

**ALTERNATİF YAKITLARIN VE İKİNCİL HAVA ENJEKSİYONUN
KATALİTİK KONVERTÖR VERİMİNE ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK
İNCELENMESİ**

Erdi DEMİRCİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ**

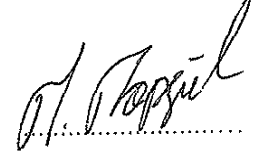
**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OCAK 2014
ANKARA**

Erdi DEMİRCİ tarafından hazırlanan "ALTERNATİF YAKITLARIN VE İKİNCİL HAVA ENJEKSİYONUN KATALİTİK KONVERTÖR VERİMİNE ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ" adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Tolga TOPGÜL

Tez Danışmanı, Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı



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

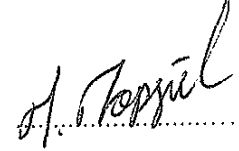
Prof. Dr. Mustafa Sahir SALMAN

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.



Yrd. Doç. Dr. Tolga TOPGÜL

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.



Doç. Dr. Mustafa AKTAŞ

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

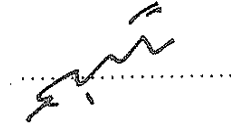


Tez Savunma Tarihi: 23.01.2014

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

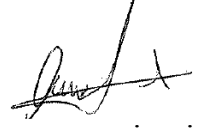
Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



TEZ BİLDİRİMİ

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



Erdi DEMİRCİ

**ALTERNATİF YAKITLARIN VE İKİNCİL HAVA ENJEKSİYONUN
KATALİTİK KONVERTÖR VERİMİNE ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK
İNCELENMESİ
(YÜKSEK LİSANS TEZİ)**

Erdi DEMİRCİ

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Ocak 2014**

ÖZET

Araştırmacılar araçların oluşturduğu egzoz emisyonlarından kaynaklanan çevre kirliliğini azaltmaya ve alternatif enerji kaynaklarının kullanımına yönelik çalışmalar yapmaktadırlar. Buji ile ateşlemeli motorlarda yapılan çalışmalarda, kullanılan alternatif yakıtlardan en yaygın olanları LPG, doğalgaz, hidrojen ve çeşitli alkollerdir. Ülkemizde ise; kullanımı bakımından en yaygın olanı LPG'dir. LPG yakıtının benzine göre daha ucuz ve emisyon değerlerinin daha düşük olmasıyla birlikte kolay depolanabilmesi diğerlerine göre daha avantajlı olmasını sağlamıştır.

Bu çalışmada buji ile ateşlemeli bir motorda kurşunsuz benzinin yanı sıra alternatif yakıtlar olarak LPG ve etanol (E5) kullanılmıştır. Etanolün yenilenebilir biokütle kaynağı olması ve düşük oranlardaki benzine olan karışımlarının kullanımında motorda herhangi bir modifikasyona ihtiyaç duyulmaması nedeniyle tercih edilmiştir. Tam yük ve kısmi yüklerde yapılan deneylerde, motor performansı ve egzoz emisyonlarının değişimi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlarda yakıtların ısı değerlerinin ve fakirleştirici özelliklerinin performans ve egzoz emisyonları üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Ayrıca

tam yüklerde katalitik konvertör veriminin ikincil hava enjeksiyon sisteminin kullanımıyla 1,4–4,9 kat arttığı görülmüştür.

Bilim Kodu : 708.3.026
Anahtar Kelimeler : Buji ile ateşlemeli motor, Alternatif yakıtlar, Egzoz emisyonları, Katalitik konvertör, İkincil hava enjeksiyon sistemi
Sayfa Adedi : 61
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Tolga TOPGÜL

**AN EXPERIMENTALY INVESTIGATION OF THE EFFECT OF
ALTERNATIVE FUELS AND SECONDARY AIR INJECTION ON
CATALYTIC CONVERTER EFFICIENCY**

(M. Sc. Thesis)

Erđi DEMİRCİ

**GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

January 2014

ABSTRACT

The researchers have been studying on the use alternative energy sources and decreasing of environment pollution originated from the vehicles' exhaust emissions. The most common alternative fuels in studies which are regard to spark ignition engines are LPG, natural gas, hydrogen, and various alcohols. In our country, the most common one is LPG in respects of usage. It provides an advantage of LPG which is cheaper than gasoline and its emissions are lower than it in addition to easy storage when compared to others.

In this study, LPG and ethanol (E5) as alternative fuels were used in addition to unleaded gasoline in a spark ignition engine. Ethanol was preferred because it is a renewable biomass source and the use of low ethanol-gasoline blends in an engine does not require any modification. The variations of engine performance and exhaust emissions were investigated at wide open throttle and different loads. It was observed that the heating value and impoverishing effect of the fuels properties are effective on the engine performance and exhaust emissions. It was also seen that the efficiency of catalytic convertor was increased by 1.4 to 4.9 times with the use of secondary air injection system at full loads.

Science Code : 708.3.026
Key Words : Spark ignition engine, Alternative fuels, Exhaust emissions,
Catalytic convertor, Secondary air injection system
Page Number : 61
Supervisor : Assist. Prof. Dr. Tolga TOPGÜL

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca her zaman yanımda olan ve maddi manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili danışmanım Yrd. Doç. Dr. Tolga TOPGÜL'e, Gazi Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü hocalarıma ve bana eğitim-öğretim hayatım boyunca hep destek olan bundan sonraki hayatımda da olacaklarına inandığım aileme çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xii
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiv
1.GİRİŞ	1
2.BUJİ İLE ATEŞLEMELİ MOTORLARDA ALTERNATİF YAKIT KULLANIMI	5
2.1. Alternatif Yakıtlar ve Özellikleri	5
2.1.1. Çeşitli alkoller	5
2.1.2. Gaz yakıtlar	8
2.2. Literatür Çalışması	14
3. MATERYAL VE METOT	21
3.1.Materyal	21
3.2.Metot	26
4. DENEYSEL BULGULAR	29
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	51
KAYNAKLAR	54
EKLER	58
EK-1 Deneysel Veriler	59
ÖZGEÇMİŞ	61

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Benzin, n-bütanol ve alkol-benzin karışımlarının silindir içi basınç değişimleri .	7
Şekil 2.2. Alternatif yakıtların ve benzinin HC ve NO _x emisyonlarına etkisinin karşılaştırması	7
Şekil 2.3. Sıkıştırma oranına bağlı olarak NO _x emisyonlarının değişimi	8
Şekil 2.4. Yakıt enjeksiyonlu bir motorda LPG dönüşümünde kullanılan ekipmanlar	11
Şekil 2.5. Ateşleme avansının hidrojen ve EGR oranına bağlı olarak değişimi	13
Şekil 2.6. Maksimum motor torkunu veren ateşleme avansının hidrojen ilavesine bağlı olarak değişimi	14
Şekil 4.1. Kurşunsuz benzin, E5 ve LPG'nin motor momenti ve efektif güce etkisi	30
Şekil 4.2. Kurşunsuz benzin, E5 ve LPG'nin FÖYT'e etkisi	30
Şekil 4.3. Motor devrine bağlı olarak deney yakıtlarıyla elde edilen CO değişimleri	32
Şekil 4.4. Motor devrine bağlı olarak deney yakıtlarıyla elde edilen HC değişimleri	34
Şekil 4.5. Motor devrine bağlı olarak deney yakıtlarıyla elde edilen NO değişimleri	36
Şekil 4.6. Motor yüküne bağlı olarak deney yakıtlarıyla elde edilen FÖYT değişimleri	38
Şekil 4.7. 1500 d/d motor devrinde motor yüküne bağlı olarak CO değişimi	41
Şekil 4.8. 2500 d/d motor devrinde motor yüküne bağlı olarak CO değişimi	42
Şekil 4.9. 1500 d/d motor devrinde motor yüküne bağlı olarak HC değişimi	43
Şekil 4.10. 2500 d/d motor devrinde motor yüküne bağlı olarak HC değişimi	44
Şekil 4.11. 1500 d/d motor devrinde motor yüküne bağlı olarak NO değişimi	45

Şekil	Sayfa
Şekil 4.12. 2500 d/d motor devrinde motor yüküne bağlı olarak NO değişimi	46
Şekil 4.13. İkincil hava enjeksiyonunun egzoz emisyonlarına etkisi	47
Şekil 4.14. 1500 d/d motor devrinde motor yüküne bağlı olarak ikincil hava enjeksiyonunun egzoz emisyonlarına etkisi	49
Şekil 4.15. 2500 d/d motor devrinde motor yüküne bağlı olarak ikincil hava enjeksiyonunun egzoz emisyonlarına etkisi	50

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1 Metanol, etanol ve benzinin çeşitli özellikleri	5
Çizelge 2.2. Kullanılan yakıt türüne göre motorlu kara taşıt sayısı	8
Çizelge 2.3. Propan ve bütanın çeşitli özellikleri	9
Çizelge 2.4. Yaz ve kış aylarında LPG içindeki propan/bütan oranlarının ülkelere göre değişimi	10
Çizelge 2.5 Doğal gaz ve hidrojenin çeşitli özellikleri	13
Çizelge 3.1. Deney motorunun teknik özellikleri	22
Çizelge 3.2. Sun 1500S egzoz gaz analizörünün teknik özellikleri	24

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Deney sistemi.....	21
Resim 3.2. Hava akışmetresi.....	23
Resim 3.3. Yakıt tüketiminin belirlenmesinde kullanılan cihazlar	23
Resim 3.4. Emisyon ölçüm, veri toplama ve depolama sistemi.....	24
Resim 3.5. LPG sistemi.....	25

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
K_d	Düzeltilme faktörü
M_m	Motor momenti (Nm)
\dot{m}_h	Motorun tükettiği hava miktarı (g/h)
n_R	Zaman faktörü
P	Atmosferik basınç (kPa)
T	Çevre sıcaklığı (°C)
V_K	Toplam kurs hacmi (m ³)
ρ_h	Havanın yoğunluğu (kg/m ³)

Kısaltmalar	Açıklama
EGR	Egzoz gazı resirkülasyonu
E5	Hacimsel olarak %5 etanol-%95 kurşunsuz benzin
FOEB	Fren ortalama efektif basıncı
FÖYT	Fren özgül yakıt tüketimi
GKA	Gaz kelebek açıklığı
HFK	Hava fazlalık katsayısı
KB	Kurşunsuz benzin
KMA	Krank mili açısı
KKÖ	Katalitik konvertör öncesi
KKS	Katalitik konvertör sonrası
LPG	Likit petrol gazı
ÜÖN	Üst ölü nokta

1. GİRİŞ

Enerji ihtiyacı günlük hayatın temel bir parçasıdır. Çok çeşitli enerji kaynakları bu ihtiyacı karşılamak için kullanılmaktadır. Ulaşım sektöründe halen petrol ana enerji kaynağı durumundadır.

Dünyada kullanılan araçlardan sadece buji ile ateşlemeli motorların günlük yakıt tüketimleri yaklaşık olarak üretilen petrolün üçte birine denk gelmektedir [1]. Bu hızlı tüketim petrol rezervlerinin bitmesinin yanında çevreyi de tehdit eder boyuta gelmiştir [2].

Buji ile ateşlemeli motorlarda yakıtın yanması sonucunda karbonmonoksit (CO), hidrokarbon (HC), azotoksit (NO_x) ve karbondioksit (CO₂) gibi kirletici emisyonlar oluşmaktadır. Bu emisyonların oluşturduğu hava kirliliği özellikle büyük şehirlerde insan sağlığını ciddi şekilde tehdit edecek boyutlara ulaşmıştır [1]. Bu yüzden egzoz emisyonlarına karşı bazı sistemler geliştirilmiştir. Bu sistemlerin başında da katalitik konvertör gelmektedir.

Katalitik konvertörler ilk olarak 1970'lerin başında kullanılmaya başlanmış ve sadece CO ve HC emisyonlarını kontrol edilebilmiştir. 1980'lere geldiğimizde ise katalitik konvertörler NO_x emisyonlarını da kontrol altına almaya başlamışlardır. Daha sonra katalitik konvertörler üç yollu konvertör olarak adlandırılmaya başlanmıştır [3].

Avrupa Birliği ülkelerinde ise 1989 yılından itibaren bazı düzenlemeler yapılarak buji ile ateşlemeli motor kullanılan otomobillerde kurşunsuz benzin ve katalitik konvertör kullanımı zorunlu hale getirilmiştir [4]. Bu tarihten itibaren ise katalitik konvertörler buji ile ateşlemeli motorlarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Fakat ilerleyen yıllarda araç sayısının da aşırı artmasıyla katalitik konvertör de çevre kirliliğine karşı yetersiz gelmeye başlamıştır [5].

Son yıllarda artan bu çevre kirliliği ile birlikte enerji kaynaklarının hızla tükenmesi insanları alternatif yakıtlar konusunda daha fazla araştırmaya sevk etmiştir [6].

Alternatif yakıt olarak ise genelde daha düşük emisyon değerlerine sahip olan etanol, metanol, hidrojen, doğal gaz ve LPG kullanılmaktadır.

İçten yanmalı motorlarda kullanılacak alkollerin, tarımsal ürünler gibi yenilenebilir biokütle kaynaklarından üretilmesinin yanı sıra düşük egzoz emisyonlarına sahip olmaları, kolayca taşınıp depolanabilmeleri ve yüksek oktan sayısına sahip olmaları alternatif yakıtlar arasında önemli bir yere sahip olduğunu gösterir [7]. Ancak benzine göre yeterince yaygınlaşmamıştır. Çünkü alkoller dünya petrol üretiminin talebini karşılayacak düzeyde çıkmaması ve birim ısı değerlerinin düşük olması yüzünden benzine göre maliyetlerinin yüksek olmasına neden olmaktadır [8].

Alkollerden etanol, buji ile çalışan motorlarda genelde benzin içine belli oranlarda katılarak kullanılmaktadır. Buharlaştırma ısısı, oktan sayısı ve kendi kendine tutuşma sıcaklığı yüksek olduğu için etanol yüksek sıkıştırma oranlarında kullanılabilir. Bu özellikleri motorun gücünü arttırdığı gibi özgül yakıt tüketimini de azaltır. Etanol sahip olduğu yüksek buharlaştırma ısısı sayesinde emilen taze karışım üzerinde soğutucu etki oluşturarak motorun volümetrik veriminin artmasını sağlar. Etanol kullanılan motorlarda benzin kullanılan motorlara göre daha az CO, CO₂ ve NO emisyonları oluşmaktadır [8].

Metanol yakıtı genellikle yakıt ekonomisinin dikkate alınmadığı ve yüksek gücün istendiği özel olarak tasarlanmış yarış otomobili motorlarında kullanılmaktadır. Taşıt motorlarında ise bazı değişiklikler yapılarak motor verimi %40'a kadar çıkarılmaktadır [9]. Ayrıca metanol kullanılan bir aracın motorunun performansı benzin kullanılan motora göre %10 daha fazla olduğu görülmüştür.

Buji ile ateşlemeli motorlarda kullanılan alternatif yakıtlardan biride hidrojen yakıtıdır. Hidrojen çok yüksek alev hızına, ısıl değere ve iyi tutuşma özelliklerine sahiptir. Hidrojen üretiminin pahalı ve depolanması zor olduğu için motorlarda güncel kullanımı yaygınlaşmamıştır [6].

Doğal gazda etan, metan, karbondioksit, azot, propan, hidrojen sülfür ile helyum gazları bulunur. Metan, doğal gazın içinde diğerlerine göre hacimsel olarak daha fazla bulunmaktadır. [Doğal gaz buji ile ateşlemeli bir motorda fakir karışımlarda çalışabildiği için motorun termik veriminin yükselmesini ve egzoz emisyonlarının azalmasını sağlamaktadır [7].

Üretilen gaz yakıtlardan en önemlisi olan LPG (sıvılaştırılmış petrol gazı) genellikle ham petrolün damıtılmasıyla veya doğal gazdan elde edilen propan ve bütan gazlarının basınç altında sıvılaştırılmış halidir. Ülkemizde ve bazı ülkelerde özellikle ticari otomobillerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

LPG, benzinli motorlar üzerinde küçük birkaç değişiklik yapılarak kullanılabilmektedir. Dünyada yaklaşık dört milyona yakın araçta LPG kullanılmaktadır ve bu rakam gün geçtikçe artmaktadır. Özellikle artan hava kirliliğinin önüne geçebilmek için birçok ülkede toplu kullanım araçlarında LPG tercih edilmektedir. Ülkemizde de hava kirliliğinin % 55'i motorlu araçlardan çıkan egzoz emisyonlarından olmaktadır.

Yapılan bu çalışmada buji ile ateşlemeli bir motorun farklı çalışma şartlarına ve yakıt tipine bağlı olarak motor performansı, egzoz emisyonları ve katalitik konvertörün çalışmasına olan etkileri incelenmiştir. Çalışmada üç farklı yakıt kullanılmıştır. Yakıt olarak kurşunsuz benzin, benzine alternatif olarak ülkemizde yaygın olarak tercih edilen LPG ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olan etanol tercih edilmiştir. Etanolü motorda herhangi bir modifikasyon yapma ihtiyacı duymaksızın kullanabilmek amacıyla benzinle düşük oranda karıştırılarak (hacimsel olarak %5 etanol-%95 kurşunsuz benzin) elde edilen karışım (E5) tercih edilmiştir. Motor tam yükte ve

kısmi yükte çalıştırılarak her üç yakıtta ayrı ayrı deneyler gerçekleştirilerek, motorun performansı ve egzoz emisyonlarının değişimi incelenmiştir. Ayrıca her üç yakıtın çeşitli çalışma şartlarında gerçekleştirilen testleri için katalitik konvertör dönüştürme verimi ayrı ayrı incelenmiştir.

Deneylerin gerçekleştirildiği motor tek nokta yakıt enjeksiyon sistemine sahip olduğundan kurşunsuz benzinle yapılan deneylerin ardından LPG'li çalışmada HFK ilk deneylerde elde edilen sonuçlara göre ayarlanmıştır. Böylece LPG ve kurşunsuz benzin için aynı HFK değerlerinde karşılaştırma imkânı sağlanmıştır. Çalışmada etanolün fakirleştirici yönünün etkisini görmek amacıyla motorda herhangi bir düzenleme yapılmamıştır.

İkincil hava enjeksiyon sisteminin, egzoz emisyonları ve katalitik konvertörün çalışmasına etkisi kısmi yük ve tam yükte gerçekleştirilen deneylerle incelenmiştir. Kurşunsuz benzinin kullanıldığı bu deneylerde sistem devre dışı bırakılarak ve aktif hale getirilerek ayrı ayrı ölçülen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Alternatif yakıtların kullanıldığı testlerde ikincil hava enjeksiyon sisteminin egzoz emisyonlarını etkilemesini engellemek amacıyla sistem devre dışı bırakılmıştır.

2. BUJİ İLE ATEŞLEMELİ MOTORLARDA ALTERNATİF YAKIT KULLANIMI

2.1. Alternatif Yakıtlar ve Özellikleri

2.1.1. Çeşitli alkoller

Buji ile ateşlemeli motorlarda alternatif yakıt olarak başlıca alkollerden metanol, etanol, izo-propanol ve izo-bütanol benzinle karıştırılarak, yakıtın oktan kalitesini geliştirmek ve kirletici emisyonları azaltmak amacıyla kullanılmaktadır [10]. Brezilya'da etanol araçlarda başarıyla kullanılmaktadır. ABD'de özellikle Kaliforniya'da, Almanya, Japonya, Avustralya ve Yeni Zelanda'da alkol yakıtlarına ve özellikle metanole olan ilgi artmaktadır [10]. Çizelge 2.1'de metil alkol ve etil alkolün çeşitli fiziksel ve kimyasal özellikleri yer almaktadır.

