüzde, sadece dar bir zaman aralığında geçiş süreci çözümü olarak kendisine yer bulabilecek bu uygulama ancak daha yüksek yakıt tasarrufu sağlaması halinde karlı bir yatırım olabilecektir.

Bunun için farklı araç motorları üzerinde yapılacak çalışmalar neticesinde motor devrine bağlı olarak ideal hava - dizel+LPG karışımının bulunması ve motorun LPG'li çalışma haritasının oluşturulması gerekmektedir. Böylece alternatif yakıt olarak kullanılan LPG'den azami fayda elde edilecektir.

KAYNAKLAR

1. Lee, S. , Kusaka, J. and Daisho, Y. (2001). Spray Characteristics of Alternative Fuels in Constant Volume Chamber. *JSAE Review*, 22 (3), 271–276.
2. Özcan, F. (2010). *Buji Ateşlemeli Bir Motorda LPG ve CNG (Sıkıştırılmış Doğalgaz) Kullanımının Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 21-25.
3. Karamangil, M. I. (2007). Development of the Auto Gas and LPG-Powered Vehicle Sector in Turkey: A Statistical Case Study of the Sector for Bursa. *Energy Policy*, 35 (1), 640–649.
4. Mizushima, N., Sato, S., Ogawa, Y., Yamamoto, T., Sawut, U., Takigawa, B., Kawayoko and K., Konagai, G. (2009). Combustion Characteristics and Performance Increase of an LPG-SI Engine with Liquid Fuel Injection System. *SAE Technical Paper*, 2009-01-2785, 1-9.
5. The World LPG Association. (2017). *Autogas Incentive Policies*. WLPGA 2017 Eddition, 16, 33-37.
6. Bielaczyc, P., Szczotka, A. and Brodzinski, H. (2001). Analysis of the Exhaust Emissions from Vehicles Fuelled with Petrol or LPG and CNG Alternatively. *Journal of Kones. Combustion Engines*, 1-2, 363-369.
7. Çetinkaya, S. (2004). Benzin ve Diesel Motorların Doğal Gaz Motoruna Dönüştürülmesi. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 81, 14–31.
8. Uğurlu A. (2008). *Taşıt LPG Dönüşüm Regülatörlerindeki Soğuk Çalıştırma Probleminin Çözümünde Faz Değiştiren Malzemelerin (PCM) Uygulanması*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 16-17.
9. Çelik M. B., Balki. M. K. (2007). Düşük Güçlü Bir Motorda Farklı Sıkıştırma Oranlarında LPG Kullanımının Performans ve Emisyonlara Etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22 (1), 81–86.
10. Türkiye İstatistik Kurumu. (2017). *Motorlu Kara Taşıtları*. TÜİK 24603, Ankara.
11. Heywood, J. B. (1988). *Internal Combustion Engine Fundamentals*, New York: McGraw-Hill, 1-7, 31-41.
12. Aydın, F. (2006). *Sıralı Gaz Fazı Enjeksiyon Sisteminin Deneysel Olarak İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 5-7.
13. Mollenhauer. K., Tschoke, H. (2010). *Handbook of Diesel Engines*. Heidelberg: Springer, 3-6.

14. Ustael, K. (2011). *Traktör Dizel Motorunun Yüksek Sıkıştırma Oranında LPG ile Çalışmasını Sağlayan Yeni Bir Yanma Odasının Teorik ve Deneysel İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 17-18.
15. S. Solak, (2013). *Biyodizel/LPG Çift Yakıtlı Bir Motorda Püskürtme Zamanının Performans ve Emisyonlara Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 15-19.
16. Ergenç, A. T. (2009). *Biodizel Yakıt ile Çalışan Motordaki Püskürtmenin Performans ve Emisyon Yönünden Optimizasyonu*, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 10-12.
17. Koca, D. Ö. (2013). *Dizel Motorlarında Motorin ve LPG Yakıtlarının Birlikte Kullanımının Deneysel Olarak Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 9-11.
18. Tira, H. S., Herreros, J. M., Tsolakis, A. and Wyszynski, M. L. (2012). Characteristics of LPG-Diesel Dual Fuelled Engine Operated with Rapeseed Methyl Ester and Gas-to-Liquid Diesel Fuels. *Energy*, 47 (1), 620–629.
19. Lata, D. B., Misra, A. (2010). Theoretical and Experimental Investigations on the Performance of Dual Fuel Diesel Engine with Hydrogen and LPG as Secondary Fuels. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35 (21), 11918–11931.
20. Keskin, S., Sağiroğlu, A. (2010). Dizel Motorlarından Kaynaklanan Egzoz Emisyonları ve Kontrol Yöntemleri. *Mühendis ve Makine Dergisi*, 22 (1), 81-86.
21. Diler, A. (2006). *Şehir İçi Toplu Taşımacılıkta Kullanılan Otobüslerde Doğal Gaz Kullanımının Karbondioksit Emisyonlarına Etkileri*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 36-37.
22. Kaytakoğlu, S. E. (1995, 1-3 Haziran) *Motorlu Taşıtlardan Kaynaklanan Kirlilik ve Giderme Yöntemleri*. Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü 3. Ulusal Sempozyumunda sunuldu, Ankara.
23. Doğan, A., Aktaş, O. (2010). Çift Yakıtlı Bir Dizel Motorda LPG Yüzdesinin Performans ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25 (1), 171–175.
24. Doğan, H. E. (2013). *LPG Dönüşümü Yapılmış Bir Dizel Motorunda Azotoksit Oluşumunun Teorik ve Deneysel Olarak İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 10-11.
25. Alkaya, M. A., Yıldırım, B. (2000). Taşıt Kaynaklı Kirleticilerin Azaltılma Yöntemleri. *Ekoloji Çevre Dergisi*, 9 (34), 15–20.
26. Kelen, F. (2014). Motorlu Taşıt Emisyonlarının İnsan Sağlığı ve Çevre Üzerine Etkileri. *Yüzcüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1–2 (19), 80–87.