Çizelge 2.1 Metanol, etanol ve benzinin çeşitli özellikleri [11]

Özellikleri	Metanol	Etanol	Benzin
Formülü	CH ₃ OH	C ₂ H ₅ OH	C ₄ -C ₁₂
Bileşimleri, % ağırlık			
Karbon	37,5	52,2	85-88
Hidrojen	12,9	13,1	12-15
Oksijen	49,9	34,7	0-4
Yoğunluğu, kg/L 15°C	0,796	0,79	0,69-0,79
Buharlaştırma ısısı, kJ/kg	1178	923	349
Alt ısıl değer, kJ/L	15800	21100	30000-33000
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı, °C	464	423	257
Alevlenme noktası, °C	11	13	-43
Stokiyometrik hava/yakıt oranı	6,45	9	14,7
Araştırma oktan sayısı	108,7	108,6	88-100
Motor oktan sayısı	88,6	89,7	80-90

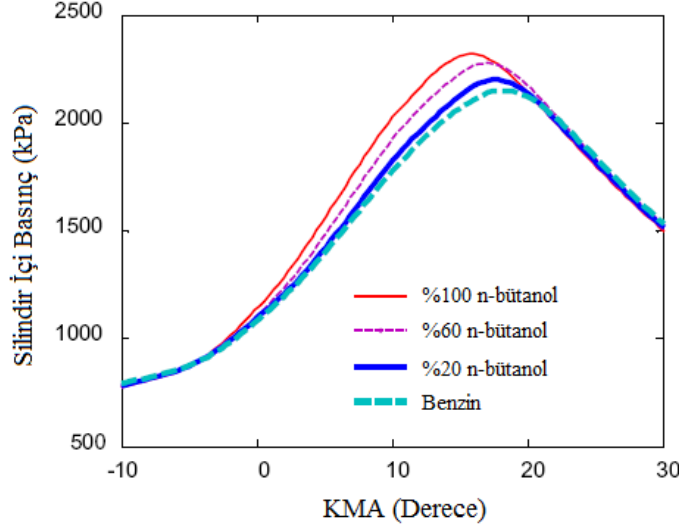
Metanol doğalgaz, kömür, atık yağ ve biokütleden üretilebilmektedir. Etanol genel olarak şeker kamışı, buğday ve odun gibi biokütle kaynaklarının fermantasyonu yoluyla elde edilmektedir. Hem metanolün hem de etanolün vuruntu dayanımının iyi olması benzine göre motorun daha yüksek sıkıştırma oranlarında çalışabilmesine

olanak sağlar. Bu durum motorun efektif verimini arttırır. Metanol ve etanolün yüksek buharlaşma ısı motorun volümetrik verimi için bir diğer avantajıdır. Ayrıca alkollerin daha düşük alev sıcaklıkları ısı kayıplarını azaltır. Düşük alev sıcaklıkları NO_x oluşumunu azaltmaya katkıda bulunur [11,12].

Alkollerin bu avantajlarına rağmen benzine kıyasla daha düşük ısıl enerjiye sahip olmaları benzine eşdeğer enerji verebilmek için motora daha fazla alkollün gönderilmesini gerektirir. Bu yüzden alkollerin kullanımında motorun yakıt ekonomisi azalır. Alkollerin yüksek buharlaşma ısıları ve düşük buhar basınçları motorun soğukta ilk hareket ve ısınma sürecindeki performansını kötüleştirir. Metanol ve etanol metallerin çoğunda korozif etkiye sahiptir ve plastik aksamalarda bozulmalara neden olabilmektedir. Bu nedenle motorlarda alkollerin kullanımında uygun materyalin seçimi önem taşır.

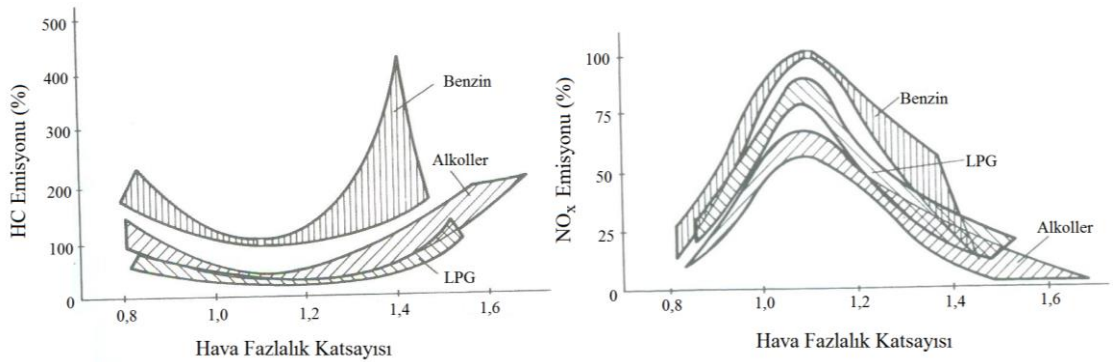
Alkolün birim hacimdeki stokiyometrik karışımı benzinle hemen hemen eşdeğer yanma enerjisine sahip olmakla birlikte eşdeğer enerji miktarı ve güç için yaklaşık olarak %60 (kütlesel olarak) daha fazla etanol kullanılması gerekir. Buharlaşma ısısının yüksek olması motorun volümetrik verimi ve çıkış gücü için alkole avantaj sağlar. Düşük buhar basıncı ve yüksek buharlaşma ısı soğukta motorun ilk hareketini zorlaştırır. Etanolün düşük alev sıcaklığı NO_x emisyonunun hidrokarbon kökenli yakıtlardan daha az oluşmasını sağlar [13].

Aynı sıkıştırma oranı (10:1) ve ateşleme zamanında (10° KMA ÜÖN'den önce) stokiyometrik orandaki karışımlar için benzin, n-bütanol ve her iki yakıtın çeşitli oranlardaki karışımlarının silindir içi basınç değişimleri Şekil 2.1'de görülmektedir. Sıkıştırma oranı ve ateşleme avansının aynı olmasına rağmen yakıt içerisindeki bütanol oranı arttıkça çeşitli piston konumlarında silindir içerisindeki basınç daha fazla elde edilmiştir. Bu durum bütanolün yanma hızının daha yüksek olduğunu göstermektedir [14].

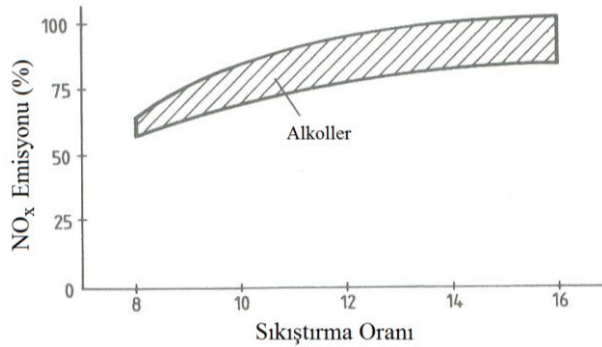


Şekil 2.1. Benzin, n-bütanol ve alkol-benzin karışımlarının silindir içi basınç değişimleri [14]

Alternatif yakıtların HC ve NO_x emisyonlarına etkisinin benzin ile karşılaştırması Şekil 2.2'de görülmektedir. Alternatif yakıtların daha iyi fakir çalışma potansiyeline sahip olması benzin ile karşılaştırıldığında avantajlı yönlerindedir. Ayrıca alkollerin yüksek vuruş dayanımı benzine kıyasla daha yüksek sıkıştırma oranlarında motorun çalıştırılabilmesine imkân sağlamaktadır. Alkollerin yanma sıcaklığının düşük olması NO_x emisyonları için de bir avantaj oluşturmaktadır. Şekil 2.3'de 8:1 sıkıştırma oranında benzine kıyasla sıkıştırma oranına bağlı olarak NO_x emisyonunun alkollerdeki değişimi görülmektedir [15].



Şekil 2.2. Alternatif yakıtların ve benzinin HC ve NO_x emisyonlarına etkisinin karşılaştırması [15]



Şekil 2.3. Sıkıştırma oranına bağlı olarak NO_x emisyonlarının değişimi [15]

2.1.2. Gaz yakıtlar

Buji ile ateşlemeli motorlarda alternatif yakıt olarak LPG, doğal gaz ve hidrojen gibi gaz yakıtlar da kullanılmaktadır. Son yıllarda kolay bulunması, diğer yakıtlara nazaran daha düşük bütçeyle elde edilmesi ve tüketiciye bunun yansımaları sonucu LPG üretiminde ve tüketiminde hızlı bir artış gözlenmiştir. Ayrıca oktan sayısının buji ile ateşlemeli motorlar için yeterince yüksek olması ve yakıt olarak motorda kullanımında daha düşük kirletici emisyonlara neden olması önemli avantajlarıdır [16].

Ülkemizde benzine alternatif olarak yaygın bir şekilde LPG kullanılmaktadır. Türkiye’de 2004-2009 yılları arasında kara taşıtlarının yakıt türünü göre dağılımı Çizelge 2.2’de yer almaktadır. LPG ve dizel yakıtı kullanan araç sayısında son yıllarda önemli bir artış olduğu görülmektedir. Genel olarak LPG araçların aynı zamanda benzinle de çalıştığı göz ardı edilmemelidir [17,18].

Çizelge 2.2. Kullanılan yakıt türüne göre motorlu kara taşıt sayısı [17,18]

Yıl	Benzin	Dizel	LPG
2007	5 980 516	4 850 837	1 880 023
2008	5 952 746	5 323 478	2 276 283
2009	5 887 559	5 654 350	2 592 695
2010	5 762 156	6 195 898	2 973 832
2011	5 709 606	6 899 420	3 335 566
2012	5 722 940	7 549 806	3 649 739

LPG, propan (C_3H_8) ve bütanın (C_4H_{10}) belli oranlardaki karışımından oluşan ve sıvılaştırılmış bir petrol gazıdır. Petrolün işlenmesinden ya da petrol yataklarında karışmış bir biçimde bulunduğu petrol veya doğal gazdan ayrıştırılarak elde edilir. Ham petrolün çok az bir kısmı LPG içerdiğinden rafineride yapılan damıtma işlemleri ile elde edilen miktar %40'a kadar arttırılabilmektedir. Çizelge 2.3'de propan ve bütanın özellikleri görülmektedir [19].

Çizelge 2.3. Propan ve bütanın çeşitli özellikleri [20]

Özellikleri	Propan	Bütan
Formülü	C_3H_8	C_4H_{10}
Moleküler ağırlığı, g/mol	500,5	578,8
Yoğunluğu, kg/m^3	500,5	578,8
Kaynama noktası, $^{\circ}C$	-42	-0,5
Alt ısı değer, MJ/kg	46,30	45,72
Buhar basıncı, kPa	830	210
Stokiyometrik hava/yakıt oranı	15,88	15,46
Oktan sayısı	105	92

LPG içerisindeki propan yakıtın daha kolay tutuşmasını sağlarken, bütan maliyeti azaltmada avantaj sağlar [21]. Çizelge 2.4'de yaz ve kış aylarında LPG içindeki propan/bütan oranlarının ülkelere göre değişimi görülmektedir. Ülkemizde genellikle yaz aylarında %30 propan, %70 bütan karışımından oluşan LPG kullanılmaktadır. Kış aylarında bazı firmalar propan oranını %50'ye kadar çıkarmaktadırlar. Avrupa ülkelerinden Fransa, İtalya, İspanya ve Yunanistan'da da bu oran kullanılmaktadır. Kanada ve Amerika'da ise; propan oranının ağırlıklı olduğu LPG gazı kullanılmaktadır [22].

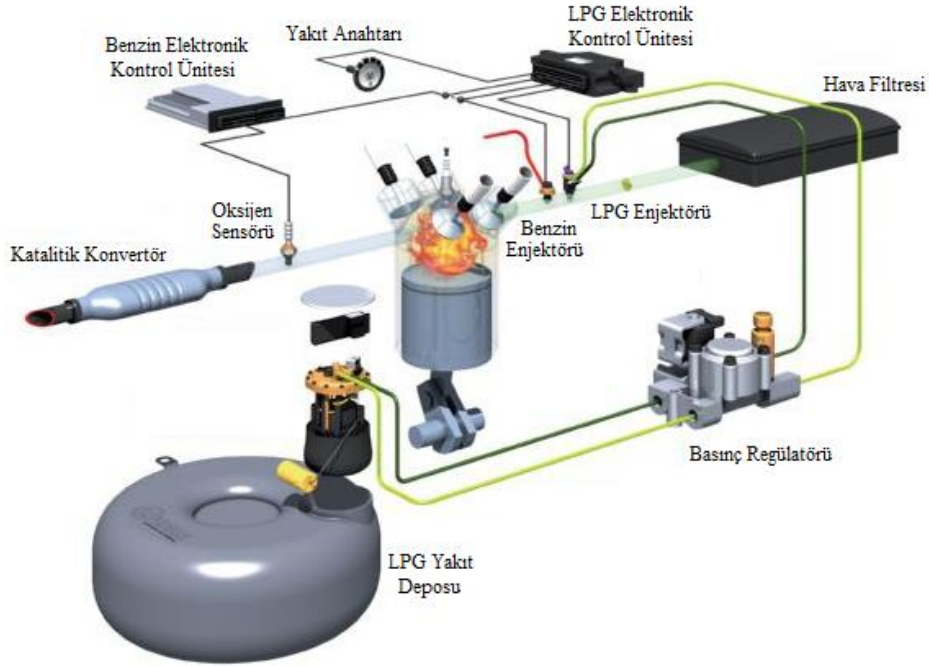
Çizelge 2.4. Yaz ve kış aylarında LPG içindeki propan/bütan oranlarının ülkelere göre değişimi [23]

Ülkeler	Propan/Bütan Oranları	
	Yaz	Kış
Belçika	30/70	50/50
Almanya	Propan	
Danimarka	50/50	70/30
İngiltere	Propan	
Avusturya	20/80	80/20
Hollanda	30/70	70/30
İsveç	Propan	50/50
İsviçre	Propan	

LPG'nin oktan sayısının yüksek olması motorun daha yüksek sıkıştırma oranlarında çalıştırmasına imkan sağlar. Böylece motordan daha yüksek güç daha iyi bir yakıt ekonomisi sağlanabilir. Isıl değer açısından LPG benzinle kıyaslandığında kütle bazda daha yüksek, hacimsel bazda ise daha düşük enerjiye sahiptir. Bu nedenle LPG kullanımında yakıt tüketimi kütle bazda azalırken hacimsel olarak artar [19].

Buji ile ateşlemeli motorlarda LPG'nin gaz fazında emme manifolduna verilmesi durumunda gaz yakıtın fazla hacim kaplaması volümetrik verimi ve gücü olumsuz etkiler. Ancak gaz fazında olan LPG hava ile daha homojen bir karışım oluşturabildiğinden daha iyi yanma özelliğine sahiptir. Karbon birikintisinin olmaması ve daha düşük egzoz emisyonları avantajlı yönleridir [19].

Otto çevrimine göre çalışan buji ile ateşlemeli motorlar genel olarak benzin ile çalışmaktadır. Bu nedenle motorun aynı zamanda LPG ile çalışmasını sağlayacak ilave ekipmanlara ihtiyaç duyulur. LPG dönüşüm sistemlerinde yakıt deposu, yakıt emniyet valfi, yüksek basınçlı ve düşük basınçlı LPG boruları, benzin ve LPG kumanda valfleri ve buharlaştırıcı (basınç regülatörü) kullanılmaktadır. Ayrıca LPG dönüşümünün gerçekleştirildiği motorun ve dönüşüm sisteminin özelliklerine göre gaz mikseri veya LPG enjektörleri ve elektronik kontrol ünitesine de ihtiyaç vardır.



Şekil 2.4. Yakıt enjeksiyonlu bir motorda LPG dönüşümünde kullanılan ekipmanlar [24]

Gaz yakıtların benzine göre oktan sayıları daha fazladır. Yüksek oktan sayısı motorun vuruntusuz çalışmasını sağlamaktadır. Ayrıca tutuşma sıcaklığı benzine nazaran daha düşük bir sıcaklıkta olmaktadır. Buji ile ateşlemeli motorlarda kullanılan bir başka alternatif yakıt doğal gazdır. Doğal gaz esas olarak fosil yakıt olmasına rağmen yeryüzüne dağılımı ve elde edilebilirliğinin geniş olması önemli avantajdır. Metan araştırma oktan sayısı 130 olduğundan benzinli motora kıyasla çok yüksek sıkıştırma oranlarını mümkün kılmaktadır. Soğukta ilk harekette karışım oranının ekstra zenginleştirilmesine gerek yoktur ve böylece düşük sıcaklıklarda kirletici emisyonların azaltılmasını sağlar [10].

Fosil kökenli bir enerji kaynağı olan doğalgazın önemli bir kısmını (%90-%96) metan (CH_4) gazı oluşturur. Kalan kısmını ise; etan, propan, bütan, pentan, azot ve karbondioksit gibi gazlardan meydana gelmiştir. Doğalgazın oktan sayısının ve ısıl değerinin yüksek olması buji ile ateşlemeli motorlarda kullanımında önemli avantajlarıdır. Ayrıca kütleli stokiyometrik karışım oranı benzinden daha yüksektir.

Yanma hızının benzinden daha düşük olması motor performansı açısından olumsuz bir etkiye sahiptir [19].

Yandığında formaldehit emisyonu oluşturmaması, korozyon olmaması ve kirletici emisyonlarının düşük olması doğalgazın çevresi bir yakıt olarak ele alınmasını sağlamaktadır. Tutuşma sıcaklığı benzinden daha yüksektir, havadan daha hafif olması ve hava ile hacimsel olarak %5–15 arasındaki karışımlar dışında yanmaması daha bir güvenli yakıt olmasına imkân vermektedir [25].

Hidrojen, yanma sonrasında açığa çıkan ürününün su buharı olması nedeniyle çevreci bir yakıttır. Kömür ve doğalgaz gibi fosil yakıtlardan, güneş enerjisi ve nükleer enerji gibi çeşitli enerji kaynaklarından üretilebilmesi bir başka avantajlı yönünü oluşturur. Fosil yakıtlar yanma neticesinde enerjiye dönüştürülebilirken, hidrojen çeşitli yöntemlerle ısı, mekanik ve elektrik gibi kullanışlı enerjilere dönüştürülebilen ve fosil yakıtlardan daha verimli olan çok yönlü bir yakıttır [12, 26, 27].

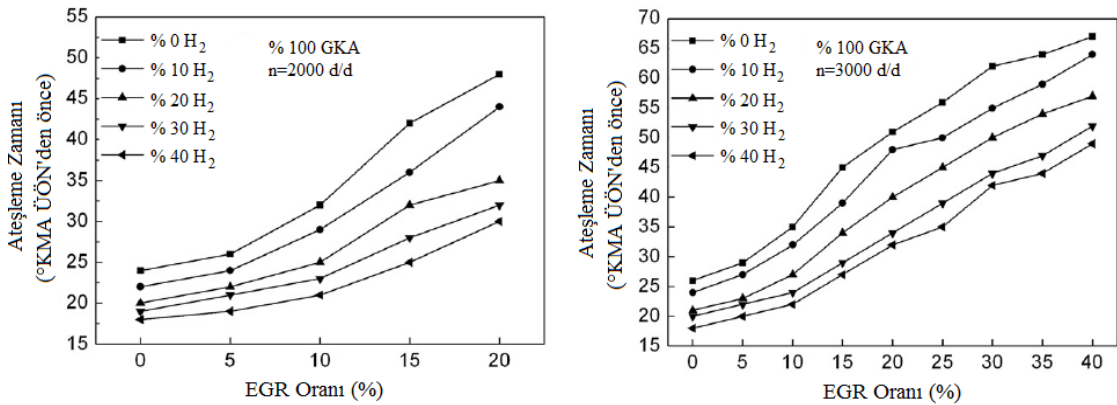
Hidrojenin alev hızının ve tutuşma yeteneğinin yüksek olması, düşük ateşleme enerjisi ihtiyacı, tutuşma ve yanma sınırlarının geniş olması (HFK 0,15 -4,35), ısıl veriminin ve oktan sayısının yüksek olması diğer avantajlı yönlerindedir. Buji ile ateşlemeli motorlarda genellikle benzin kullanılmakta ve motor stokiometrik hava/yakıt karışım oranını içeren dar bir bölgede çalıştırıldığından yanma ile birlikte yüksek oranda kirletici egzoz emisyonları oluşur. Motor, hidrojen ile fakir karışımlarda çalışabildiğinden benzin motorlarına göre daha düşük egzoz emisyonları ve yakıt tüketimi elde edilebilir. Ayrıca Otto motorlarında alev hızının yüksek olması ideale yakın bir yanma oluşturduğu gibi aynı zamanda karışımın başka noktalarda tutuşma ihtimalini azaltır. İdeale yakın yanma ısıl verimi artırırken, silindir içerisinde başka noktalarda tutuşma ihtimalinin azalması motor gücünün artırır. Bu bakımdan alev hızının ve tutuşma yeteneğinin yüksek olması hidrojene avantaj sağlar. Buji ile ateşlemeli veya sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda çift yakıt olarak kullanılabilir [12, 28].