27. Masi, M. (2012). Experimental Analysis on a Spark Ignition Petrol Engine Fuelled with LPG (Liquefied Petroleum Gas), *Energy*, 41 (1) 252–260.
28. TMMOB Kimya Mühendisleri Odası. (2002). *LPG'nin Özellikleri ve Emniyetli Kullanımı*. İstanbul: TMMOB, 3-21.
29. Ciniviz, M. (2001). *Dizel Motorlarında Dizel Yakıtı ve Lpg Kullanımının Performans ve Emisyona Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 5-7.
30. Yiğit, A. (2008). *Bir Dizel Motorda LPG Kullanılması ve Farklı Özellikteki Pilot Dizel Yakıtının Motor Performans ve Emisyonuna Etkisinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 30-32.
31. Türk Standardları Enstitüsü. (2013). *Petrol Ürünleri - Yakıtlar (Sınıf F) - Sıvılaştırılmış Petrol Gazları (LPG) - Özellikler*. Ankara.
32. Aydın, F. (2009, 13-15 Mayıs). *İçten Yanmalı Motorlarda LPG ve Doğalgaz Sistemlerinin Karşılaştırılması*. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumunda sunuldu, Karabük.
33. TMMOB Makine Mühendisleri Odası. (1999). *Araçlarda LPG Dönüşümü ve Mühendislik El Kitabı*. Ankara: TMMOB Makine Mühendisleri Odası, 27-38.
34. Selçuk Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi. (1998). *Taşıtlarda Yakıt Olarak LPG Kullanımı*. Konya: Selçuk Üniversitesi, 18-27.
35. İnternet: Prins, Direct LiquiMax Sıvı LPG Dönüşüm Sistemi. URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.prinsautogas.com%2Fen%2Fproducts%2Fdirectliquimax_system%2Fdirectliquimax_system.html&date=2018-05-28, Son Erişim Tarihi: 28 Mayıs 2018.
36. Economic Commission for Europe (1995), *Regulation No: 67 Uniform Provisions Concerning the: I. Approval of Specific Equipment of Motor Vehicles Using Liquefied Petroleum Gases in their Propulsion System II. Approval of a Vehicle Fitted with Specific Equipment for the use of Liquefied Petroleum Gases in its Propulsion System with Regard to the Installation of such Equipment*, 67-69.
37. Ayhan, V. (2006). *Farklı Oranlardaki Metanol-Benzin Karışımlarının MGO-ZRO2 Bariyer Çemberli Motorda Performans ve Emisyona Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 24-24.
38. Solmaz, Ö. (2008, 9-10 Kasım). *LPG'yi Yakıt Olarak Kullanan Motorların Soğukta İlk Hareketini Kolaylaştırmak için Tasarlanan Sistemin Deneyisel Olarak Araştırılması*. 10. Yanma Sempozyumunda sunuldu, Sakarya.
39. Caligiuri, C. ve Renzi M. (2017). Combustion Modelling of a Dual Fuel Diesel – Producer Gas Compression Ignition Engine. *Energy Procedia*, 142, 1395–1400.

40. Poonia, M. P., Ramesh, A. and Gaur, R. R. (1998). Effect of Intake Air Temperature and Pilot Fuel Quantity on the Combustion Characteristics of a LPG Diesel Dual Fuel Engine, *SAE Technical Paper 982455*, 1-11.
41. Lee, J., Chu, S., Min, K., Kim, M., Jung, H., Kim, H. and Chi, Y. (2017). Classification of Diesel and Gasoline Dual-Fuel Combustion Modes by the Analysis of Heat Release Rate Shapes in a Compression Ignition Engine. *Fuel*, 209, 87–597.
42. Mikulski, M., Wierzbicki, S., Ambrosewicz-Walacik M., Duda, K. and Pietak, A. (2016). Combustion of Gaseous Alternative Fuels in Compression Ignition Engines. *Alternative Fuels, Technical and Environmental Conditions*, London: InTech, 28
43. Boretti, A. (2013). Conversion of a Heavy Duty Truck Diesel Engine with an Innovative Power Turbine Connected to the Crankshaft Through a Continuously Variable Transmission to Operate Compression Ignition Dual Fuel Diesel-LPG. *Fuel Processing Technology*, 113, 97–108.
44. Karim, G. A., Liu, Z. and Jones, W. (1993). Exhaust Emissions from Dual Fuel Engines at Light Load. *SAE Technical Paper 932822*, 1-9.
45. Ambarita, H. (2017). Performance and Emission Characteristics of a Small Diesel Engine Run in Dual-Fuel (Diesel-Biogas) Mode. *Case Studies in Thermal Engineering*, 10, 179–191.
46. Dishy, A., You, T., Iwashiro, Y., Nakayama, S., Kihara, R. and Saito, T. (1995). Controlling Combustion and Exhaust Emissions in a Direct-Injection Diesel Engine Dual-Fueled with Natural Gas. *SAE Technical Paper 952436*, 1-14.
47. Stewart, J., Clarke, A. and Chen, R. (2007). An Experimental Study of the Dual-Fuel Performance of a Small Compression Ignition Diesel Engine Operating with Three Gaseous Fuels. *Journal of Automobile Engineering*, 221 (8), 943–956.
48. Pirouzpanah, V., Mohammadi, A. B. (1996). Dual-Fuelling of an Industrial Indirect Injection Diesel Engine by Diesel and Liquid Petroleum Gas. *International Journal of Energy Research*, 20(10), 903 - 912.
49. Abd Alla, G. H., Soliman, H. A., Badr O. A. and Abd Rabbo M. F. (2000). Effect of Pilot Fuel Quantity on the Performance of a Dual Fuel Engine. *Energy Conversion and Management*, 41 (6), 559–572.
50. Ciniviz, M., Salman, M. S. ve Çarman, K. (Ocak, 2001). Dizel Motorlarında Dizel Yakıtı + LPG Kullanımının Performans ve Emisyona Etkisi. *Selçuk Teknik Online Dergisi*, 2, Web: <http://sutod.selcuk.edu.tr/sutod/issue/view/49> adresinden 2 Temmuz 2018'de alınmıştır.
51. Abd Alla, G. H., Soliman, H. A., Badr O. A. and Abd Rabbo M. F. (2002). Effect of Injection Timing on the Performance of a Dual Fuel Engine. *Energy Conversion and Management*, 43 (2), 269–277.

52. Selim, M. Y. E. (2004). Sensitivity of Dual Fuel Engine Combustion and Knocking Limits to Gaseous Fuel Composition. *Energy Conversion and Management*, 45 (3), 411–425.
53. Qi, D. H., Bian, Y. Z., Ma, Z. Y., Zhang, C. H. and Liu, S. Q. (2007). Combustion and Exhaust Emission Characteristics of a Compression Ignition Engine Using Liquefied Petroleum Gas–Diesel Blended Fuel. *Energy Conversion and Management*, 48 (2), 500–509.
54. Yeom, K., Jang, J. and Bae, C. (2007). Homogeneous Charge Compression Ignition of LPG and Gasoline Using Variable Valve Timing in an Engine. *Fuel*, 86 (4), 494–503.
55. Jothi, N. K. M., Nagarajan, G. and Renganarayanan, S. (2008). LPG Fueled Diesel Engine Using Diethyl Ether with Exhaust Gas Recirculation. *International Journal of Thermal Sciences*, 47 (4), 450–457.
56. Saleh, H. E. (2008). Effect of Variation in LPG Composition on Emissions and Performance in a Dual Fuel Diesel Engine. *Fuel*, 87 (13–14), 3031–3039.
57. Vijayabalan, P., Nagarajan, G. (2009). Performance, Emission and Combustion of LPG Diesel Dual Fuel Engine Using Glow Plug. *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 3 (2), 105–110.
58. Sertçelik, N. (2010). *Çift Yakıtlı Dizel Motorlarda LPG Kullanımının Performans ve Emisyona Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
59. Ergenç A. T., Koca, D. Ö. (2014). PLC Controlled Single Cylinder Diesel-LPG Engine. *Fuel*, 130, 273–278.
60. Ashok, B., Ashok, S. D. and Kumar, C. R. (2015). LPG Diesel Dual Fuel Engine – A Critical Review. *Alexandria Engineering Journal*, 54 (2), 105–126.
61. Nutu, N. C., Pana, C., Dobre, A., Negurescu, N. and Cernat, A. (2016). Theoretical and Experimental Study of the Fuelling a Truck Diesel Engine with Liquefied Petroleum Gas. *Applied Mechanics and Materials*, 822, 198–205.
62. Vinoth, T., Vasanthakumar, P., Krishnaraj, J., Arunsankar, S. K., Hariharan, J. and Palanisamy, M. (2017). Experimental Investigation on LPG + Diesel Fuelled Engine with DEE Ignition Improver. *Materials Today: Proceedings*, 4 (8), 9126–9132.
63. Paykani, A., Khoshbakhti S. R., Shervani-Tabar, M. T. and Mohammadi-Kousha, A. (2012). Effect of Exhaust Gas Recirculation and Intake Pre-heating on Performance and Emission Characteristics of Dual Fuel Engines at Part Loads. *Journal of Central South University of Technology*, 19 (5), 1346–1352.
64. Poonia, M. P., Bhardwaj, A. and Jethoo, A. S. (2011). Experimental Investigations on Engine Performance and Exhaust Emissions in an LPG Diesel Dual Fuel Engine. *International Journal of Environmental Science and Development*, 2 (6), 418–422.