Otto çevrimine göre çalışan motorlarda hidrojen-hava karışımı emme manifolduna verildiğinde alev geri tepme riski oluşturduğunda silindirlere direk püskürtülmek daha güvenlidir. Ayrıca hidrojen yakıtının depodan basınçlı bir şekilde gelmesi nedeniyle basıncı düşürmek için regülatör kullanılmalıdır [29].

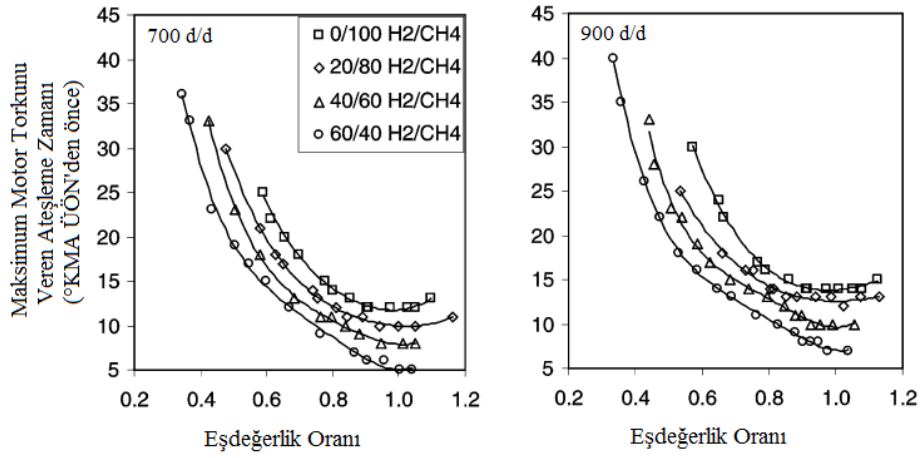
Çizelge 2.5 Doğal gaz ve hidrojenin çeşitli özellikleri [30]

Özellikleri	Doğal Gaz	Hidrojen
Formülü	CH ₄	H ₂
Yoğunluğu, kg/m ³ 300 K ve 1 atm basınçta	0,754	0,083
Alt ısı değeri, MJ/kg	43,726	119,930
Laminer alev hızı, m/s	0,38	2,9
Stokiyometrik hava/yakıt oranı	17,19	34,20
Oktan sayısı	127	-

Doğal gaz ve hidrojenin yakıt olarak kullanıldığı buji ile ateşlemeli bir motorda maksimum motor torkunu veren ateşleme zamanının yakıt içerisindeki hidrojen miktarı ve EGR oranına bağlı olarak değişimi Şekil 2.4'te görülmektedir. Hidrojen oranı arttıkça ateşleme avansı ihtiyacı da azalma göstermektedir. Benzer bir değişim metan ve hidrojenle yapılan bir çalışmada da elde edilmiştir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Ateşleme avansının hidrojen ve EGR oranına bağlı olarak değişimi [31]



Şekil 2.6. Maksimum motor torkunu veren ateşleme avansının hidrojen ilavesine bağlı olarak değişimi [32]

2.2. Literatür Çalışması

He ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, etanol-benzin karışımlarının buji ile ateşlemeli ve yakıt enjeksiyonlu bir motorda egzoz emisyonlarına etkisi incelenmiştir. Çalışmada benzin (E0) ve hacimsel olarak %10 (E10) ve %30 (E30) etanol içeren etanol-benzin karışımları kullanılmıştır. E0 yakıtıyla karşılaştırıldığında motor çıkışındaki CO emisyonları 2000 d/d'de E10 ve E30 yakıtlarında sırasıyla %4,7 ve %5,8, 3000 d/d'de %5,7 ve %3,1 azalmıştır. Katalitik konvertör verimi, kısmi yüklerde 2000 d/d'de etanol karışımlarında artarken, 3000 d/d'de yalnızca E30'da yükselmiştir.

Motor çıkışındaki HC emisyonları E0 ile karşılaştırıldığında E10 ve E30 yakıtlarında sırasıyla 2000 d/d'de %6-13 ve %15-29,5, 3000 d/d'de %5-15,3 ve %22,1-25,8 azalmıştır. Katalitik konvertörün HC emisyonlarını dönüştürme verimi E10 ve E30 yakıtlarında daha düşük elde edilmiştir. Motor çıkışındaki HC'lerin benzine kıyasla daha az olması bunu etkilemiştir.

Motor çıkışındaki NO_x emisyonları etanol içeren yakıtlar için daha az olduğu görülmüştür. Etanol karışımlarında benzine eşdeğer güç elde etmek için püskürtülen yakıt miktarı arttırılmaktadır. Yakıtın buharlaşma ısısı nedeni ile giriş hava sıcaklığı

azalarak yanma sıcaklığı ve bunun sonucu olarak NO_x emisyonları azaltmaktadır. Etanol karışımları kullanıldığında egzoz gazları içerisindeki yüksek oksijen konsantrasyonu nedeni ile E10 ve E30 yakıtları için katalitik konvertörde NO_x dönüşümü E0'dan daha az gerçekleşmiştir. Ancak konvertör çıkışındaki her üç yakıtın NO_x emisyonlarının birbirine yakın olduğu görülmüştür [33].

Çelik ve Çolak tarafından yapılan çalışmada, saf etanolün bujili ateşlemeli bir motorda motor performansına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel olarak 250 cm^3 motor hacmine sahip orijinal sıkıştırma oranı 5/1 olan Lombardini marka motor kullanılmıştır. Motorun sıkıştırma oranı 4/1 ile 10/1 arasında değiştirilebilir hale getirilmiştir. Deneysel olarak, motorun 6/1-8/1 ve 10/1 sıkıştırma oranlarında gerçekleştirilmiştir. 6/1 sıkıştırma oranında etanol ile benzine arasında önemli bir güç kaybı olmadan egzoz emisyonlarında bir miktar azalma olduğu görülmüştür. 10/1 sıkıştırma oranında ise benzine kıyasla etanolde güç %25 artarken CO , CO_2 ve NO_x emisyonlarında sırasıyla %41, %21 ve %26 azalma elde edilirken, HC emisyonu %40 artmıştır [8].

Al-Baghdadi tarafından yapılan çalışmada, hidrojen ve etil alkolün çift yakıt olarak kullanıldığı buji ile ateşlemeli motorda motor performansı ve egzoz emisyonlarının değişimi incelenmiştir. Çift yakıt kullanımında hidrojen miktarı kütleli olarak %0–12 arasında değiştirilmiştir. Hidrojen-alkol yakıtı ile motor stokiometrik karışım oranında, maksimum motor torkunu veren ateşleme avansında, 7,5 sıkıştırma oranında ve 1500 d/d motor devrinde çalıştırılmıştır. Temel yakıt olarak saf benzin aynı motor şartlarında kullanılarak, her bir parametre ölçüm sonuçlarına göre boyutsuz hale getirilmiştir. NO_x emisyonları etil alkol kullanımında benzine kıyasla %40 azalırken, çift yakıtlı kullanımda yakıt içerisindeki hidrojen miktarı arttıkça artış göstermiştir. CO emisyonu etil alkol kullanımında benzine göre % 2 azalmıştır. Ayrıca çift yakıt içerisindeki hidrojen oranına bağlı olarak azalma göstermiştir. Özgül yakıt sarfiyatı benzine göre etil alkol kullanımında %57 artarken, hidrojen miktarı kütleli olarak %6'ya arttırılincaya kadar azalma gözlenmiştir. Motor gücü etil alkolde %6 artmış, karışımdaki hidrojen miktarı %2 oluncaya kadar artış

gözlenmiş, daha sonra hidrojen miktarı arttıkça karışım yoğunluğu ve volümetrik verimdeki azalma nedeniyle güçte düşme olduğu görülmüştür. [34]

Hsieh ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada buji ile yapılan çalışmada etanol ve benzin karışımlarının motor performansına etkisi incelenmiştir. Karışımlarda hacimsel olarak %0, %5, %10, %20 ve %30 oranlarında etanol yer almaktadır. Çalışmada etanol benzin karışımı kullanımında CO emisyonu %10-90 HC emisyonları %20-80 arasında azalırken, CO₂ emisyonları %5-25 oranında artmıştır [35].

Irimescu tarafından yapılan çalışmada, buji ile ateşlemeli bir motorda izo-bütanolün performans ve verimi etkisi incelenmiştir. Şasi dinamometresi üzerinde binek otomobili ile gerçekleştirilen deneysel çalışmada yakıt olarak benzin, %50 benzin-%50 izo-bütanol (IB50) ve saf izo-bütanol (IB100) kullanılmıştır. Çok nokta yakıt enjeksiyon sistemine sahip olan motorun elektronik kontrol ünitesi alternatif yakıtlar için yakıt akışını arttırabilecek şekilde ayarlanmıştır. Bunun dışında motorda veya yakıt sisteminde başka bir modifikasyon yapılmamıştır. Tam yükte yapılan deneylerde benzinle karşılaştırıldığında IB50 yakıtında verim %6 artarken, IB100 yakıtında %9'a kadar azalmıştır. Kısmi yüklerde IB50 yakıtında verim %3, IB100 yakıtında %11 azalma göstermiştir [36].

Gu ve çalışma arkadaşlarıncı yapılan çalışmada buji ile ateşlemeli bir motorda benzin ve çeşitli oranlarda n-bütanol karışımlarının emisyonlara etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Çalışmada hacimsel olarak %10, %30 ve %40 n-bütanol içeren karışımların yanı sıra yalnızca benzin ve saf n-bütanol yakıt olarak kullanılmıştır. CO, HC ve NO_x emisyonları benzinle karşılaştırıldığında n-bütanol-benzin karışımlarında azalırken, saf n-bütanolde CO ve HC emisyonları artmış, NO_x ise azalmıştır. Ateşleme zamanının avansa alınması, HC ve NO_x emisyonlarında artışa sebep olduğu görülmüştür. Çeşitli yüklerde %40'dan daha az alkol içeren karışımlarda HC benzine kıyasla azalırken, saf n-bütanolde HC artmıştır. Ateşleme zamanı ÜÖN'den 40° KMA öncesinden 20° KMA'ya alındığında CO emisyonunun

küçük değişimler gösterdiği, ateşlemenin daha da rötara alınması durumunda arttığı anlaşılmıştır. EGR ilavesinin artışı CO ve HC emisyonlarında alkol-benzin karışımları önemsiz bir artışa neden olurken, NO_x emisyonları dikkate değer bir azalma sağlamıştır [37].

Raine ve Jones benzin ve alternatif yakıt olarak doğal gaz kullanılan tek silindirli araştırma motorunda egzoz gaz sıcaklığı piston, egzoz supabı ve silindir kapağı sıcaklıkları ölçümlerini karşılaştırmışlardır. Tam gaz kelebek açıklığında aynı yakıt-hava oranı ve maksimum motor torku veren ateşleme zamanında motor çalıştırıldığında benzine göre doğal gazlı çalışmada yanma odasındaki sıcaklıklar ve egzoz gaz sıcaklığı daha düşük elde edilmiştir. Bununla birlikte her iki yakıt aynı motor yükünde çalıştırıldığında yanma odasındaki sıcaklıkların birbirine benzer olduğu tespit edilmiştir. Ölçümler aynı zamanda yakıt-hava oranı ve ateşleme zamanının sıcaklıklar üzerinde oldukça etkili olduğunu göstermektedir.

Tam gaz kelebek açıklığında 1500 d/d motor devrinde ve stokiyometrik hava- yakıt oranında ateşleme zamanı değiştirildiği deneyde, maksimum motor torkunu veren ateşleme zamanının her iki yakıt için farklı olduğu (Doğal gaz için 28 °KMA ve benzin için 20 °KMA ÜÖN'den önce) görülmüştür. Bu sonuç doğal gaza kıyasla benzinin yanma hızının daha yüksek olduğunu göstermektedir. Maksimum motor torku doğal gazlı çalışmada yaklaşık %15 azalmıştır. Araştırmacılar bunun nedenini motora doğal gazla birlikte alınan havanın doğal gaz nedeniyle kısıtlanmasına bağlamışlardır [38].

Çınar ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, dört zamanlı ve dört silindirli buji ile ateşlemeli Murat 124 motorunda kısmi GKA' da (Gaz Kelebek Açıklığı) benzin ve LPG yakıtları kullanılarak motor performansı ve egzoz emisyonlarının değişimi deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler sonucunda motor gücü ve motor momenti, benzin kullanımı ile karşılaştırıldığında LPG ile yaklaşık %10 daha düşük elde edilmiştir. Araştırmacılar LPG' nin gaz fazında olması ve regülatör çıkışında gazın 30-60° C arasında ısınmasının volumetrik verimi olumsuz etkilemesi nedeniyle

performansta azalmaya neden olduğunu belirtmişlerdir. Deneysel sonuçlarda da volumetrik verimin azaldığı anlaşılmaktadır. Ancak LPG' li çalışmada daha düşük CO ve HC emisyonları elde edilmiştir [39].

Çetin ve Yüksel tarafından yapılan çalışmada Atatürk Üniversitesi Erzincan Meslek Yüksekokulu Otomotiv programı laboratuvarlarında 2002-2003 yıllarında LPG yakıt ayarı ve LPG sızdırmazlık raporu işlemleri için gelen 1493 araçtan 800'ü seçilerek emisyon ölçümleri yapılmıştır. Emisyon ölçümleri rölanti, 3000 d/d ve 4000 d/d motor devirlerinde yapılmıştır. Bu araçların rölanti çalışmasında ve diğer motor devirlerinde emisyon değerlerinin yüksek çıktığı görülmüştür. Ayrıca bu kontrol için gelen araçların yarısında CO miktarı hacimsel olarak % 3 değerinin üstünde olduğu belirlenmiştir. Emisyonları yüksek çıkan araçların emisyonları uygun değerlere ayarlanmıştır. Yapılan ayarlar sonucunda CO ve HC emisyonlarında önemli miktarda azalma elde edilmiştir. CO ve HC emisyonlarındaki iyileşme neticesinde CO₂ emisyonu ise bir miktar artmıştır. Yapılan bu çalışma ile LPG dönüşümü yapılan taşıtlarda yakıt ayarının egzoz emisyonlarına etkisi vurgulanmıştır [2].

Balki tarafından yapılan yüksek lisans çalışmasında buji ateşlemeli bir motorda farklı sıkıştırma oranlarında LPG kullanımının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışmada tek silindirli, dört zamanlı ve değişken sıkıştırma oranlarına sahip buji ateşlemeli bir motor kullanılmıştır. Deneysel olarak kullanılan motorun orijinal sıkıştırma oranı olan 5/1'de benzin, 5/1, 7/1 ve 9/1 sıkıştırma oranlarında LPG kullanılarak çalışma gerçekleştirilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlara göre LPG kullanımında motor momentinde (5/1 sıkıştırma oranında) benzine kıyasla azalma görülmüştür. 7/1 ve 9/1'lik sıkıştırma oranlarında LPG'li çalışmada motor momenti orijinal sıkıştırma oranında elde edilen değerlerle karşılaştırıldığında artış kaydetmiştir. LPG'nin egzoz emisyonlarına etkisi dikkate alındığında CO ve HC emisyonlarında önemli miktarda azalma (CO %80-95, HC %35-40) sağladığı anlaşılmıştır [40].

Güler tarafından yapılan yüksek lisans çalışmasında içten yanmalı motorlarda LPG'nin yakıt olarak kullanımını ele alınmıştır. Çalışmada deneysel amaçla kullanılan bir motorun verileri dikkate alınarak motor performans ve egzoz emisyonları KIVA-3V kodu kullanılarak LPG ve benzin karşılaştırılmıştır.

Yapılan çalışma sonucunda LPG kullanımında egzoz emisyonlarında daha düşük değerler elde edilmiştir. Çeşitli motor çalışma koşulları aynı alındığında CO ve NO emisyonlarında LPG'de önemli iyileşmeler elde edilmiştir. Çalışmada elde edilen bir başka sonuç da silindir içerisinde maksimum basıncın LPG'de azalmasıdır. LPG'nin gaz yakıt olması nedeniyle volumetrik verimdeki azalmanın motor gücünü olumsuz etkilediği görülmüştür. Ancak sıkıştırma oranının artırılması ve uygun ateşleme avansı ile güç kaybının giderilebildiği anlaşılmıştır [41].

Dizel motorlarında dizel yakıtı ve LPG kullanımının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisinin incelendiği Ciniviz tarafından yapılan çalışmada dizel yakıtı ve ağırlık olarak %30 LPG ve %70 dizel yakıtı kullanılmıştır. Deneyler tek silindirli direkt püskürtmeli bir dizel motorunda gerçekleştirilmiştir. Motor, LPG + Dizel yakıtı ile çalışabilecek hale dönüştürülmüştür. Yapılan deneylerde motor gücü çift yakıt kullanımında dizel yakıtına kıyasla %4,7–5,9 daha yüksek elde edilmiştir. Ayrıca egzoz emisyonlarından NO_x emisyonu ve k faktöründe çift yakıt kullanımının iyileşme sağladığı tespit edilmiştir [42].

Ceylan, Köse ve Arslan tarafından yapılan çalışmada otomobil motorlarında benzin ve LPG kullanımının egzoz emisyonlarına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmada dört zamanlı, dört silindirli, karbüratörlü, 1581 cm³ motor hacmine sahip Tofaş Doğan marka araç kullanılmıştır. Egzoz emisyonları motor yüklü ve yüksüz iken rölanti, 2000 d/d ve 3500 d/d motor devirlerinde ölçülmüştür. Aracın LPG dönüşümünün ardından yapılan deneylerde LPG'li çalışmada motor yüksüz iken ölçümlerin gerçekleştirildiği devirlerde CO %30–91,9 aralığında, HC %11,47–29,69 aralığında ve CO₂ emisyonları ise, %13,38–16,66 aralığında azalma göstermiştir. Motor yüklü iken benzer bir değişim (CO %12,74–91,05, HC %10,15–19,31 ve CO₂

%13,39–22,65 aralıklarında azalma) elde edilmiştir. Yapılan çalışmada özellikle 2000 ve 3500 d/d motor devirlerinde HFK benzinli çalışmaya göre LPG kullanımında daha yüksek olduğu görülmüştür. Egzozdaki O₂ miktarı da LPG’li çalışmada genel olarak daha yüksek ölçülmüştür [43].

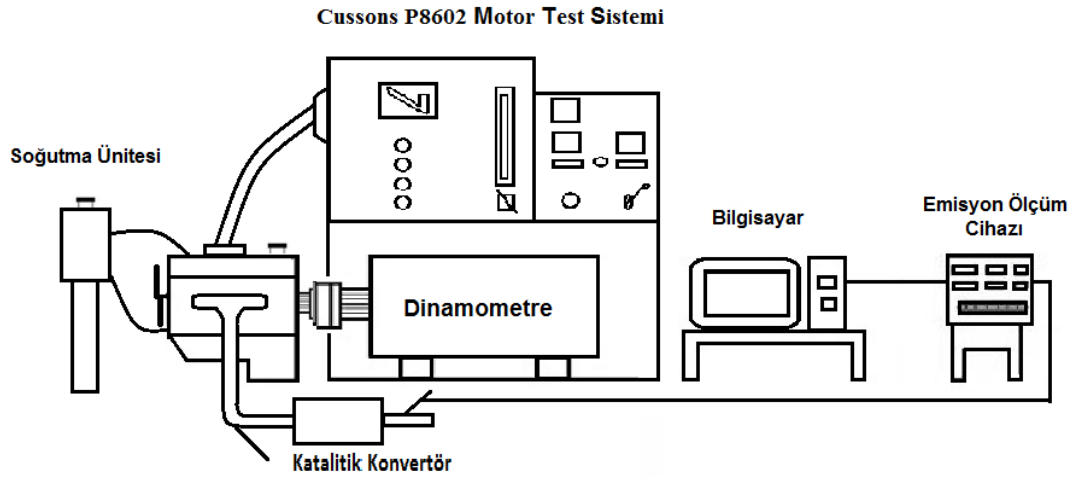
3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Deneyley, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü İçten Yanmalı Motorlar Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Deneyleyde Cussons P8602 motor test sistemi kullanılmıştır. Sistem üzerinde motorun yüklenmesi için eddy akımlı, su soğutmalı dinamometre kullanılmıştır. Bu dinamometre 8000 d/d motor devrine ve 165 kW güce kadar frenleme yapabilmektedir. Ayrıca deney sisteminde motor devri, motor momenti, çevre sıcaklığı, motor soğutma suyu giriş ve çıkış sıcaklıkları, motor yağı sıcaklığı, egzoz gaz sıcaklığı, yakıt tüketimi ve hava tüketimi değerleri ölçülebilmektedir. Test düzeneği Resim 3.1'de görülmektedir. Deney sisteminin şeması Şekil 3.1' de yer almaktadır.