65. Reddy, K. T., Reddy, P. R. and Ramana Murthy, P. V. (2008) Experimental Investigations on the Dual Fueled Diesel Engine. *Asian Journal of Scientific Research*, 1 (4), 429–436.
66. Lata, D. B., Misra, A. and Medhekar, S. (2012). Effect of hydrogen and LPG Addition on the Efficiency and Emissions of a Dual Fuel Diesel Engine. *International Journal of Hydrogen Energy*, 37 (7), 6084–6096.
67. Tira, H. S., Herreros, J. M., Tsolakis, A. and Wyszynski, M. L. (2014). Influence of The Addition of LPG-Reformate and H₂ on an Engine Dually Fuelled with LPG–Diesel, –RME and –GTL Fuels. *Fuel*, 118 (2), 73–82.
68. Abagnale, C., Cameretti, M. C., De Simio, L., Gambino, M., Iannaccone, S. and Tuccillo, R. (2014). Combined Numerical-Experimental Study of Dual Fuel Diesel Engine. *Energy Procedia*, 45, 721–730.
69. Rao, C. V. G. A., Raju, A.V.S., Govinda R. K. and Rao, M. (2011). Influence of Injection Pressure on Performance and Emissions of a Dual Fuel Engine. *International Journal of Engineering Mathematics*, 137 (1), 1240–1249.
70. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2017). *Egzoz Gazı Emisyonu Kontrolü Yönetmeliği*.
71. Türk Standardları Enstitüsü (2016). *İş Yerleri - Egzoz Gazı Emisyonu Ölçümü Yapan Yetkili İstasyonlar İçin Kurallar*.
72. Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2017). *Hafif Yolcu ve Ticari Araçlardan Çıkan Emisyonlar (Euro 5 Ve Euro 6) Bakımından ve Araç Tamir ve Bakım Bilgilerine Erişim Konusunda Motorlu Araçların Tip Onayına İlişkin Yönetmelik (715/2007 AT)*.
73. European Parliament, (2005). *Directive 2005/55/EC Approximation of the Laws of the Member States Relating to the Measures to be Taken Against the Emission of Gaseous and Particulate Pollutants from Compression Ignition Engines for Use in Vehicles, and the Emission of Gaseous Pollutants from Positive-Ignition Engines Fuelled with Natural Gas or Liquefied Petroleum Gas for use in Vehicles*.
74. Gümüş, M. (2009). Çift Yakıt Enjeksiyonlu Buji Ateşlemeli Bir Motorda LPG Kullanım Oranının Performans ve Emisyon Karakteristiklerine Etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24 (2), 264-273.
75. İnternet: Shell, Akaryakıt Pompa Satış Tavan Fiyatları. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2FAKARYAKIT+POMPA+SATIC5%9E+F%C4%B0YATLARI&date=2018-05-28>, Son Erişim Tarihi: 28 Mayıs 2018.
76. İnternet: Aygaz, KDV dahil LPG tavan satış fiyatları. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2FAKARYAKIT+POMPA+SATIC5%9E+F%C4%B0YATLARI&date=2018-05-28>, Son Erişim Tarihi: 28 Mayıs 2018.



EKLER

EK-1. Dizel yakıtı ile çalıştırılan motorun devrine bağlı olarak güç ve tork değerlerindeki değişim

RPM	KM/H	NM MOTOR	HP MOTOR	KW MOTOR
1445	53,2	208,0	40,0	29,8
1456	53,6	210,0	40,9	30,5
1468	54,0	212,0	41,9	31,2
1479	54,4	213,0	42,9	32,0
1491	54,9	214,0	43,8	32,6
1502	55,3	215,0	44,7	33,3
1513	55,7	216,0	45,0	33,5
1525	56,1	217,0	45,6	34,0
1536	56,5	217,0	46,5	34,6
1548	57,0	218,0	47,4	35,3
1559	57,4	219,0	48,3	36,0
1570	57,8	219,0	49,2	36,7
1582	58,2	219,0	50,0	37,3
1593	58,6	219,0	50,9	37,9
1605	59,1	219,0	51,7	38,5
1616	59,5	218,0	51,8	38,6
1628	59,9	218,0	51,9	38,7
1639	60,3	218,0	52,1	38,8
1650	60,7	218,0	52,2	38,9
1662	61,2	218,0	52,4	39,0
1673	61,6	217,0	52,5	39,1
1685	62,0	217,0	52,6	39,2
1696	62,4	217,0	52,7	39,3
1707	62,8	217,0	52,8	39,3
1719	63,3	216,0	52,9	39,4
1730	63,7	216,0	53,0	39,5
1742	64,1	216,0	53,1	39,6
1753	64,5	215,0	53,2	39,6
1765	65,0	215,0	53,4	39,8
1776	65,4	214,0	53,5	39,9
1787	65,8	214,0	53,6	39,9
1799	66,2	213,0	53,9	40,2
1810	66,6	213,0	54,0	40,2
1822	67,1	212,0	54,1	40,3
1833	67,5	211,0	54,2	40,4
1845	67,9	211,0	54,3	40,5
1856	68,3	210,0	54,3	40,5
1867	68,7	210,0	54,5	40,6
1879	69,2	209,0	54,6	40,7
1890	69,6	209,0	54,8	40,8

EK-1. (devam) Dizel yakıtı ile çalıştırılan motorun devrine bağlı olarak güç ve tork değerlerindeki değişim