Resim 3.1. Deney sistemi



Şekil 3.1. Deney sisteminin şeması

Deneyleerde Ford VSG 413 marka dört zamanlı, dört silindirli, su soğutmalı, buji ile ateşlemeli ve tek nokta yakıt enjeksiyon sistemine sahip motor kullanılmıştır. Motorun teknik özellikleri Çizelge 3.1' de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Deney motorunun teknik özellikleri

Motor Gücü	43 kW 5000 d/d
Motor Torku	98 Nm 2500 d/d
Silindir Çapı	73,96 mm
Kurs Boyu	75,48 mm
Toplam Kurs Hacmi	1297 cm ³
Sıkıştırma Oranı	8,8:1
Ateşleme Sırası	1-2-4-3
Kompresyon Basıncı	13-16 bar
Rölanti Devri	750 d/d
Supap Zamanları	
Emme Açılması - Kapanması	12° ÜÖN'den önce-48° AÖN'den sonra
Egzoz Açılması - Kapanması	47° AÖN'den önce-13° ÜÖN'den sonra

Hava tüketimi, deney sistemi üzerinde bulunan ve basınç farkını gösteren sönümleyici tank, motor hacmine ve gücüne uygun orifis plaka ve eğik manometreden oluşan düzenek ile ölçülmüştür. Bu düzenek Resim 3.2' de yer almaktadır.



Resim 3.2. Hava akış metresi

Yakıt tüketimleri hacimsel ve kütleli yöntemlerle ölçülmüştür. Yakıt tüketimlerin belirlenmesinde Okuda FC-812 marka cihaz ile Dikomsan JS-BM 30 marka terazi kullanılmıştır. Hacimsel olarak yakıt tüketiminin belirlenmesinde kullanılan Okuda marka cihaza bağlanan sensörün (OF10ZAT-AO) hassasiyeti 2,5 mL/pals olup, kapasitesi 300 L/h'dir. Bu sensör ile $\pm\%1$ hata ile ölçüm yapılabilmektedir. 1 g aralıklarla ölçüm yapılabilen Dikomsan marka terazinin ölçüm kapasitesi 30 kg'dır. Kullanılan cihazlar Resim 3.3' de görülmektedir.



Resim 3.3. Yakıt tüketiminin belirlenmesinde kullanılan cihazlar

Egzoz emisyonları Sun 1500S marka egzoz gaz analizörü kullanılarak belirlenmiştir. Deneysel esnasında verilerin sağlıklı ve hızlı bir şekilde kaydedilmesi için cihaz RS232 portu üzerinden bilgisayara bağlanmıştır. Resim 3.4’ de görülen emisyon ölçüm cihazının teknik özellikleri Çizelge 3.2’ de verilmiştir.



Resim 3.4. Emisyon ölçüm, veri toplama ve depolama sistemi

Çizelge 3.2. Sun 1500S egzoz gaz analizörünün teknik özellikleri

Ölçülen Büyüklük	Ölçme Sınırları	Hassasiyet	Hata
CO ₂ (% Hacim)	0 ... 18	0,001	±%5 / ±0,5
HC (ppm)	0 ... 9999	1 ppm	±%5 / ±10 ppm
O ₂ (% Hacim)	0 ... 25	0,01	±%5 / ±0,1
CO (% Hacim)	0 ... 14	0,001	±%5 / ±0,03
Lambda (λ)	0 ... 4	0,0001	
NO (ppm)	0 ... 5000	1 ppm	±%5 / ±25 ppm hacimsel
Hava/Yakıt Oranı	5 ... 50	0,001	
Yağ Sıcaklığı (°C)	-10 ... +150	1 °C	±%5

Deney motorunun LPG ile çalıştırılabilmesi için Atiker marka LPG dönüşüm sistemi kullanılmıştır. Bu sistemde LPG regülatörde gaz fazına geçirilerek manifold girişindeki karıştırıcıya gönderilmektedir. LPG sistemi Resim 3.5’ te yer almaktadır.



Resim 3.5. LPG sistemi

3.2. Metot

Yapılan deneysel çalışmada ölçüm işlemleri öncesinde test sisteminin ve egzoz emisyon cihazının kalibrasyonları gerçekleştirilmiştir. Her test öncesinde motor çalıştırılarak, soğutma su sıcaklığı ve yağ sıcaklıkları kontrol edilerek, motorun normal çalışma sıcaklığına gelmesi sağlanmıştır. Motorun ısınma sürecinin ardından motor ölçüm işlemlerinin gerçekleştirileceği çalışma koşullarına ulaşması sağlanmıştır.

Deneyler esnasında dinamometrenin bulunduğu test düzeneği üzerinden motor momentini ve motor devri direkt olarak okunmuştur. Düzeltme faktörü Eşitlik 3.1 [44, 45] ile hesaplanarak, motor momentini Eş. 3.2 ile belirlenmiştir.

$$K_d = \left(\frac{99}{P}\right)^{1,2} \cdot \left(\frac{T + 273}{298}\right)^{0,6} \quad (3.1)$$

$$M_m = K_d \cdot M_{\delta} \quad (3.2)$$

Eşitlik 3.1’de yer alan;

K_d : Düzeltme faktörü

P : Atmosferik basınç (kPa)

T : Çevre sıcaklığı (°C) ifade etmektedir. Eşitlik 3.2’de ise;

M_{δ} : Deney esnasında ölçülen motor momentini (Nm)’ dir.

Efektif motor gücü kW olarak Eş. 3.3 ile hesaplanmıştır. Bu eşitlikte yer alan “n” motor devrini ifade etmekte olup, birimi d/d’ dir.

$$P_e = \frac{2\pi \cdot n \cdot M_m}{60 \cdot 1000} \quad (3.3)$$

Deneyleyler esnasında ölçülen yakıt tüketimi (\dot{m}_y) birimi g/h olacak şekilde düzenlenmiş ve Eş. 3.3 ile hesaplanan efektif güç kullanılarak, Eş. 3.4 ile fren özgül yakıt tüketimi birimi g/kWh olarak elde edilmiştir.

$$f_{öyt} = \frac{\dot{m}_y}{P_e} \quad (3.4)$$

Fren ortalama efektif basınç birimi kPa olarak Eş. 3.5 ile hesaplanmıştır. Bu eşitlikte “ n_R ” zaman faktörü olup, motordan işin kaç krank mili devrinde elde edilebildiğini göstermektedir. Bu yüzden “ n_R ” dört zamanlı motorlarda 2, iki zamanlı motorlarda 1 alınmaktadır. Ayrıca eşitlikte yer alan “ V_K ” motorun toplam kurs hacmini ifade etmektedir ve birimi “ m^3 ”dür.

$$f_{oeb} = \frac{60 \cdot n_R \cdot P_e}{n \cdot V_K} \quad (3.5)$$

Volümetrik verim, Eş. 3.6 ile belirlenmiştir.

$$\eta_V = \frac{1000 \cdot n_R \cdot \dot{m}_h}{60 \cdot \rho_h \cdot n \cdot V_K} \quad (3.6)$$

Bu eşitlikte yer alan;

\dot{m}_h : Motorun çalışma koşullarına göre tükettiği hava miktarı (g/h)

ρ_h : Havanın yoğunluğu (kg/m^3) ifade etmektedir.

Kütlesel hava yakıt oranı Eş. 3.7 ile hesaplanmıştır.

$$H / Y = \frac{\dot{m}_h}{\dot{m}_y} \quad (3.7)$$

$$\lambda = \frac{H/Y}{(H/Y)_{\text{stokiyometrik}}} \quad (3.8)$$

Eş. 3.7 ile hesaplanan hava yakıt oranının stokiyometrik hava yakıt oranına bölümü hava fazlalık katsayısını (λ) vermektedir. Bu ifade Eş. 3.8’de görülmektedir.

Katalitik konvertörün egzoz emisyonlarını dönüştürme verimi, konvertör çıkışındaki emisyon miktarının konvertör girişindeki değerinin kıyaslanmasıyla elde edilmiştir. Eş. 3.9, 3.10 ve 3.11’de sırasıyla CO, HC ve NO emisyonları için katalitik konvertörün dönüştürme verimleri yer almaktadır.

$$\eta_{K_{CO}} = \frac{CO_g - CO_\xi}{CO_g} = 1 - \frac{CO_\xi}{CO_g} \quad (3.9)$$

$$\eta_{K_{HC}} = \frac{HC_g - HC_\xi}{HC_g} = 1 - \frac{HC_\xi}{HC_g} \quad (3.10)$$

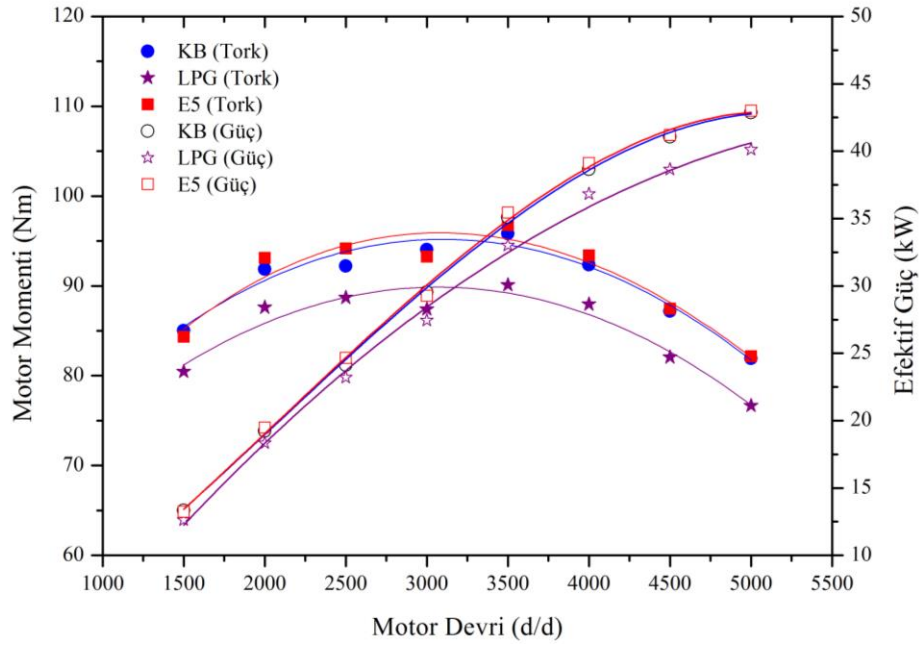
$$\eta_{K_{NO}} = \frac{NO_g - NO_\xi}{NO_g} = 1 - \frac{NO_\xi}{NO_g} \quad (3.11)$$

Formüllerde yer alan “g” ve “ç” alt indisleri konvertörün girişindeki ve çıkışındaki emisyon değerini ifade etmektedir.

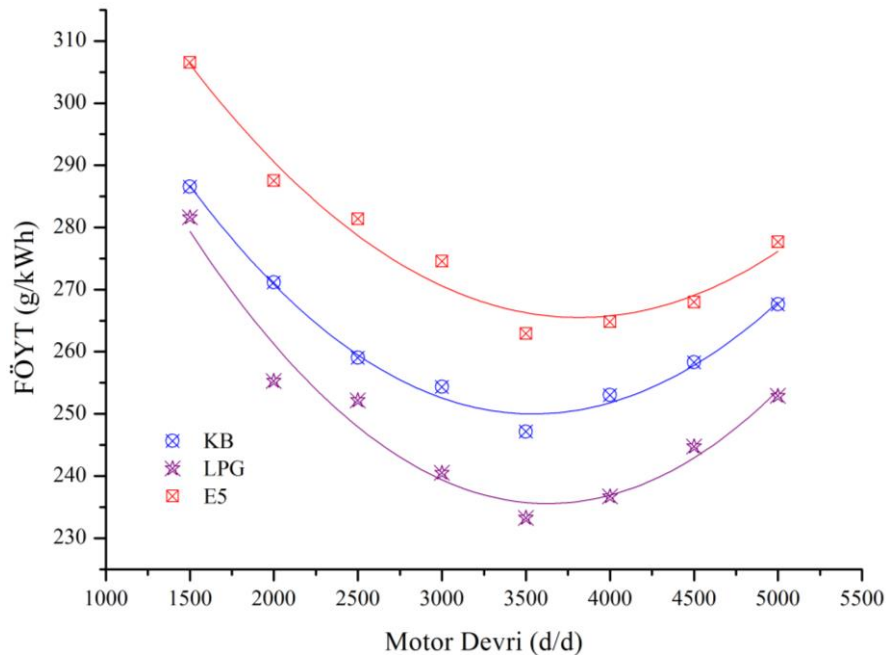
4. DENEYSEL BULGULAR

Deneysel çalışma motorun tam yükte ve kısmi yükte çalışmasını sağlayacak şekilde iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Tam yük çalışması 1500–5000 d/d motor devirleri arasında 500 d/d aralıkla gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.1’de motor devrine bağlı olarak motor momenti ve efektif gücün, Şekil 4.2’de ise; fren özgül yakıt tüketiminin (FÖYT) değişimi görülmektedir. Kurşunsuz benzin ve E5 yakıtıyla elde edilen motor momenti ve efektif güç değerleri arasında dikkate değer bir fark olmadığı görülmüştür. E5 yakıtı kullanımında kurşunsuz benzin içerisindeki alkol miktarı (Hacimsel olarak %5 etanol) düşük olduğu için motorda herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Kullanılan motor lamda kontrollü ve tek nokta yakıt enjeksiyon sistemine sahip olduğundan motor kontrol ünitesinin E5 yakıtı kullanılırken enjeksiyon miktarını arttırması performans kaybını önlemiştir. Şekil 4.2’deki eğrilerde görüldüğü gibi E5 yakıtında FÖYT kurşunsuz benzine göre ortalama olarak %6,02 artmıştır.

Yapılan deneysel çalışmada kurşunsuz benzin ile elde edilen lamda değerlerine uygun olarak LPG kullanımında hava/yakıt oranı değiştirilerek, aynı HFK’de motorun çalışmasına özen gösterilmiştir. LPG ile kurşunsuz benzinin motor performansına olan etkileri karşılaştırıldığında LPG ile yapılan deneylerde efektif güç ortalama olarak %5,49 azalmıştır. Literatürde yapılan çeşitli çalışmalarda da [39–41, 46-48] LPG kullanımında motor gücünün ve volümetrik verimin azaldığı tespit edilmiştir. LPG’nin gaz fazında olması silindire alınan dolgu miktarını dolayısıyla enerjiyi azaltmaktadır. Ayrıca LPG’nin stokiyometrik hava yakıt oranının benzinden daha yüksek olması silindire alınan enerjiyi de azaltmaktadır. LPG’nin kütle bazda ısı değeri benzinden daha yüksek olması ve deneylerde özellikle yüksek devirlerde kısmen fakir çalışması nedeniyle FÖYT benzine karşılaştırıldığında ortalama olarak %4,81 azalmıştır.



Şekil 4.1. Kurşunsuz benzin, E5 ve LPG'nin motor momenti ve efektif güce etkisi



Şekil 4.2. Kurşunsuz benzin, E5 ve LPG'nin FÖYT'e etkisi

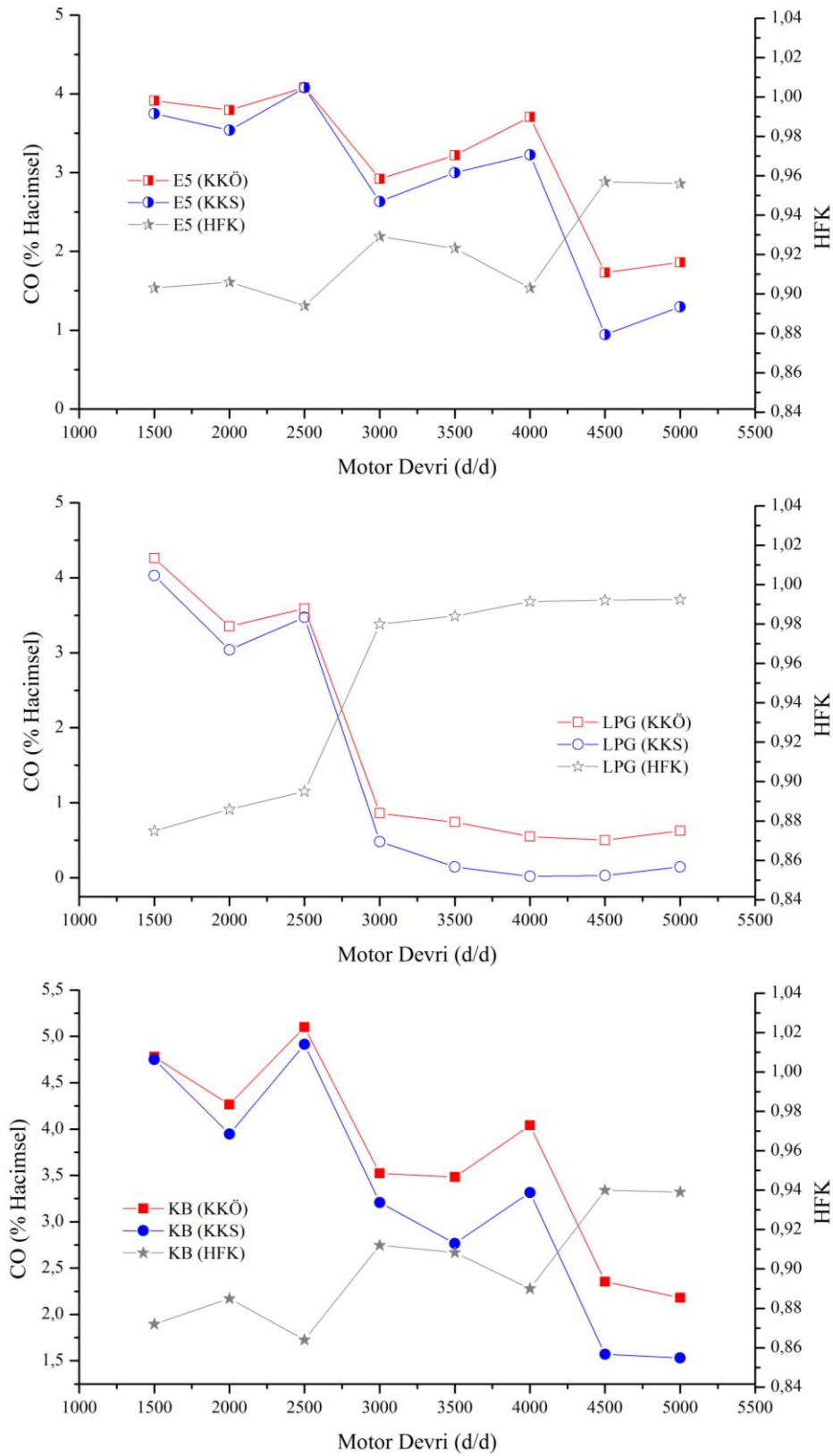
Şekil 4.3'te kurşunsuz benzin (KB), LPG ve E5'in motor devrine bağlı olarak tam yükte katalitik konvertör öncesi (KKÖ) ve katalitik konvertör sonrasındaki (KKS) karbon monoksit (CO) emisyonunun değişimleri görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi

her üç yakıtta da (KB, E5, LPG) CO emisyonu HFK'ye bağılı olarak değişim göstermektedir. CO emisyonu özellikle yanma odasındaki oksijen miktarına bağılıdır. Bu nedenle stokiyometrik hava/yakıt oranından daha zengin karışım oranlarında CO artmaktadır. Bu yüzden çeşitli motor devirlerinde motor çalışma koşullarına bağılı olarak değişen hava/yakıt oranı CO emisyonları üzerinde etkili olmuştur.

Kurşunsuz benzin E5 yakıtıyla karşılaştırıldığında, E5 yakıtının kullanıldığı deneylerde CO emisyonunun katalitik konvertör öncesinde ortalama olarak % 15,4, katalitik konvertör sonrasında ise % 14,5 azaldığı görülmüştür. Motor devrine bağılı olarak kurşunsuz benzin kullanıldığında HFK 0,864–0,94 aralığında değişirken, E5'te motorun daha fakir hava/yakıt oranlarında çalışmasıyla HFK 0,894–0,957 aralığında değişim göstermiştir.

Konvertör öncesi ve sonrasındaki CO değerleri karşılaştırıldığında hava/yakıt oranının konvertör verimi üzerinde önemli bir etkisi olduğu anlaşılmaktadır. Karışımın çok zengin olduğu bölgelerde CO dönüşümünün hemen hemen hiç gerçekleşmediği görülmüştür. HFK'nin stokiyometrik orana yaklaşması durumunda konvertör sonrasında CO azalmıştır. CO emisyonu için en yüksek konvertör verimi KB ile 4500 d/d motor devrinde ($\lambda=0,94$) % 33,3 olarak elde edilirken, E5 yakıtında aynı devirde ($\lambda=0,957$) verimin % 45,6 olduğu tespit edilmiştir.

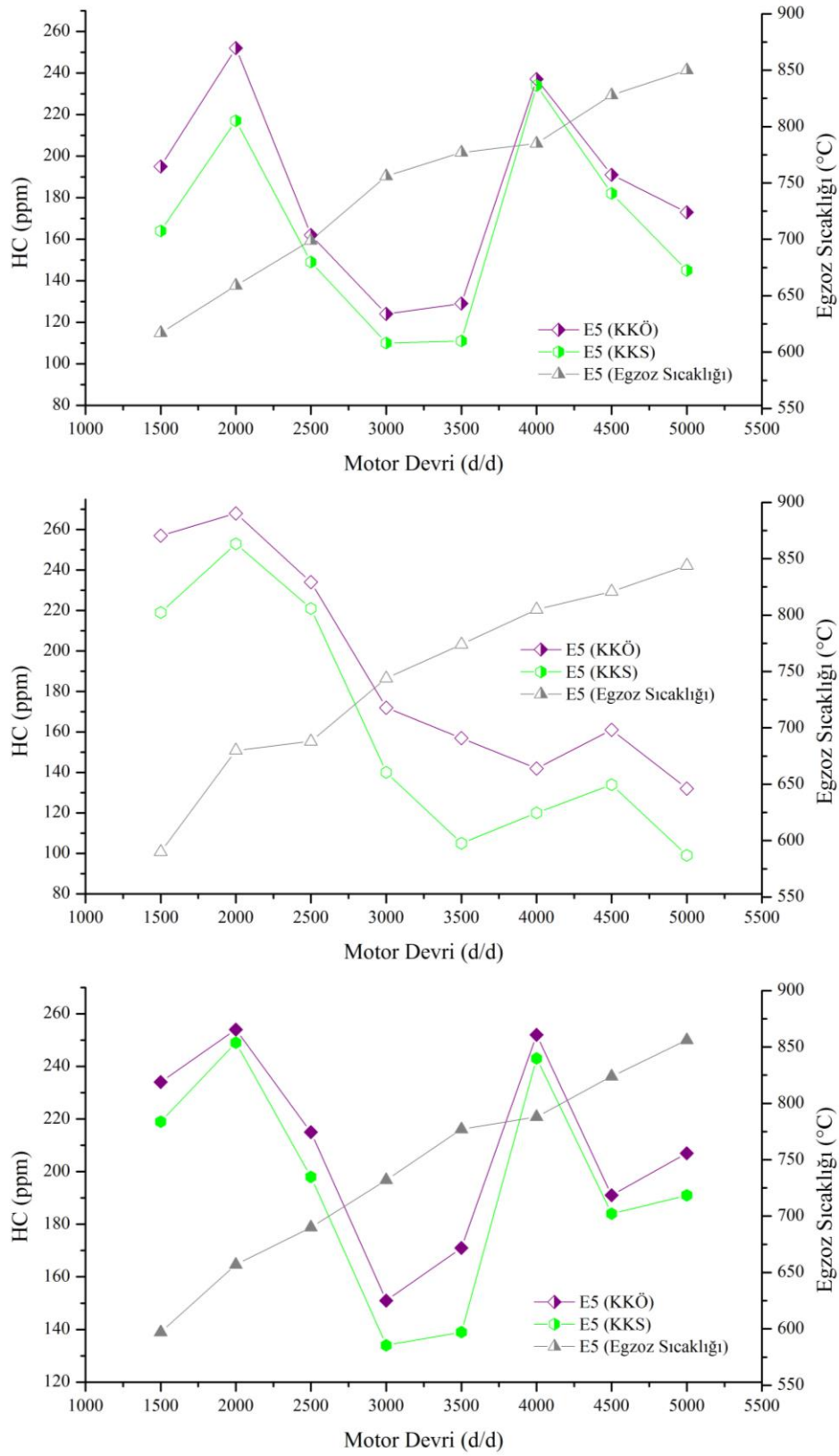
LPG yakıtı kullanımında yüksek motor devirlerinde motor E5 ve KB yakıtlarından daha fakir hava/yakıt oranında çalıştığından CO emisyonu önemli ölçüde azalmıştır. LPG yakıtıyla KB'ye göre ortalama KKÖ'de % 56,6 KKS'de % 66,9 oranında daha az CO emisyonu olduğu görülmüştür. Konvertör verimi LPG kullanımında motorun stokiyometrik orana yakın çalıştığı bölgelerde %96,4'e kadar ulaşmıştır.



Şekil 4.3. Motor devrine bağlı olarak deney yakıtlarıyla elde edilen CO değişimleri

Şekil 4.4'te tam yükte motor devrine bağlı olarak hidrokarbon (HC) emisyonlarının katalitik konvertör öncesi ve sonrasındaki değişimleri görülmektedir. HC emisyonları hava/yakıt oranı ve silindir içi cidar sıcaklıklarına bağlı olarak değişim göstermektedir. Grafikte de görüldüğü gibi egzoz gaz sıcaklıklarının motor devriyle artması HC emisyonları üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Ancak CO emisyonunun da olduğu gibi HC emisyonunda da HFK'nın önemli bir etkiye sahip olduğu anlaşılmaktadır. Zira zengin karışımlarda HC artış göstermiştir. Ayrıca deney motorunun E5 yakıtı ve LPG (yüksek motor devirlerinde) ile KB'ye göre daha fakir çalışması HC emisyonlarının bu yakıtlarda azalmasını sağlamıştır. Konvertör öncesinde kurşunsuz benzine kıyasla E5 ile ortalama %13,4, LPG ile %8,2 azalma kaydedilmiştir.

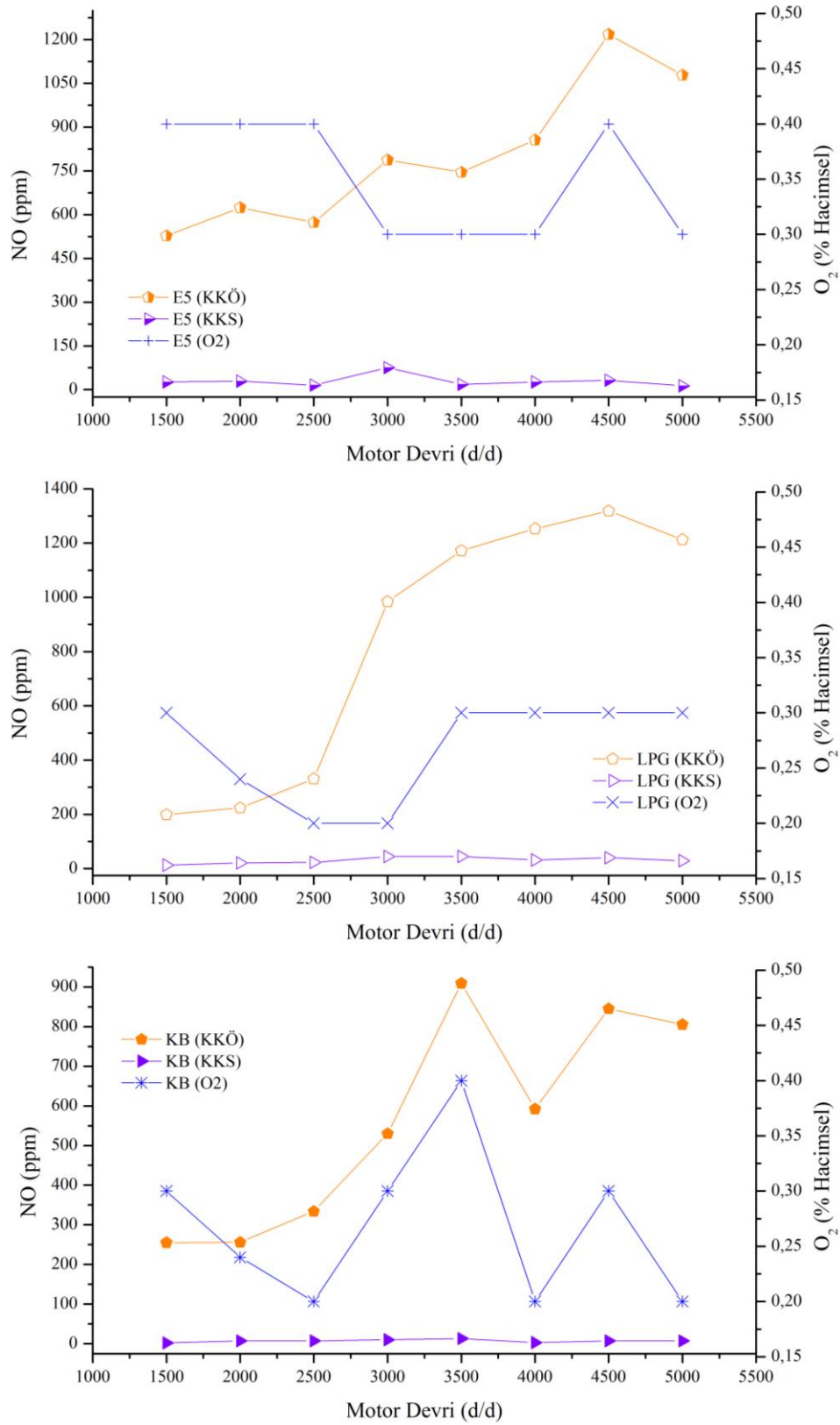
Konvertör verimi daha çok hava/yakıt oranına bağlı olarak değişim göstermiştir. Tüm yakıtlar için hava/yakıt oranının çok zenginleştiği ölçüm noktalarında HC dönüşümünün çok azaldığı veya gerçekleşemediği anlaşılmıştır. En yüksek katalitik konvertör verimi 3500 d/d motor devrinde LPG kullanımında %33,1 olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.4. Motor devrine bağlı olarak deney yakıtlarıyla elde edilen HC değişimleri

Şekil 4.5'te KB, LPG ve E5 yakıtları için tam yükte motor devrine bağlı olarak azot oksit (NO) emisyonlarının katalitik konvertör öncesi ve sonrasındaki değişimleri görülmektedir. NO emisyonunun indirgenmesi için ortamdaki O₂ miktarının azalmasına ihtiyaç vardır. Bu sebeple CO ve HC emisyonlarının aksine NO emisyonu, hava yakıt karışımının zengin olduğu ($\lambda < 1$) bölgede önemli ölçüde azalmaktadır. Hatta zengin karışımlarla katalitik konvertörün NO emisyonunu dönüştürme verimi daha yüksektir.

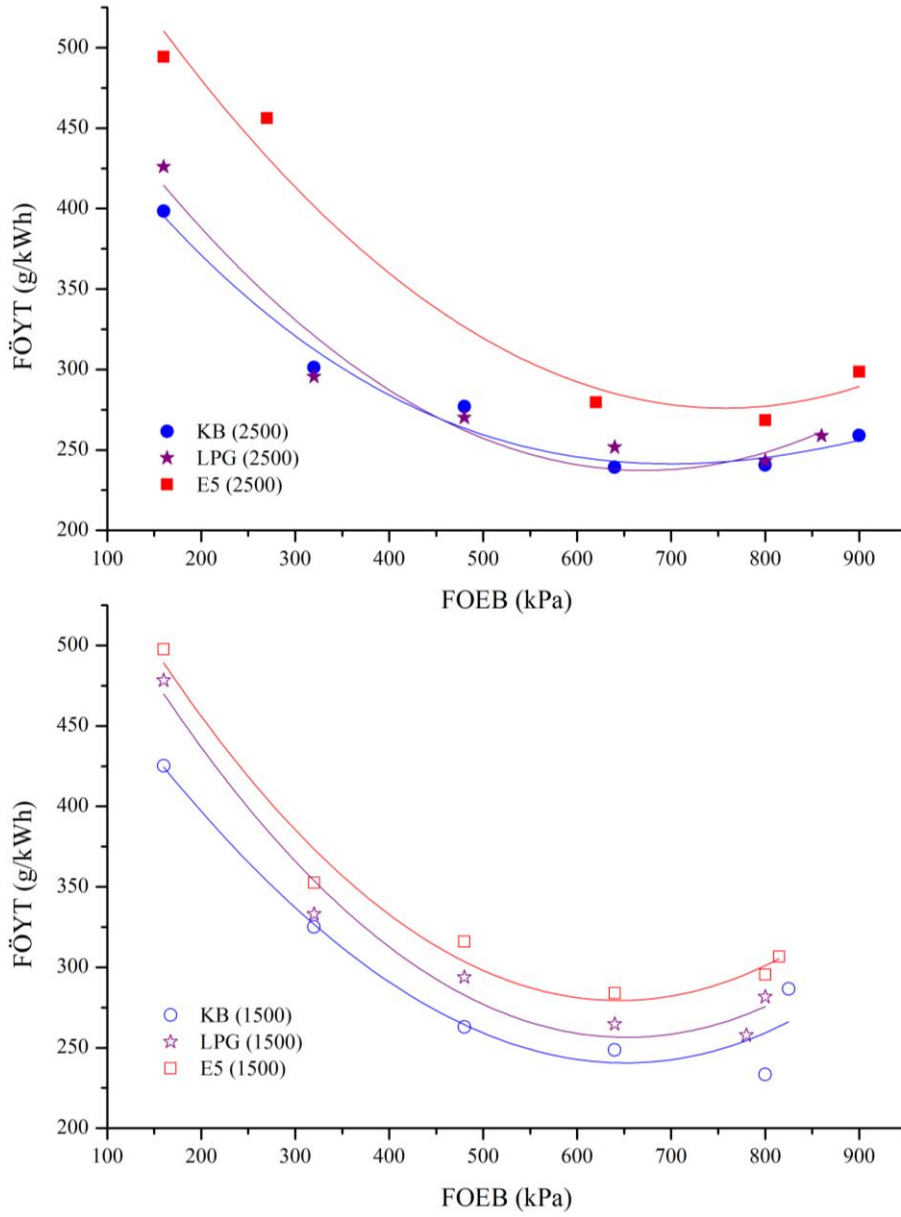
Konvertör öncesindeki NO emisyonu KB ile karşılaştırıldığında E5 yakıtında ortalama olarak %59,4, LPG kullanımında ise %37,2 artış göstermiştir. Motorun daha fakir çalışması bu artışlarda etkili olmaktadır. Dönüştürme verimleri karşılaştırıldığında ortalama olarak KB, E5 ve LPG için sırasıyla %98,6, %96,1 ve %95,1 olarak elde edilmiştir. Yapılan deneylerde katalitik konvertörün CO ve HC emisyonunun dönüştürebilmesi için hava/yakıt oranının fakirleşmesi gerekirken, NO emisyonu için ise; zengin karışımların daha avantajlı olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.5. Motor devrine bağlı olarak deney yakıtlarıyla elde edilen NO değişimleri

KB, LPG ve E5 yakıtlarının kısmi yüklerde motor performansı, egzoz emisyonları ve katalitik konvertörün çalışmasına olan etkileri 1500 d/d ve 2500 d/d motor devirlerinde incelenmiştir. Kısmi yük çalışmasında kurşunsuz benzin ile yapılan deneylerin ardından elde edilen çeşitli yüklerdeki HFK'ye bağlı olarak LPG ile yapılan çalışmada da aynı yüklerde aynı HFK değerlerinde motorun çalışması için deneylerde hava/yakıt oranı ayarlanmıştır. LPG ile yapılan çalışmada amaç KB ile aynı HFK değerlerinde motor performansı ve katalitik konvertör veriminin karşılaştırılmasıdır. E5 yakıtı ile yapılan deneylerde motorda herhangi bir değişiklik yapmaksızın etanolün fakirleştirici etkisinin görülmesi amaçlanmıştır.

Şekil 4.6'da 1500 ve 2500 d/d motor devirlerinde deney yakıtlarıyla motor yüküne bağlı olarak elde edilen FÖYT değişimleri görülmektedir. Her iki devirde tam gaz kelebek açıklığında (%100 GKA) Fren Ortalama Efektif Basıncı (FOEB) KB ve E5 için birbirine çok yakın olduğu ancak LPG kullanımında kurşunsuz benzine kıyasla 1500 d/d'de FOEB'nin %5,7, 2500 d/d'de ise; %3,96 azaldığı tespit edilmiştir. Grafik incelendiğinde kısmi yüklerde deney motoru LPG ile istenilen yüklerde çalıştırılabilmektedir. Deney yakıtları ile aynı yük noktalarındaki ölçüm sonuçlarına göre, 1500 d/d motor devrinde özgül yakıt tüketimi KB'ye kıyasla LPG kullanımında ortalama %8,7, E5'te ise, %17,3 artış göstermiştir. 2500 d/d motor devrinde ise LPG'de %1,8 ve E5'te %17,5 artış olduğu görülmüştür. LPG kullanımında motor performansının azalması ve etanolün E5 yakıtının ısıl değerini azaltıcı etkisi eşdeğer güç için daha fazla yakıt tüketilmesine neden olmaktadır.