RPM	KM/H	NM MOTOR	HP MOTOR	KW MOTOR
1902	70,0	208,0	55,0	41,0
1913	70,4	208,0	55,1	41,0
1924	70,8	207,0	55,3	41,2
1936	71,3	207,0	55,6	41,4
1947	71,7	206,0	55,8	41,6
1959	72,1	205,0	55,9	41,6
1970	72,5	205,0	56,1	41,8
1982	73,0	204,0	56,5	42,1
1993	73,4	204,0	56,8	42,3
2004	73,8	203,0	57,1	42,5
2016	74,2	203,0	57,3	42,7
2027	74,6	202,0	57,4	42,8
2039	75,1	202,0	57,6	42,9
2050	75,5	201,0	57,8	43,1
2061	75,9	201,0	57,9	43,1
2073	76,3	200,0	58,0	43,2
2084	76,7	199,0	58,2	43,4
2096	77,2	199,0	58,5	43,6
2107	77,6	198,0	58,7	43,7
2119	78,0	198,0	58,9	43,9
2130	78,4	197,0	59,1	44,0
2141	78,8	197,0	59,3	44,2
2153	79,3	196,0	59,4	44,3
2164	79,7	196,0	59,5	44,3
2176	80,1	195,0	59,6	44,4
2187	80,5	195,0	59,7	44,5
2199	81,0	194,0	59,9	44,6
2210	81,4	194,0	60,1	44,8
2221	81,8	193,0	60,3	44,9
2233	82,2	193,0	60,4	45,0
2244	82,6	192,0	60,6	45,1
2256	83,1	191,0	60,8	45,3
2267	83,5	191,0	61,0	45,4
2278	83,9	190,0	61,2	45,6
2290	84,3	190,0	61,3	45,7
2301	84,7	189,0	61,5	45,8
2313	85,1	189,0	61,7	46,0
2324	85,6	188,0	61,8	46,0
2336	86,0	188,0	61,9	46,1
2347	86,4	187,0	62,0	46,2

EK-1. (devam) Dizel yakıtı ile çalıştırılan motorun devrine bağlı olarak güç ve tork değerlerindeki değişim

RPM	KM/H	NM MOTOR	HP MOTOR	KW MOTOR
2358	86,8	187,0	62,1	46,3
2370	87,2	186,0	62,2	46,3
2381	87,7	186,0	62,4	46,5
2393	88,1	185,0	62,5	46,6
2404	88,5	185,0	62,8	46,8
2415	88,9	184,0	62,9	46,9
2427	89,3	184,0	63,1	47,0
2438	89,8	183,0	63,2	47,1
2450	90,2	183,0	63,4	47,2
2461	90,6	182,0	63,5	47,3
2473	91,0	182,0	63,6	47,4
2484	91,4	181,0	63,8	47,5
2495	91,8	181,0	63,9	47,6
2507	92,3	180,0	64,0	47,7
2518	92,7	180,0	64,1	47,8
2530	93,1	179,0	64,3	47,9
2541	93,5	179,0	64,6	48,1
2553	94,0	178,0	65,1	48,5
2564	94,4	178,0	65,5	48,8
2575	94,8	177,0	66,0	49,2
2587	95,2	177,0	66,1	49,2
2598	95,6	177,0	66,4	49,5
2610	96,1	176,0	66,6	49,6
2621	96,5	176,0	66,8	49,8
2632	96,9	175,0	66,9	49,8
2644	97,3	175,0	67,3	50,1
2655	97,7	175,0	67,7	50,4
2667	98,2	174,0	67,9	50,6
2678	98,6	174,0	68,1	50,7
2690	99,0	174,0	68,3	50,9
2701	99,4	173,0	68,6	51,1
2712	99,8	173,0	68,8	51,3
2724	100,3	173,0	69,0	51,4
2735	100,7	172,0	69,1	51,5
2747	101,1	172,0	69,2	51,6
2758	101,5	171,0	69,3	51,6
2769	101,9	171,0	69,3	51,6
2781	102,4	171,0	69,2	51,6
2792	102,8	170,0	69,2	51,6
2804	103,2	170,0	69,3	51,6

EK-1. (devam) Dizel yakıtı ile çalıştırılan motorun devrine bağlı olarak güç ve tork değerlerindeki değişim

RPM	KM/H	NM MOTOR	HP MOTOR	KW MOTOR
2827	104,1	169,0	69,5	51,8
2838	104,5	169,0	69,5	51,8
2849	104,9	168,0	69,5	51,8
2861	105,3	168,0	69,6	51,9
2872	105,7	168,0	69,7	51,9
2884	106,2	167,0	69,7	51,9
2895	106,6	167,0	69,7	51,9
2907	107,0	167,0	69,8	52,0
2918	107,4	166,0	69,8	52,0
2929	107,8	166,0	69,9	52,1
2941	108,3	166,0	69,9	52,1
2952	108,7	165,0	69,9	52,1
2964	109,1	165,0	70,0	52,2
2975	109,5	164,0	70,0	52,2
2986	109,9	164,0	70,0	52,2
2998	110,4	163,0	70,0	52,2
3009	110,8	163,0	70,1	52,2
3021	111,2	162,0	70,1	52,2
3032	111,6	162,0	70,1	52,2
3044	112,1	161,0	70,2	52,3
3055	112,5	161,0	70,3	52,4
3066	112,9	160,0	70,4	52,4
3078	113,3	160,0	70,7	52,7
3089	113,7	159,0	70,8	52,7
3101	114,2	159,0	70,9	52,8
3112	114,6	158,0	71,0	52,9
3123	115,0	158,0	71,0	52,9
3135	115,4	157,0	71,3	53,1
3146	115,8	156,0	71,6	53,3
3158	116,3	156,0	71,9	53,6
3169	116,7	155,0	72,2	53,8
3181	117,1	155,0	72,4	53,9
3192	117,5	154,0	72,7	54,2
3203	117,9	153,0	72,9	54,3
3215	118,4	153,0	73,1	54,5
3226	118,8	152,0	73,4	54,7
3238	119,2	152,0	73,6	54,8
3249	119,6	151,0	73,8	55,0
3261	120,0	151,0	74,0	55,1
3272	120,5	151,0	74,2	55,3