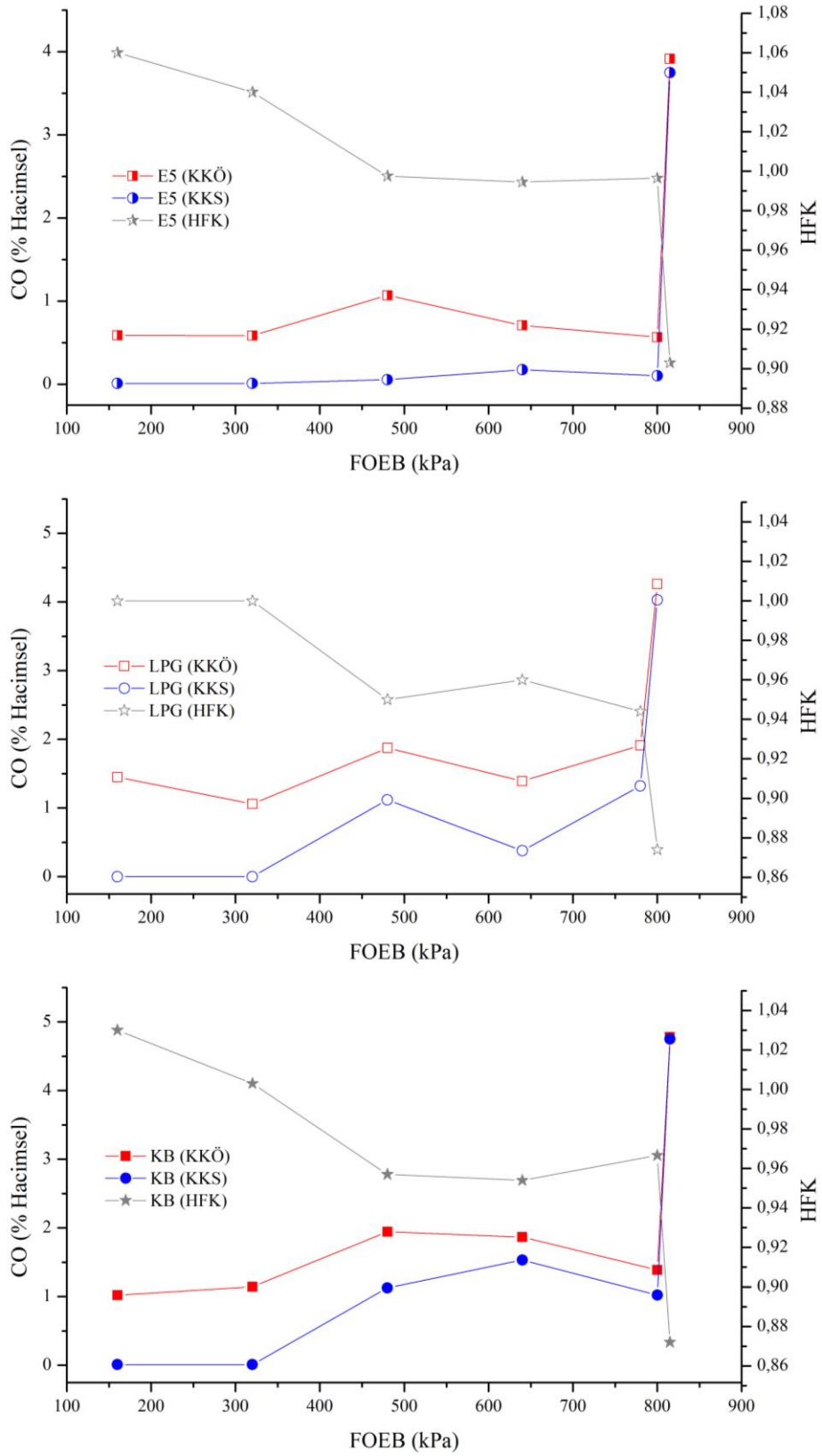
Şekil 4.6. Motor yüküne bağlı olarak deney yakıtlarıyla elde edilen FÖYT değişimleri

1500 ve 2500 d/d motor devirlerinde motor yüküne bağlı olarak CO emisyonunun değişimi Şekil 4.7 ve 4.8'de görülmektedir. Her iki devirde de KB ve LPG yakıtlarında HFK'nin hemen hemen aynı aralıkta ve benzer şekilde değiştiği görülmektedir. LPG'li çalışmada amaç kurşunsuz benzin ile aynı çalışma şartlarını sağlamak olduğundan hava/yakıt oranı aynı HFK değerini sağlayacak şekilde ayarlanmıştır. LPG yakıtının kullanıldığı 1500 d/d motor devrinde ve kısmi yüklerde

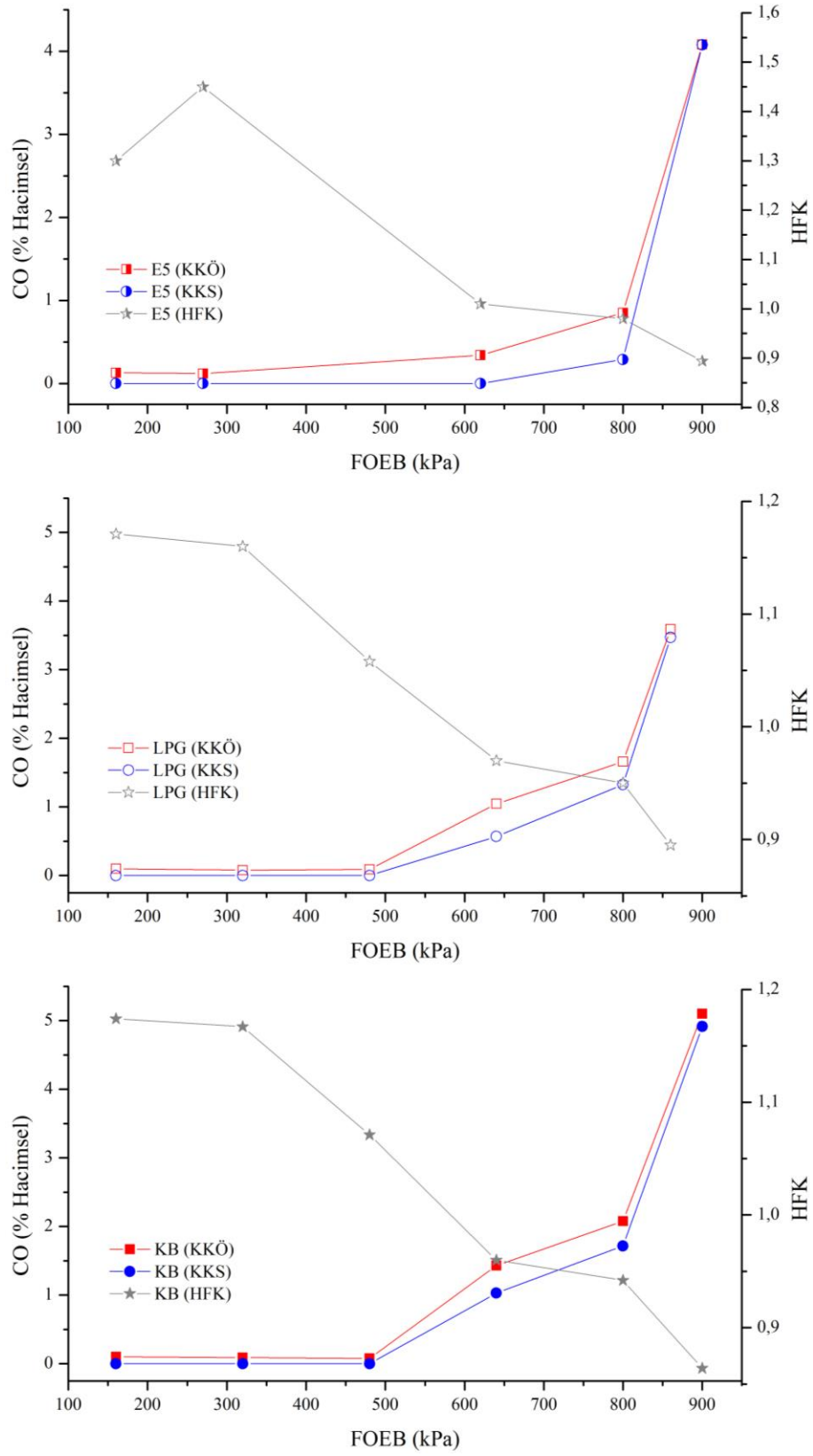
HFK benzine göre ortalama %1,13 değişirken, 2500 d/d motor devrinde bu değişim %0,036 olarak gerçekleşmiştir. Konvertör öncesindeki CO emisyonu değerleri karşılaştırıldığında HFK'nin kurşunsuz benzinli çalışmadakine daha uyumlu olduğu 2500 d/d motor devrinde LPG ile kısmi yüklerde ortalama %9,1 azalma olduğu görülmüştür. % 100 GKA'nın dışındaki kısmi yüklerde KB ile 1500 d/d motor devrinde HFK 0,954-1,03 aralığında değişirken, 2500 d/d'de motor genelde daha fakir çalışarak HFK 0,942-1,174 aralığında değişmiştir. Bu çalışma şekli E5 ile yapılan deneyleri etkileyerek 1500 d/d'de konvertör öncesindeki CO emisyonunun 2500 d/d'ye göre daha fazla azalmasını (ortalama %45,9) sağlamıştır. Motorun daha fakir hava/yakıt oranlarında çalışması CO emisyonunu düşürdüğünden E5 yakıtının fakirleştirici yönünün emisyon üzerindeki etkisini aynı oranda sağlayamamaktadır. Konvertör veriminin HFK'ye bağlı olarak değiştiği her üç deney yakıtında da tespit edilmiştir. Kısmi yüklerde HFK'ye bağlı olarak 1500 d/d motor devrinde KB'de %17,84-%99,12, E5'te %75,28-%98,3, LPG'de %30,97-%100, 2500 d/d'de KB'de %17,45-%100, E5'te %65,92-%100, LPG'de %20,18-%100 aralığında değişmiştir.

Şekil 4.9 ve 4.10'da kullanılan deney yakıtlarına göre 1500 ve 2500 d/d motor devirlerinde kısmi yüklerde HC emisyonunun değişimi görülmektedir. Deney yakıtlarından KB ve LPG'ye bağlı olarak her iki motor devrinde HC emisyonunun değişimi ve katalitik konvertör etkinliğinin benzer bir değişim gösterdiği grafiklerde görülmektedir. HC emisyonu çeşitli motor yüklerinde motorun çalıştığı hava/yakıt oranına bağlı olarak değişim göstermiştir. Konvertör verimi KB'de en yüksek % 52,3 olarak 1500 d/d motor devrinde elde edilirken, LPG'de ise yine aynı devirde % 66,6 olduğu tespit edilmiştir. E5 yakıtıyla çalışmada etanolün fakirleştirici etkisiyle nedeniyle motorun KB'ye göre daha fakir oranlarda çalışması konvertör öncesi HC'lerin azalmasında etkili olmuştur. 1500 d/d motor devrinde hidrokarbonlar E5 yakıtı ile ortalama %18,3, 2500 d/d'de ise; %36,2 azalmıştır. E5 ile çalışma konvertör veriminin de %70,4'e (2500 d/d motor devrinde) kadar yükselmesini sağlamıştır.

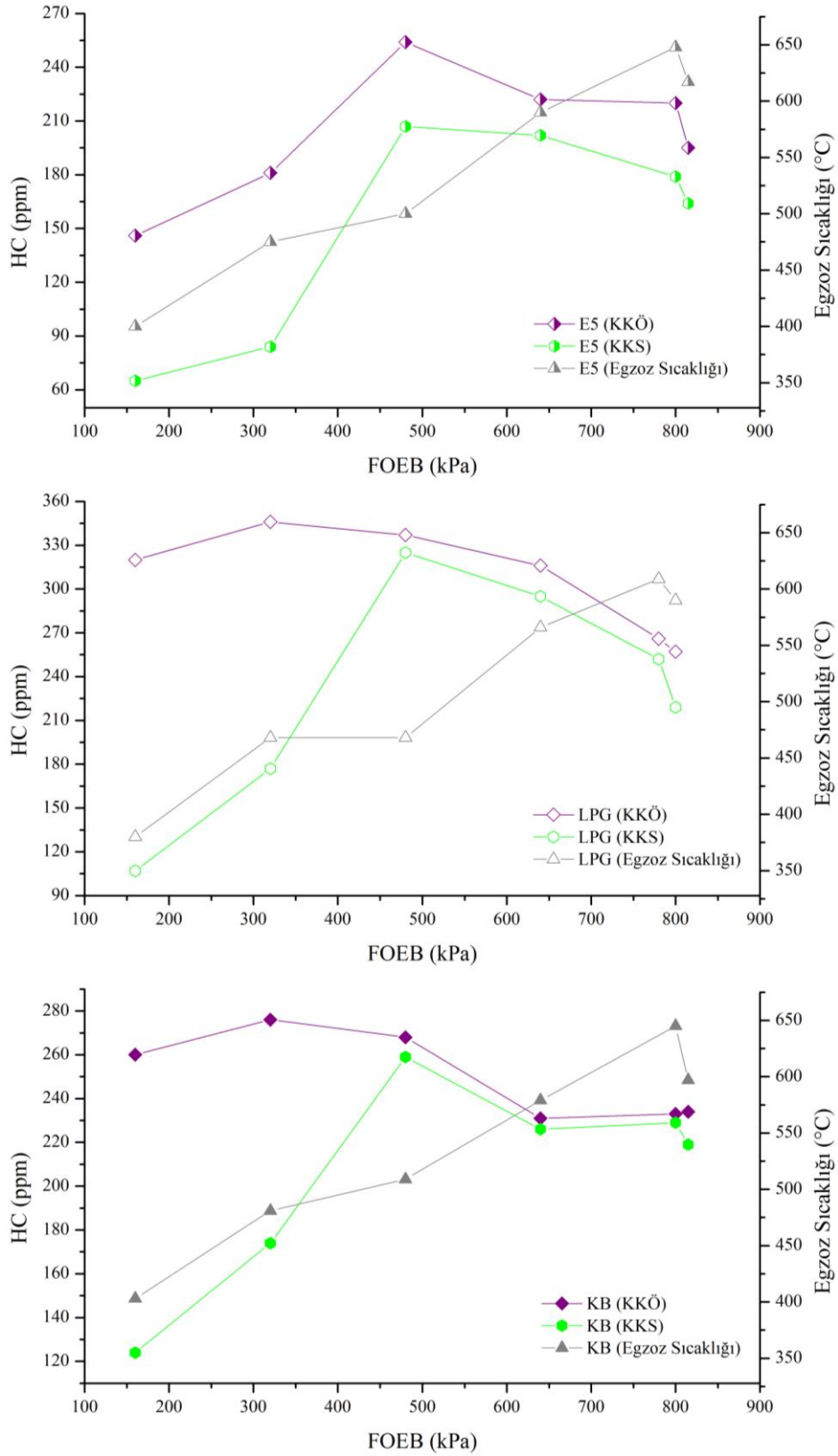
NO emisyonunun kısmi yüklerde değişimi Şekil 4.11 ve 4.12’de yer almaktadır. NO emisyonu diğer emisyonlar gibi çeşitli yüklerde özellikle HFK değişiminden etkilenmiştir. Hava/yakıt oranının KB’ye göre ayarlandığı LPG’li çalışmada NO emisyonu konvertör öncesinde 1500 d/d’de ortalama %6,2, 2500 d/d %6,3 artış göstermiştir. E5 yakıtında ise; 1500 ve 2500 d/d motor devirlerinde sırasıyla NO ortalama olarak %46,8 ve %22 artış göstermiştir. Katalitik konvertör verimi 1500 d/d’de ortalama olarak KB’de % 85,5, E5’te %71, LPG’de %87,1, 2500 d/d’de ise KB’de 52, E5’te %63,1, LPG’de %49,4 elde edilmiştir.



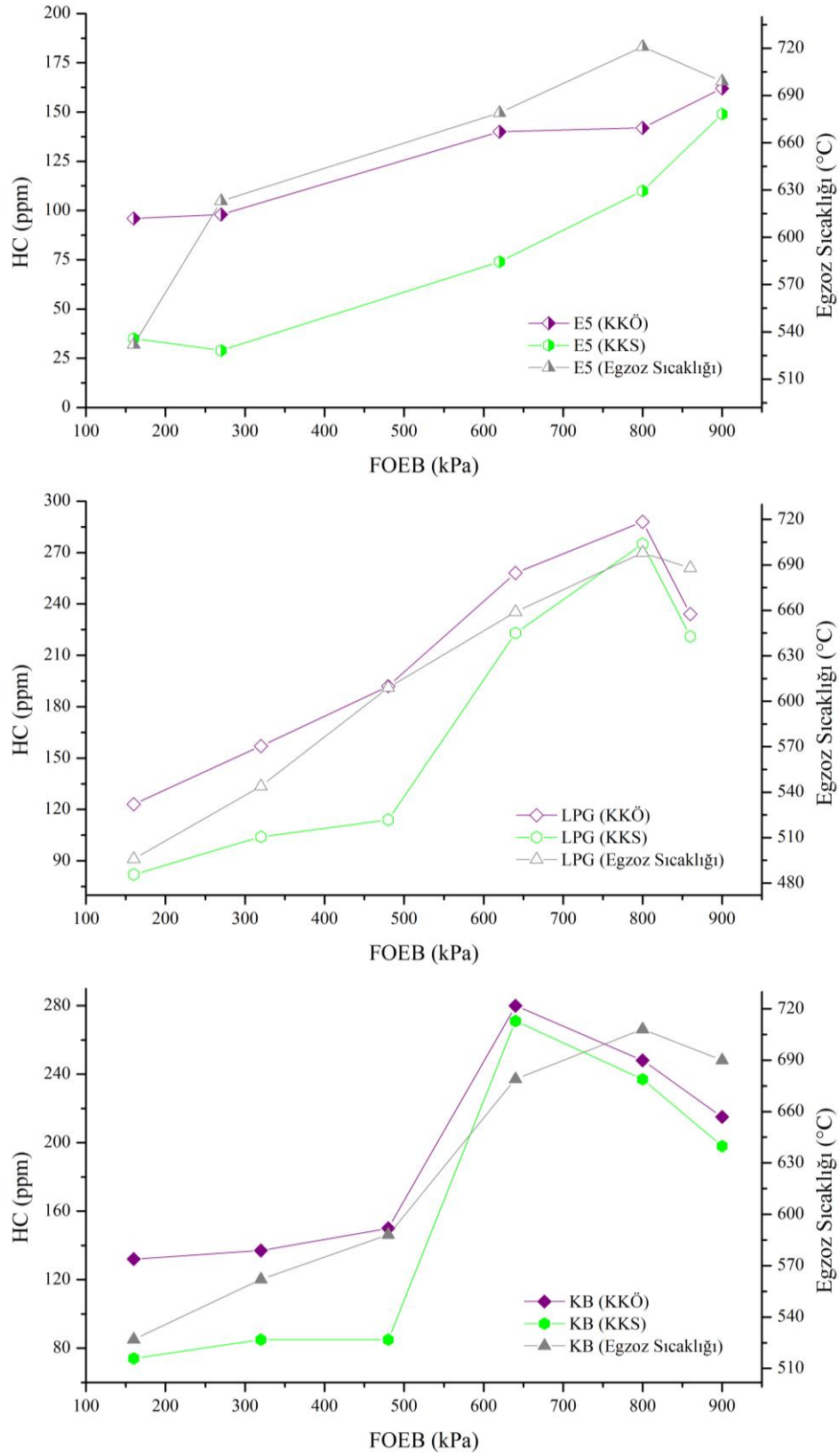
Şekil 4.7. 1500 d/d motor devrinde motor yüküne bağlı olarak CO değişimi



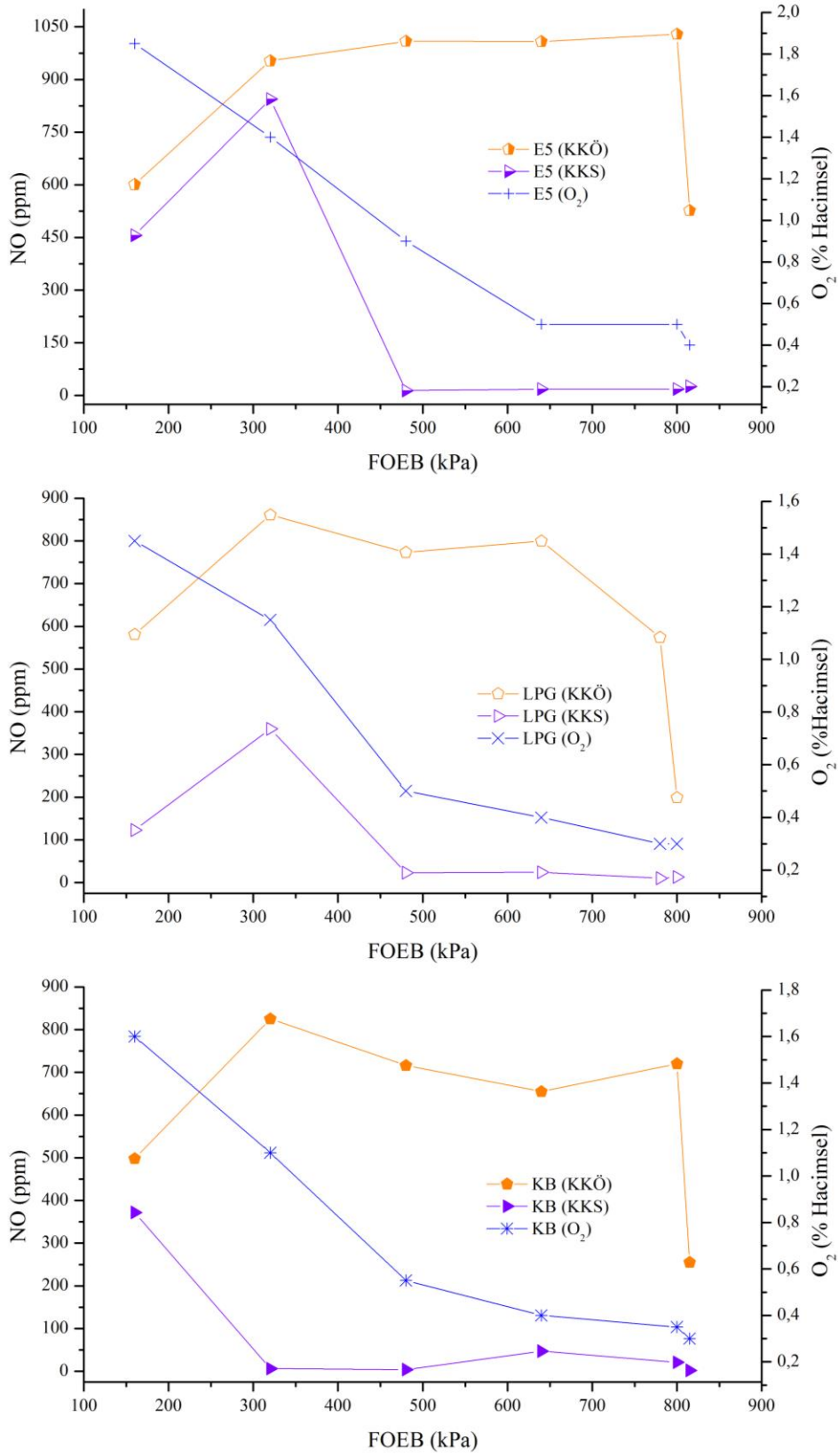
Şekil 4.8. 2500 d/d motor devrinde motor yüküne bağlı olarak CO değişimi



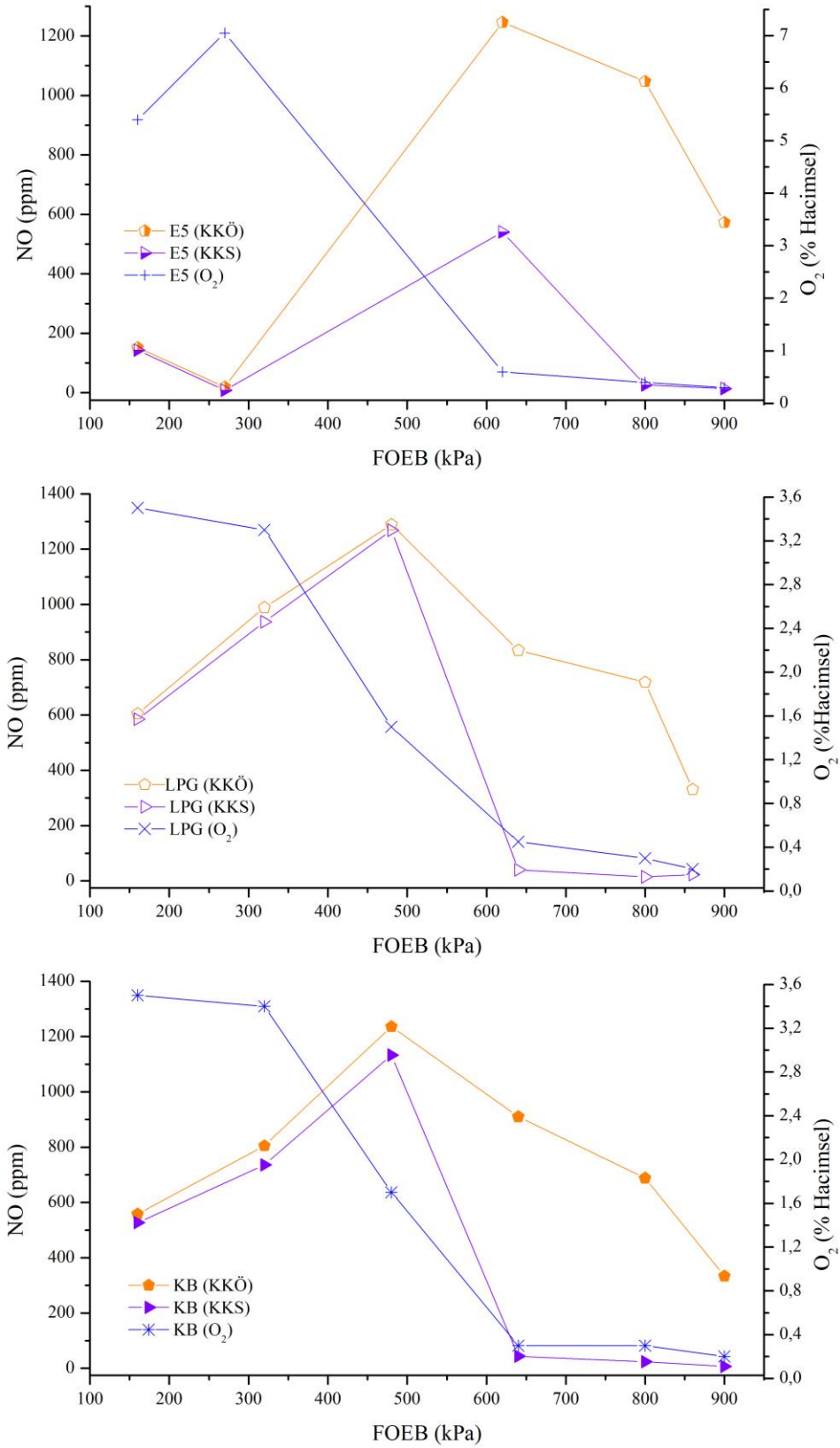
Şekil 4.9. 1500 d/d motor devrinde motor yüküne bağlı olarak HC değişimi



Şekil 4.10. 2500 d/d motor devrinde motor yüküne bağlı olarak HC değişimi

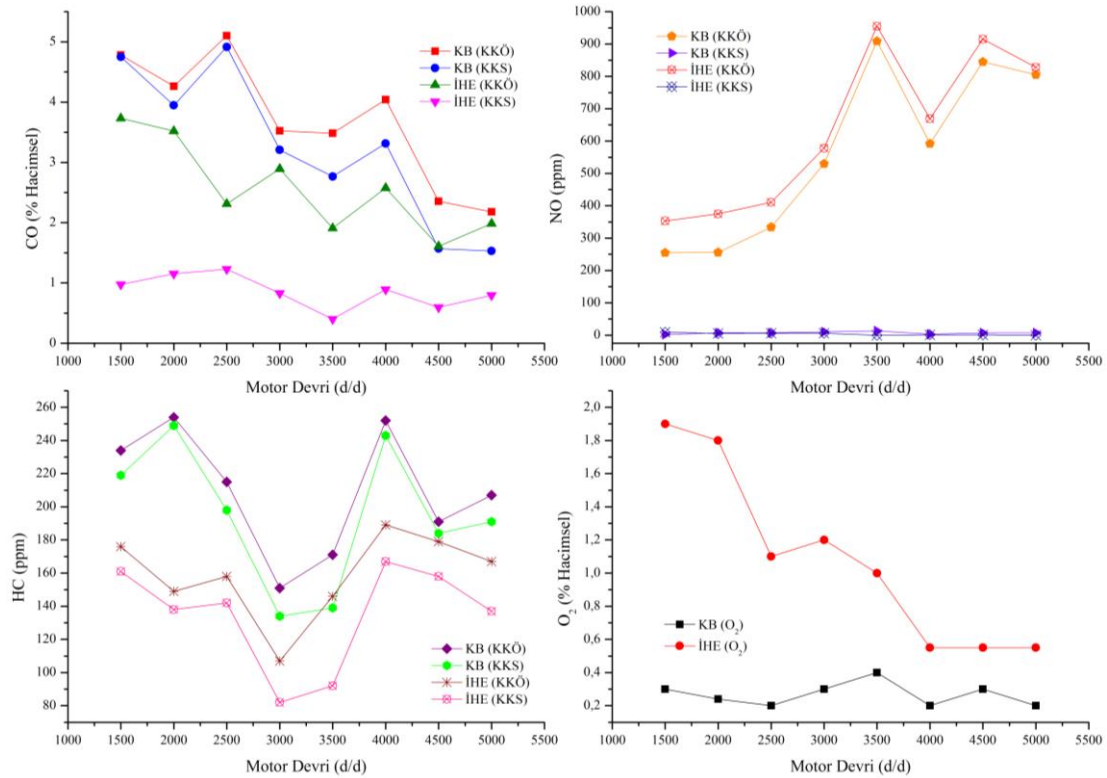


Şekil 4.11. 1500 d/d motor devrinde motor yüküne bağlı olarak NO değişimi



Şekil 4.12. 2500 d/d motor devrinde motor yüküne bağlı olarak NO değişimi

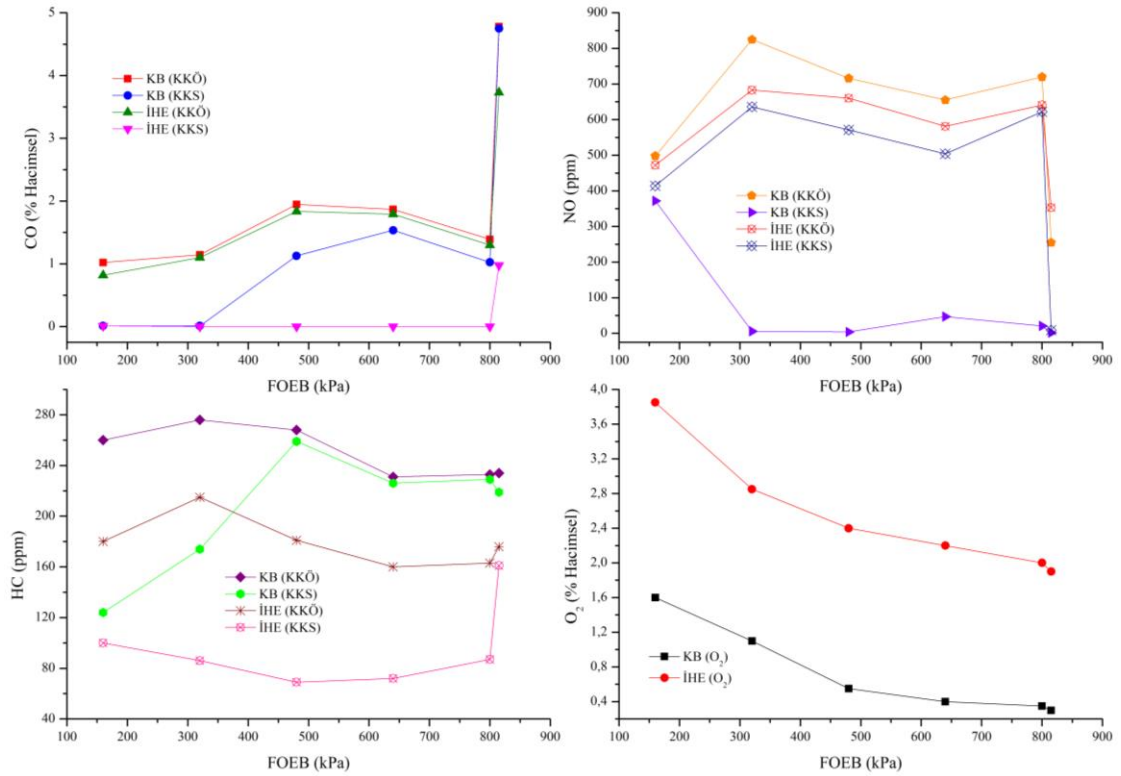
Katalitik konvertörün çalışmasına ikincil hava enjeksiyonunun etkisini incelemek için motor yalnızca kurşunsuz benzinle çalıştırılarak, ikincil hava enjeksiyonu aktif halde iken ve devre dışı bırakılarak elde edilen egzoz emisyon sonuçları Şekil 4.13’de görülmektedir. Egzoz manifolduna uygulanan hava enjeksiyonu ile katalitik konvertör öncesinde ölçülen oksijen konsantrasyonu özellikle düşük motor devirlerinde önemli ölçüde artış göstermektedir. Bunun sonucu olarak konvertör öncesinde CO emisyonu ortalama olarak %29,3 azalmıştır. HC emisyonundaki düşüş ortalama %23,4 olarak elde edilmiştir. Ayrıca konvertör öncesindeki oksijen konsantrasyonunun ikincil hava enjeksiyonu aktif iken çok daha yüksek olması konvertörün özellikle CO ve HC emisyonlarını daha etkin bir şekilde dönüştürebilmesini sağlamıştır. Konvertör sonrasında CO emisyonu ortalama olarak %71 ve HC %30,7 azalmıştır. İkincil hava enjeksiyonu NO emisyonunu iyileştirici bir etki sağlayamamıştır. Bununla birlikte katalitik konvertörün NO emisyonunu dönüştürme etkisini de olumsuz etkilememiştir.



Şekil 4.13. İkincil hava enjeksiyonunun egzoz emisyonlarına etkisi

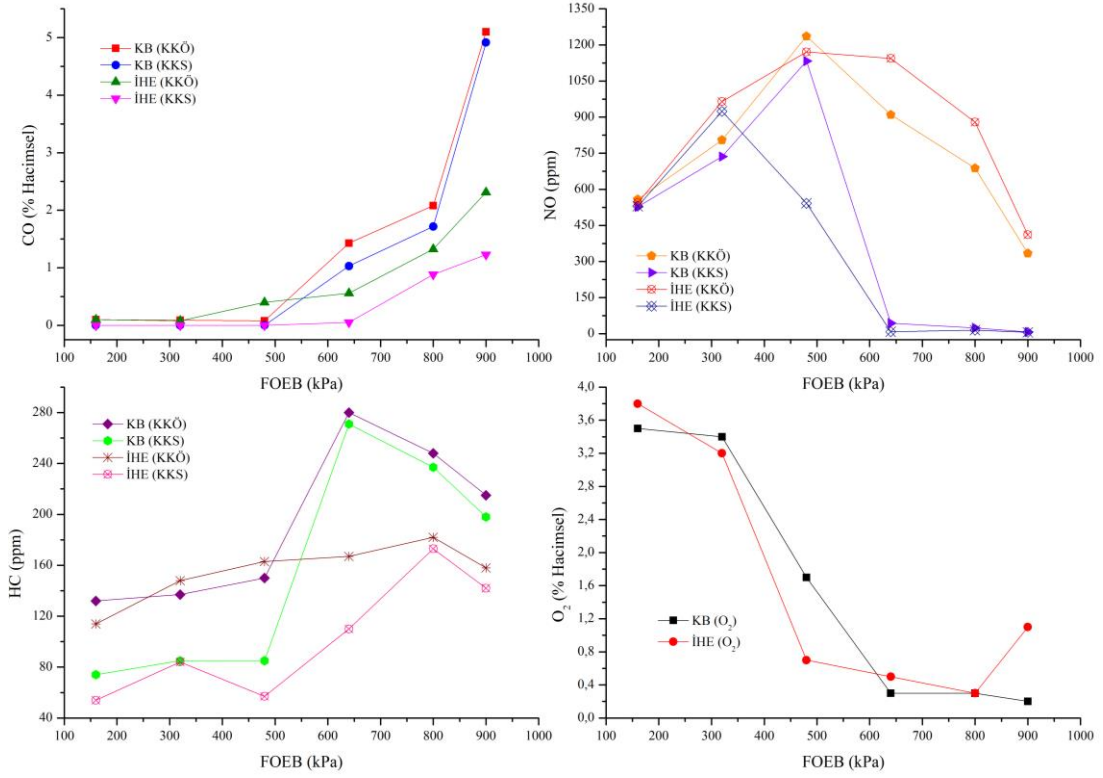
İkincil hava enjeksiyonunun kısmi yüklerde etkisini görebilmek amacıyla 1500 ve 2500 d/d motor devirlerinde kurşunsuz benzin kullanılarak, ikincil hava enjeksiyonu aktif halde iken ve devre dışı bırakılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.14 ve 4.15’de görülmektedir.

1500 d/d motor devrinde motor yüküne bağlı olarak CO ve HC emisyonlarının değişimleri incelendiğinde ikincil hava enjeksiyonunun önemli miktarda emisyonlarda iyileşme sağladığı anlaşılmaktadır. Kısmi yüklerde elektronik kontrol ünitesi motorun tam yüke göre daha fakir karışımlarda çalışmasını temin eder. Bu nedenle konvertör öncesindeki CO emisyonları azalmaktadır. Bu nedenle ikincil hava enjeksiyonu devredeyken tam yükteki kadar emisyonlarda azalma olmadığı görülmüştür. Konvertör öncesinde CO emisyonu ortalama olarak ikincil hava enjeksiyonuyla %10,3 iyileşme kaydetmiştir. Ancak konvertör sonrasındaki CO emisyonu ikincil hava enjeksiyonuyla ortalama olarak %79,9 azalmıştır. HC ise; ikincil hava enjeksiyonu aktif iken konvertör öncesinde %28,5, konvertör sonrasında ise %50 azalmıştır. NO emisyonu ikincil hava enjeksiyonu aktif iken egzoz gazı içerisindeki ekstra oksijen konsantrasyonundan olumsuz bir şekilde etkilenmektedir. Katalitik konvertörün NO emisyonunu dönüştürme verimi ortalama olarak %85,5 iken ikincil hava enjeksiyonu aktifken ortalama olarak %24,3’e gerilediği anlaşılmıştır.



Şekil 4.14. 1500 d/d motor devrinde motor yüküne bağlı olarak ikincil hava enjeksiyonunun egzoz emisyonlarına etkisi

2500 d/d motor devrinde motor yüküne bağlı olarak emisyonlar, 1500 d/d motor devrindeki gibi motorun çalışma stratejisinden etkilendiği görülmektedir. Düşük motor yüklerinde daha fakir hava/yakıt oranlarında çalışma nedeniyle ikincil hava enjeksiyonu yeterince etkili olamamaktadır. Fakir hava/yakıt oranlarında CO ve HC emisyonları azalmaktadır. Bu durum nedeniyle egzoz sistemine ilave hava vermek yeterince avantajlı olamamaktadır. Tam yüke yakın kısmi yüklerde ise, motorun nispeten zengin çalışması ikincil hava enjeksiyonunun emisyonlar üzerinde daha etkili olmasını sağlamaktadır. İkincil hava enjeksiyonu ile konvertör verimi ortalama olarak CO emisyonunda %58,2'den %78,5'e HC emisyonunda %23,5'den %35'e ve NO emisyonunda %52'den %59,4'e artış göstermiştir.



Şekil 4.15. 2500 d/d motor devrinde motor yüküne bağlı olarak ikincil hava enjeksiyonunun egzoz emisyonlarına etkisi

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan deneysel çalışmalarda kurşunsuz benzin, LPG ve kurşunsuz benzin içerisine hacimsel olarak %5 katılan etanol (E5) yakıtları kullanılmıştır. Her üç yakıtın motor devrine ve motor yüküne bağlı olarak motor moment, efektif güç ve fren özgül yakıt tüketimi (FÖYT) ile egzoz emisyonları (CO, HC, NO) ve katalitik konvertörün çalışmasına olan etkileri incelenmiştir. Ayrıca yapılan çalışmada motorda sadece kurşunsuz benzin kullanılarak, ikincil hava enjeksiyonunun egzoz emisyonlarına ve katalitik konvertörün çalışmasına etkisi araştırılmıştır.

İki aşamada gerçekleştirilen deneylerde motor, tam yükte ve kısmi yüklerde çalıştırılmıştır. Tam yükteki deneyler, 500 d/d aralıklarla 1500-5000 d/d motor devirleri arasında, kısmi yükteki çalışmalar ise; 1500 d/d ve 2500 d/d motor devirlerinde gerçekleştirilmiştir. Tam ve kısmi yüklerde E5 yakıtı ile yapılan çalışmalarda motorda herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Tam yükteki deneylerde E5 yakıtı ile kurşunsuz benzin değerleri karşılaştırıldığında motor moment arasında dikkate değer bir değişim olmadığı görülmüştür. Motor lamda kontrollü ve tek nokta yakıt enjeksiyon sistemine sahip olduğu için E5 yakıtı kullanılırken, motor kontrol ünitesinin enjeksiyon miktarını artırması performans kaybını önlemiştir. Ancak E5 yakıtında FÖYT kurşunsuz benzine göre ortalama olarak %6,02 artmıştır. LPG yakıtı ile kurşunsuz benzinin motor performansına olan etkileri incelendiğinde LPG yakıtı ile yapılan deneylerde efektif güç ortalama olarak %5,49 azalmıştır. LPG kullanımında kurşunsuz benzin ile elde edilen lamda değerlerine uygun olarak motorun çalıştırılması hedeflenmiştir. Bununla birlikte yüksek devirlerde LPG'li çalışmada motor bir miktar fakir çalışmıştır. LPG'nin kütleli bazda ısıl değerinin benzinden daha yüksek olması ve yüksek devirlerde nispeten fakir çalışması FÖYT değerlerinin benzine göre ortalama olarak %4,81 daha düşük çıkmasına neden olmuştur.