EK-1. (devam) Dizel yakıtı ile çalıştırılan motorun devrine bağlı olarak güç ve tork değerlerindeki değişim

RPM	KM/H	NM MOTOR	HP MOTOR	KW MOTOR
3283	120,9	150,0	74,3	55,4
3295	121,3	150,0	74,4	55,4
3306	121,7	149,0	74,5	55,5
3318	122,1	149,0	74,6	55,6
3329	122,6	149,0	74,6	55,6
3340	123,0	148,0	74,7	55,7
3352	123,4	148,0	74,7	55,7
3363	123,8	148,0	74,8	55,7
3375	124,2	147,0	74,8	55,7
3386	124,6	147,0	74,8	55,7
3398	125,1	147,0	74,7	55,7
3409	125,5	146,0	74,8	55,7
3420	125,9	146,0	74,9	55,8
3432	126,3	146,0	75,0	55,9
3443	126,7	145,0	75,0	55,9
3455	127,2	145,0	75,1	55,9
3466	127,6	145,0	75,2	56,0
3477	128,0	145,0	75,2	56,0
3489	128,4	144,0	75,3	56,1
3500	128,8	144,0	75,4	56,2
3512	129,3	144,0	75,4	56,2
3523	129,7	144,0	75,5	56,2
3535	130,1	143,0	75,7	56,4
3546	130,5	143,0	75,9	56,5
3557	130,9	143,0	75,7	56,4
3569	131,4	142,0	75,3	56,1
3580	131,8	142,0	75,2	56,0
3592	132,2	141,0	75,2	56,0
3603	132,6	141,0	75,0	55,9
3615	133,1	140,0	75,1	55,9
3626	133,5	140,0	75,0	55,9
3637	133,9	139,0	74,9	55,8
3649	134,3	139,0	74,8	55,7
3660	134,7	138,0	74,6	55,6
3672	135,2	138,0	74,6	55,6
3683	135,6	137,0	74,5	55,5
3694	136,0	136,0	74,4	55,4
3706	136,4	136,0	74,3	55,4
3717	136,8	135,0	74,2	55,3
3729	137,3	134,0	74,1	55,2

EK-1. (devam) Dizel yakıtı ile çalıştırılan motorun devrine bağlı olarak güç ve tork değerlerindeki değişim

RPM	KM/H	NM MOTOR	HP MOTOR	KW MOTOR
3740	137,7	134,0	74,0	55,1
3752	138,1	133,0	74,0	55,1
3763	138,5	133,0	73,9	55,1
3774	138,9	133,0	73,9	55,1
3786	139,4	133,0	73,8	55,0
3797	139,8	132,0	73,6	54,8
3809	140,2	132,0	73,5	54,8
3820	140,6	131,0	73,5	54,8
3831	141,0	131,0	73,4	54,7
3843	141,5	131,0	73,3	54,6
3854	141,9	130,0	73,1	54,5
3866	142,3	130,0	73,0	54,4
3877	142,7	129,0	73,0	54,4
3889	143,2	129,0	72,9	54,3
3900	143,6	128,0	72,8	54,2
3911	144,0	128,0	72,6	54,1
3923	144,4	128,0	72,4	53,9
3934	144,8	127,0	72,3	53,9
3946	145,3	127,0	72,3	53,9
3957	145,7	127,0	72,2	53,8
3969	146,1	126,0	72,2	53,8
3980	146,5	126,0	72,1	53,7
3991	146,9	126,0	72,1	53,7
4003	147,4	125,0	72,0	53,6

EK-2. Dizel + LPG yakıtı ile çalıştırılan motorun devrine bağlı olarak güç ve tork değerlerindeki değişim