KB, LPG ve E5 yakıtlarıyla kısmi yük deneylerinde motor, 1500 d/d ve 2500 d/d motor devirlerinde çalıştırılmıştır. LPG ile yapılan çalışma, kurşunsuz benzin ile

yapılan deneylerin ardından gerçekleştirilmiştir. LPG ile yapılan çalışmada amaç, KB ile aynı HFK değerlerinde motor performansı ve katalitik konvertör veriminin karşılaştırılması olduğundan KB ile elde edilen çeşitli yüklerdeki HFK'ye bağlı olarak aynı yüklerde aynı HFK değerlerinde motorun çalışması için LPG'li deneylerde hava/yakıt oranı buna göre ayarlanmıştır. E5 yakıtı ile yapılan deneylerde etanolün fakirleştirici etkisinin görülmesi amaçlandığından motorda herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Aynı yükte motorun çalıştırılması için LPG ve E5 yakıtlarında daha fazla yakıtı ihtiyaç duyulmuştur. Bunun sonucu olarak 1500 d/d motor devrinde fren özgül yakıt tüketimi KB'ye kıyasla LPG kullanımında ortalama %8,7, E5'te ise, %17,3 artış göstermiştir. 2500 d/d motor devrinde ise; LPG'de %1,8 ve E5'te %17,5 artış olduğu görülmüştür. Motor performansının LPG kullanımında azalması ve E5 yakıtının ısı değeri düşük olması bu artışlara neden olmaktadır.

Tam yük ve kısmi yük deneylerinde deney yakıtlarıyla (KB, LPG ve E5) elde edilen egzoz emisyonları özellikle motorun çalışma koşullarına bağlı olarak değişen hava/yakıt oranından etkilenmektedir. Katalitik konvertörün egzoz emisyonlarını dönüştürebilme yeteneği de hava/yakıt oranına bağlı olarak değişim göstermektedir. Motorun zengin karışım oranlarında çalıştığı noktalarda CO ve HC emisyonları hızla artış göstermekte ve konvertördeki dönüşüm azalmaktadır. Bu emisyonların aksine NO emisyonu bu çalışma koşullarında azalmakta ve konvertördeki dönüşüm ise; artış göstermektedir. Kısmi yüklerde ise; motorun stokiometrik hava/yakıt oranından daha fakir karışım oranlarında çalıştığı noktalarda egzoz emisyonlarında tam tersi bir değişim elde edilmiştir. CO ve HC emisyonları açısından katalitik konvertör veriminin artması egzoz gazı içerisindeki O₂ miktarının yüksek olmasına, NO emisyonu için ise; düşük olmasına bağlı olduğu görülmüştür. Zira CO ve HC emisyonlarının okside olabilmesi için ortamda yeterli miktarda oksijene ihtiyaç vardır. NO emisyonunun indirgenmesi için ise ortamdaki oksijen miktarının düşük olmasına gerek vardır.

Motor devrine bağlı olarak tam yükte yapılan deneylerde CO emisyonu için en yüksek konvertör verimi KB ile 4500 d/d motor devrinde ($\lambda=0,94$) % 33,3, E5

yakıtında yine aynı devirde ($\lambda=0,957$) verim % 45,6, HC emisyonu için en yüksek katalitik konvertör verimi 3500 d/d motor devrinde LPG kullanımında %33,1 ($\lambda=0,984$) olarak elde edilmiştir. Tam yükte motorun zengin karışım oranlarında çalışması CO ve HC emisyonları için konvertör veriminin düşük olmasına neden olurken; NO emisyonu için dönüştürme verimleri karşılaştırıldığında ortalama olarak KB, E5 ve LPG için sırasıyla %98,6, %96,1 ve %95,1 olduğu görülmüştür.

İkincil hava enjeksiyonunun katalitik konvertöre etkisini incelenmek için motor, sadece KB ile çalıştırılmıştır. Egzoz manifolduna uygulanan ikincil hava enjeksiyonu devredeyken ve devre dışındayken egzoz emisyon değerleri ölçülmüştür. İkincil hava enjeksiyonu devredeyken katalitik konvertör öncesinde özellikle düşük motor devirlerinde oksijen konsantrasyonunun büyük ölçüde arttığı görülmüştür. Oksijen konsantrasyonunun artmasıyla konvertör CO ve HC emisyonlarını etkili bir şekilde dönüştürebilmektedir. Tam yükte motor devrine bağlı olarak yapılan deneylerde konvertör öncesinde CO emisyonu ortalama olarak %29,3, HC emisyonu ise; ortalama %23,4 azalmıştır. Ayrıca konvertörün özellikle CO ve HC emisyonlarını daha etkin bir şekilde dönüştürebilmesini sağlamıştır. Bununla birlikte ikincil hava enjeksiyonu NO emisyonu üzerinde iyileştirici bir etki sağlayamamıştır. Kısmi yüklerde ise; motorun tam yüke göre daha fakir karışım oranlarında çalışması ikincil hava enjeksiyonu devredeyken tam yükteki kadar CO ve HC emisyonlarında azalma sağlayamamıştır. 1500 d/d motor devrinde kısmi yük deneylerinde konvertör öncesinde CO emisyonu ortalama olarak ikincil hava enjeksiyonuyla %10,3 iyileşme kaydetmiştir. Ancak konvertör sonrasındaki CO emisyonu ikincil hava enjeksiyonuyla ortalama olarak %79,9 azalmıştır. HC ise; ikincil hava enjeksiyonu aktif iken konvertör öncesinde %28,5, konvertör sonrasında ise %50 azalmıştır.

Bu çalışmada buji ile ateşlemeli motorlar için kurşunsuz benzine alternatif olarak kullanılan LPG ve E5 yakıtlarından E5 ile motor performansında herhangi bir kayıp olmaksızın egzoz emisyonlarının (CO ve HC emisyonları) azalması ve katalitik konvertör veriminin artması bu yakıtın avantajlı yönlerini oluşturmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Bayraktar, H., Benzin etanol karışımlarının benzin motorlarında yanma ve motor çevrimi üzerindeki etkilerinin teorik olarak incelenmesi, Doktora Tezi, **Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Trabzon, (1997)
2. Çetin M., Yüksel F., “LPG yakıtlı taşıtlarda yakıt ayarsızlığından kaynaklanan emisyon kirliliği”, **8th International Combustion Symposium**, Ankara, (2004)
3. Özsezen, A., N., Eyidoğan, M., Türkcan, A., Alptekin, E., Şanlı, A., Çanakcı, M., Kılıçaslan, İ., “Binek tipi bir taşıtta katalitik konvertör veriminin deneysel olarak incelenmesi”, **Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi**, 1 (1): 1-7 (2009)
4. Ültanir, M.Ö., “Temiz enerji olarak hidrojen yakıtı ve teknolojisi”, 7.Enerji Kongresi, **Teknik Oturum Tebliğleri**, Ankara, (1997)
5. Çalık, A.T., Arslan, H., Soruşbay, C.,” Benzin motorlu taşıtlarda lpg kullanımının egzoz gazları emisyonuna etkisi”, **LPG ve Uygulamaları Konferansı**, İstanbul, 67-75 (1999)
6. Bayraktar, H., Durgun O., “Buji ateşlemeli motorlar için alternatif yakıtların teorik değerlendirilmesi ve pratik kullanılabilirliği”, **Mühendis ve Makine Dergisi**, 45 (533): 1-10 (2003)
7. Gündoğan, K., Alternatif yakıtların benzinli motor performansı üzerine etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, **Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kırıkkale,1-5 (2005)
8. Çelik, B., Çolak, A., “Buji ateşlemeli bir motorda alternatif yakıt olarak saf etanolün kullanılması”, **Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.**, 23 (3): 619-626 (2008)
9. Ergün, M., İyınam, F.A., İyınam, Ş., “Daha temiz bir çevre için kent içi ulaşımın planlanması” , II. Ulaşım ve Trafik Kongresi Bildiriler Kitabı, 242, **Türkiye Makine Mühendisleri Odası**, 382-391 (1999)
10. Sher, E., “Handbook of Air Pollution from Internal Combustion Engines Pollutant Formation and Control”, **Academic Pres**, New York, 559-603-609 (1998)
11. Bechtold, R., L., “Alternative Fuels Guidebook”, **Society of Automotive Engineers**, Warrendale, USA, 48-53 (1997)
12. Ögüt, H., Kuş, R., “Motorlu taşıtlarda alternatif yakıt kullanımı”, **II. Ulaşım Ve Trafik Kongresi – Sergisi**, Ankara, 149-161 (1999)

13. Kosaric, N., Pieper, H.J. and Vardar-Sukan, "Roehr Bioteknoloji Of Ethanol", **Wiley-Vch Verlag Gmbh**, The Biotechnology of Ethanol Clasical and Future Applications, Weinheim, 206-207 (2001)
14. Szwaja, S., Naber, J.D., Combustion of n-butanol in a spark-ignition IC engine, **17th International Symposium on Alcohol Fuels**, 89 (7): 1573-1582 (2010)
15. Schafer, F., Basshuysen R., V., "Reduced Emissions and Fuel Consumption in Automobile Engines", **SAE International**, New York, 125-127 (1995)
16. Öztürk, R., "Büyük hacimli LPG tanklarının teknik ve ekonomik analizi", **Türkiye Makine Mühendisleri Odası Dergisi**, 207: 11-18 (2003)
17. İnternet: Türkiye İstatistik Kurumu "2009 Motorlu Kara Taşıtlar İstatistikleri" http://www.tuik.gov.tr/Kitap.do?metod=KitapDetay&KT_ID=15&KITAP_ID=72 (2009)
18. İnternet: Türkiye İstatistik Kurumu "2012 Motorlu Kara Taşıtlar İstatistikleri" http://www.tuik.gov.tr/Kitap.do?metod=KitapDetay&KT_ID=15&KITAP_ID=72 (2012)
19. Acaroğlu, M., Ünaldı, M., Aydoğan, H., "Yakıtlar ve Yanma", **Türkiye Makine Mühendisleri Odası Birliği**, Ankara, 113-115, 119-120 (2010)
20. Lee, S., Oh, S., Choi, Y. and Kang, K., "Effect of n-Butane and propane on performance and emission characteristics of an SI engine operated with DME-blended LPG fuel", **Fuel**, 90 (4): 1674-1680 (2011)
21. Çakar, A., E., Ulusal Yangın Sempozyumu Bildiriler Kitabı, "Motorlu araçlarda LPG dönüşümleri ve güvenlik önlemleri", 207, **Türkiye Makine Mühendisleri Odası Birliği**, Mersin, 153-164 (1997)
22. Cırgaoğlu, T., LPG Otogaz Sempozyumu Bildiriler Kitabı, "LPG ve uygulamaları mevzuatı", **Türkiye Makine Mühendisleri Odası Birliği**, İstanbul, 79-83 (2010)
23. Ergeneman, M., Soruşbay, C., "Benzin Motorlu Taşıtların LPG Kullanımına Dönüşümü", Mühendis ve Makina. MMO, **Türkiye Makine Mühendisleri Odası Birliği**, 37 (441), 25-30 (1996)
24. İnternet: Yakıt enjeksiyonlu bir motorda LPG dönüşümünde kullanılan ekipmanlar, <http://viallelpgdonusum.com/lbfi.html> (2013)
25. Ayhan, M., Sekmen, P., "Buji ateşlemeli tek silindirli bir motorda doğalgazın alternatif yakıt olarak kullanılması", **5. Uluslar arası İleri Teknolojiler Sempozyumu (İATS'09)**, Karabük, (2009)

26. Ayvaz, Z., “Güneş ışığıyla deniz suyundan hidrojen üretilmesi”, *Ekoloji Dergisi*, 24: 4-5 (1997)
27. Öztürk, M., Özek, N ve Yakut, A., K., “Güneş Hidrojen Üretim Metotlarının İncelenmesi”, *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, Elazığ,231-237 (2011)
28. Yalçın, A., H., “Nükleer enerji ile hidrojen üretimi ve küresel ısınmaya etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2006)
29. Veziroğlu, T., N., Noyan, Ö., F., “21. Yüzyılın Enerjisi; Hidrojen Enerji Sistemi” *Türkiye Makine Mühendisleri Odası Birliği*, 41-64 (2003)
30. Hu, E., Huang, Z., Liu, B., Zheng, J. And Gu, X., “Experimental study on combustion characteristics of a spark-ignition engine fueled with natural gas–hydrogen blends combining with EGR”, *International Journal of Hydrogen Energy*, 34 (2): 1035-1044 (2009).
31. Huang, B., Hu, E., Huang, Z., Zheng, J., Liu, B., Jiang, D., “Cycle-by-cycle variations in a spark ignition engine fueled with natural gas–hydrogen blends combined with EGR” *International Journal of Hydrogen Energy*, 34 (19): 8405-8414 (2009)
32. Bauer, C., G., Forest T., W., “Effect of hydrogen addition on the performance of methane-fueled vehicles. Part II driving cycle simulations” *International Journal of Hydrogen Energy*, 26 (1): 71-90 (2001)
33. He, B., Q., Wang, J., X., Hao, J., M., Yan, X., G., Xiao, J., H., “A study on emission characteristics of an EFI engine with ethanol blended gasoline fuels” *Atmospheric Environment*, 37: 949-957 (2003)
34. Baghdadi, Al, R., S., Abdul M., “A study on the hydrogen-ethyl alcohol dual fuel spark ignition engine” *Energy Conversion and Management*, 43: 199-204 (2002)
35. Hsieh, W., Chen, R., Wu, T. and Lin, T., “Engine performance and pollutant emission of an SI engine using ethanol-gasoline blended fuels”, *Atmospheric Environment*, 36: 403-410 (2002)
36. Irimescu, A., “Performance and fuel conversion efficiency of a spark ignition engine fueled with iso-butanol”, *Applied Energy*, 96: 477-483 (2012)
37. Gu, X., Huang, Z., Cai, J., Gong, J., Wu, X. and Lee, C., “Emission characteristics of a spark-ignition engine fuelled with gasoline-n-butanol blends in combination with EGR”, *Fuel*, 93: 611-617 (2012)

38. Raine., R.,R., Jones G.,M., “Comparison of temperatures measured in natural gas and gasoline fuelled engines”, *Department of mechanical engineering, University of Auckland*, 901503 (1990)
39. Çınar, C., Sekmen, Y., Akbaş, A. ve Balcı, M., “Buji ile ateşlemeli motorlarda kısmi gaz kelebek açıklığında LPG kullanımı üzerine deneysel bir araştırma”, *Teknoloji*, 1-2: 69-74 (2001)
40. Balki, M. K., “Buji ateşlemeli motorda farklı sıkıştırma oranlarında LPG kullanımının performans ve emisyonlara etkisi”, Bilim Uzmanlığı Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı*, Zonguldak, (2005)
41. Güler, Y., “İçten Yanmalı Motorlarda LPG'nin Yakıt Olarak Kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2006)
42. Ciniviz, M., “Dizel motorlarında dizel yakıtı ve LPG kullanımının performans ve emisyonuna etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı*, Konya, (2001)
43. Ceylan, N., Köse, R. ve Arslan, O., “Otomobil motorlarında benzin ve LPG kullanımının egzoz emisyonları açısından deneysel olarak karşılaştırılması”, *8. Uluslararası Yanma Sempozyumu*, Ankara, 294-303 (2004)
44. Atkins, R. D., “An Introduction to Engine Testing and Development”, *SAE International*, Warrendale, PA, USA, 260 (2009)
45. TS 1231, “İçten Yanmalı Motorlar – Muayene ve Deney Esasları”, *Türk Standartları Enstitüsü*, (1991)
46. Gumus, M., “Effects of volumetric efficiency on the performance and emissions characteristics of a dual fueled (gasoline and LPG) spark ignition engine”, *Fuel Processing Technology*, 92: 1862-1867 (2011)
47. Sulaiman, M.Y., Ayob, M. R. and Meran, I., “Performance of single cylinder spark ignition engine fueled by LPG”, *Procedia Engineering*, 53: 579-585 (2013)
48. Masi, M., “Experimental analysis on a spark ignition petrol engine fuelled with LPG (liquefied petroleum gas)”, *Energy*, 41: 252-260 (2012)

EKLER

EK-1 Deneysel Veriler

Çizelge Ek-1.1. Deneysel yakıtlarıyla elde edilen motor performans sonuçları

Motor Devri (d/d)	Motor Momenti (Nm)			Efektif güç (kW)			FÖYT (g/kWh)		
	KB	LPG	E5	KB	LPG	E5	KB	LPG	E5
1500	85,04	80,46	84,34	13,35	12,63	13,24	286,55	281,63	306,55
2000	91,86	87,61	93,12	19,23	18,34	19,49	271,16	255,3	287,54
2500	92,23	88,7	94,17	24,13	23,21	24,64	259,04	252,18	281,4
3000	94,03	87,42	93,26	29,53	27,45	29,28	254,34	240,51	274,57
3500	95,84	90,13	96,77	35,11	33,02	35,45	247,15	233,26	262,93
4000	92,36	87,97	93,41	38,67	36,83	39,11	253,03	236,73	264,82
4500	87,21	82,06	87,46	41,08	38,65	41,19	258,29	244,76	268,02
5000	81,93	76,67	82,14	42,88	40,12	42,99	267,64	252,89	277,67

Çizelge Ek-1.2. Deneysel yakıtlarıyla elde edilen CO emisyonu ve HFK sonuçları

Motor Devri (d/d)	KB			LPG			E5		
	CO (% Hacimsel)		HFK	CO (% Hacimsel)		HFK	CO (% Hacimsel)		HFK
	KKÖ	KKS		KKÖ	KKS		KKÖ	KKS	
1500	4,78	4,75	0,872	4,26	4,03	0,875	3,913	3,748	0,903
2000	4,264	3,946	0,885	3,35	3,04	0,886	3,794	3,538	0,906
2500	5,1	4,915	0,864	3,59	3,472	0,895	4,08	4,078	0,894
3000	3,522	3,208	0,912	0,86	0,482	0,98	2,922	2,634	0,9292
3500	3,483	2,766	0,9083	0,742	0,146	0,984	3,221	3	0,9232
4000	4,04	3,315	0,89	0,55	0,02	0,9914	3,708	3,226	0,903
4500	2,354	1,57	0,94	0,502	0,03	0,992	1,731	0,942	0,957
5000	2,18	1,53	0,939	0,628	0,146	0,9925	1,86	1,298	0,956

EK-1 (Devam) Deneysel Veriler

Çizelge Ek-1.3. Deney yakıtlarıyla elde edilen HC emisyonu ve egzoz gaz sıcaklığı sonuçları

Motor Devri (d/d)	KB			LPG			E5		
	HC (ppm)		Egzoz Sıcaklığı (°C)	HC (ppm)		Egzoz Sıcaklığı (°C)	HC (ppm)		Egzoz Sıcaklığı (°C)
	KKÖ	KKS		KKÖ	KKS		KKÖ	KKS	
1500	234	219	597	257	219	590	195	164	617
2000	254	249	657	268	253	680	252	217	659
2500	215	198	690	234	221	688	162	149	699
3000	151	134	732	172	140	744	124	110	756
3500	171	139	777	157	105	774	129	111	777
4000	252	243	788	142	120	805	237	234	785
4500	191	184	824	161	134	821	191	182	828
5000	207	191	856	132	99	844	173	145	850

Çizelge Ek-1.4. Deney yakıtlarıyla elde edilen NO emisyonu ve O₂ sonuçları

Motor Devri (d/d)	KB			LPG			E5		
	NO (ppm)		O ₂ (%) Hacimsel)	NO (ppm)		O ₂ (%) Hacimsel)	NO (ppm)		O ₂ (%) Hacimsel)
	KKÖ	KKS		KKÖ	KKS		KKÖ	KKS	
1500	255	2	0,3	199	13	0,3	527	26	0,4
2000	256	7	0,24	224	21	0,24	624	29	0,4
2500	334	7	0,2	331	23	0,2	573	15	0,4
3000	530	10	0,3	984	45	0,2	787	75	0,3
3500	909	13	0,4	1172	45	0,3	745	18	0,3
4000	592	3	0,2	1253	32	0,3	856	26	0,3
4500	845	7	0,3	1319	40	0,3	1218	32	0,4
5000	805	7	0,2	1213	29	0,3	1078	13	0,3

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : DEMİRCİ, Erdi
 Uyruğu :T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 18.04.1987 Zonguldak
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 505 307 88 57
 e-mail : erdidemirci@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi Otomotiv Öğretmenliği Eğitimi	2009
Lise	Hatice Erdem Anadolu Denizcilik Meslek Lisesi Gemi Makineleri	2005

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2004-2005	Erdemir Demir Çelik Fabrikaları	Stajyer
2009	İveco	Stajyer
2010-2011	Ankara Devlet Tiyatrosu	Sözleşmeli Oyuncu
2011-2012	Gazi Üniversitesi	Öğrenci Asistanlığı

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Tiyatro, Müzik, Futbol, Sinema