RPM	KM/H	NM MOTOR	HP MOTOR	KW MOTOR
1444	52,9	190,0	39,7	29,6
1459	53,4	190,0	39,8	29,7
1473	54,0	195,0	41,0	30,5
1488	54,5	200,0	41,2	30,7
1503	55,1	204,0	41,5	30,9
1518	55,6	209,0	41,7	31,1
1532	56,1	214,0	42,0	31,3
1547	57,8	218,0	42,3	31,5
1562	58,3	223,0	42,6	31,7
1577	58,9	228,0	42,9	32,0
1591	59,4	232,0	43,3	32,3
1606	59,9	236,0	43,6	32,5
1621	60,5	241,0	43,9	32,7
1636	61,0	245,0	44,4	33,1
1650	61,5	246,0	44,9	33,5
1665	62,2	248,0	45,3	33,7
1680	62,7	249,0	45,7	34,0
1695	63,3	249,0	46,0	34,3
1709	63,8	248,0	46,3	34,5
1724	64,4	247,0	46,6	34,7
1739	64,9	247,0	46,9	34,9
1754	65,5	246,0	47,2	35,2
1768	66,0	246,0	47,5	35,4
1783	66,5	246,0	47,8	35,6
1798	67,2	245,0	48,2	35,9
1813	67,7	245,0	48,5	36,1
1827	68,2	244,0	48,7	36,3
1842	68,8	243,0	49,0	36,5
1857	69,3	243,0	49,3	36,7
1872	69,9	242,0	49,6	37,0
1886	70,4	242,0	49,9	37,2
1901	70,9	241,0	50,1	37,3
1916	71,5	240,0	50,5	37,6
1931	72,0	240,0	50,7	37,8
1945	72,7	240,0	50,9	37,9
1960	73,2	239,0	51,2	38,1
1975	73,8	239,0	51,5	38,4
1990	74,3	238,0	51,9	38,7
2004	74,8	238,0	52,3	39,0

EK-2. (devam) Dizel + LPG yakıtı ile çalıştırılan motorun devrine bağlı olarak güç ve tork değerlerindeki değişim

RPM	KM/H	NM MOTOR	HP MOTOR	KW MOTOR
2019	75,4	238,0	52,5	39,1
2034	75,9	237,0	52,7	39,3
2049	76,5	237,0	53,2	39,6
2063	77,0	237,0	53,8	40,1
2078	77,5	235,0	54,3	40,5
2093	78,2	235,0	55,0	41,0
2108	78,7	235,0	55,5	41,3
2122	79,2	234,0	55,9	41,6
2137	79,8	234,0	56,4	42,0
2152	80,3	234,0	56,8	42,3
2167	80,9	234,0	57,3	42,7
2181	81,4	233,0	57,8	43,1
2196	81,9	233,0	58,4	43,5
2211	82,5	233,0	58,9	43,9
2226	83,0	232,0	59,5	44,3
2240	83,7	232,0	60,0	44,7
2255	84,2	232,0	60,8	45,3
2270	84,8	232,0	61,4	45,7
2285	85,3	231,0	61,8	46,0
2299	85,8	231,0	62,3	46,4
2314	86,4	231,0	62,7	46,7
2329	86,9	230,0	63,2	47,1
2344	87,5	230,0	63,7	47,5
2359	88,0	230,0	64,1	47,8
2373	88,6	230,0	64,6	48,1
2388	89,2	229,0	65,0	48,4
2403	89,7	229,0	65,9	48,7
2418	90,3	229,0	66,9	49,8
2432	90,8	229,0	67,5	50,3
2447	91,3	229,0	67,9	50,6
2462	91,9	228,0	68,3	50,9
2477	92,4	228,0	68,6	51,1
2491	93,0	228,0	68,9	51,3
2506	93,5	227,0	69,2	51,6
2521	94,2	227,0	69,5	51,8
2536	94,7	227,0	69,7	52,1
2550	95,2	227,0	70,1	52,4
2565	95,8	226,0	70,3	52,8
2580	96,3	226,0	70,6	52,3
2595	96,9	226,0	70,9	52,6

EK-2. (devam) Dizel + LPG yakıtı ile çalıştırılan motorun devrine bağlı olarak güç ve tork değerlerindeki değişim

RPM	KM/H	NM MOTOR	HP MOTOR	KW MOTOR
2609	97,4	226,0	71,2	52,7
2624	97,9	225,0	71,3	53,0
2639	98,5	225,0	71,5	53,1
2654	99,0	225,0	71,7	53,3
2668	99,6	224,0	72,0	53,6
2683	100,2	224,0	72,2	53,8
2698	100,7	224,0	72,5	54,0
2713	101,3	223,0	72,8	54,2
2727	101,8	223,0	73,0	54,4
2742	102,3	223,0	73,2	54,5
2757	102,9	222,0	73,5	54,8
2772	103,4	222,0	73,8	55,0
2786	104,0	221,0	74,1	55,2
2801	104,5	221,0	74,3	55,4
2816	105,2	220,0	74,7	55,7
2831	105,7	220,0	75,1	55,9
2845	106,2	220,0	75,3	56,1
2860	106,8	219,0	75,7	56,4
2875	107,3	219,0	76,1	56,7
2890	107,9	219,0	76,3	56,8
2904	108,4	218,0	76,5	57,0
2919	108,9	218,0	76,9	57,3
2934	109,5	217,0	77,2	57,5
2949	110,1	217,0	77,5	57,7
2963	110,6	217,0	77,9	58,0
2978	111,2	216,0	78,2	58,3
2993	111,7	216,0	78,6	58,6
3008	112,3	216,0	78,9	58,8
3022	112,8	215,0	79,2	59,0
3037	113,4	215,0	79,6	59,3
3052	113,9	214,0	80,0	59,6
3067	114,5	214,0	80,4	59,9
3081	115,0	214,0	80,7	60,1
3096	115,6	213,0	81,1	60,4
3111	116,2	213,0	81,6	60,8
3126	116,7	213,0	81,9	61,0
3140	117,2	212,0	82,2	61,2
3155	117,8	212,0	82,5	61,5
3170	118,3	212,0	82,7	61,6
3185	118,9	212,0	83,1	61,9

EK-2. (devam) Dizel + LPG yakıtı ile çalıştırılan motorun devrine bağlı olarak güç ve tork değerlerindeki değişim

RPM	KM/H	NM MOTOR	HP MOTOR	KW MOTOR
3199	119,4	211,0	83,5	62,2
3214	119,9	211,0	83,8	62,4
3229	120,5	211,0	84,2	62,7
3244	121,1	210,0	84,5	63,0
3259	121,7	210,0	85,0	63,3
3273	122,2	210,0	85,3	63,5
3288	122,7	209,0	85,6	63,8
3303	123,3	209,0	85,9	64,0
3318	123,8	209,0	86,2	64,2
3332	124,4	209,0	86,4	64,4
3347	124,9	208,0	86,7	64,6
3362	125,5	208,0	87,2	65,0
3377	126,1	207,0	87,5	65,2
3391	126,6	207,0	87,7	65,3
3406	127,2	206,0	87,9	65,5
3421	127,7	206,0	88,1	65,6
3436	128,3	206,0	88,3	65,8
3450	128,8	205,0	88,5	65,9
3465	129,3	205,0	88,8	66,2
3480	129,9	205,0	89,2	66,5
3495	130,4	204,0	89,6	66,8
3509	130,9	204,0	89,9	67,0
3524	131,6	204,0	90,2	67,2
3539	132,1	203,0	90,5	67,4
3554	132,7	203,0	90,7	67,6
3568	133,2	202,0	90,9	67,7
3583	133,8	202,0	91,1	67,9
3598	134,3	201,0	90,8	67,6
3613	134,9	201,0	90,6	67,5
3627	135,4	200,0	90,4	67,3
3642	135,9	199,0	90,1	67,1
3657	136,5	199,0	89,6	66,8
3672	137,1	198,0	89,0	66,3
3686	137,6	197,0	88,5	65,9
3701	138,2	196,0	88,1	65,6
3716	138,7	196,0	87,7	65,3
3731	139,3	195,0	87,2	65,0
3745	139,8	194,0	86,8	64,7
3760	140,3	193,0	86,1	64,1
3775	140,9	193,0	85,6	63,8

EK-2. (devam) Dizel + LPG yakıtı ile çalıştırılan motorun devrine bağlı olarak güç ve tork değerlerindeki değişim

RPM	KM/H	NM MOTOR	HP MOTOR	KW MOTOR
3790	141,4	192,0	85,1	63,4
3804	142,0	191,0	84,7	63,1
3819	142,6	190,0	84,1	62,7
3834	143,2	190,0	83,5	62,2
3849	143,7	189,0	83,0	61,8
3863	144,2	188,0	82,6	61,5
3878	144,8	187,0	82,1	61,2
3893	145,3	185,0	81,5	60,7
3908	145,9	184,0	80,9	60,3
3922	146,4	182,0	80,5	60,0
3937	146,9	179,0	79,9	59,5
3952	147,6	176,0	79,5	59,2
3967	148,1	172,0	79,0	58,9
3981	148,6	168,0	78,5	58,5
3996	149,2	165,0	78,2	58,3
4011	149,7	163,0	77,9	58,0

EK-4. Konya ili Selçuklu ilçesinde motorin ve LPG fiyatlarının bir yıllık değişimi
(Tavan fiyatlara göre)

Tarih	Motorin (TL/l)
03.04.2017	4,50
05.04.2017	4,58
07.04.2017	4,59
08.04.2017	4,68
27.04.2017	4,55
05.05.2017	4,45
18.05.2017	4,52
23.05.2017	4,61
02.06.2017	4,47
10.06.2017	4,39
06.07.2017	4,50
01.08.2017	4,62
22.08.2017	4,55
06.09.2017	4,63
08.09.2017	4,69
27.09.2017	4,82
07.10.2018	4,83
31.10.2017	5,01
11.11.2017	5,12
01.01.2018	5,13
06.01.2018	5,21
09.01.2018	5,22
03.02.2018	5,23
14.02.2018	5,06
15.02.2018	5,07
24.02.2018	5,20
23.03.2018	5,37

Ortalama fiyat	4,80
----------------	------

Tarih	Otogaz (TL/l)
03.04.2017	3,19
04.04.2017	2,94
04.05.2017	2,88
06.07.2017	2,82
02.08.2017	3,05
06.09.2017	3,18
03.10.2017	3,33
14.10.2017	3,40
02.11.2017	3,46
23.11.2017	3,51
02.02.2018	3,39
06.03.2018	3,33
23.03.2018	3,37

Ortalama fiyat	3,25
----------------	------

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÖZCAN, Coşkun
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 07.04.1982, Samsun
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (312) 592 50 00
e-mail : cozcان@gmx.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Mak. Müh.	Devam
Lisans	E. Osmangazi Üniversitesi / Mak. Müh.	2004
Lise	Tülay Başaran Anadolu Lisesi	2000

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2018-Halen	Savunma Sanayii Müsteşarlığı	S. Uzm.
2015-2018	Türk Standardları Enstitüsü	TSE Uzm.
2009-2015	Savunma Sanayii Müsteşarlığı	Kalite Uzm.
2006-2009	Sampa Otomotiv Sanayi A.Ş.	Ar-Ge Müh.

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Edebiyat, yabancı kültürler, mekatronik tasarımlar



GAZİ GELECEKTİR..