Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt 23, Sayı 1, 2018 ARAŞTIRMA

DOI: 10.17482/uumfd.387382

LPG YAKITLI BUJİ ATEŞLEMELİ MOTORUN ISINMA PERİYODUNDA OKSİJEN İLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ EMME HAVASININ PERFORMANS VE EGZOZ EMİSYONLARINA OLAN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Niyazi BASKIN [*]
Barış ERKUŞ [*]
Emre BULUT [*]
Ali ÇİÇEK [*]
Necati TÜRKÖZ [*]

Alınma:31.01.2018; düzeltme: 03.04.2018; kabul: 11.04.2018

Öz: Bu çalışmada, oksijence zenginleştirilmiş emme havasının motor performansı ve egzoz emisyonlarına olan etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Tüm deneyler; LPG'li buji ateşlemeli motorun ısınma periyodunda kütlesel olarak farklı oranlarda oksijenin emme havasına sevk edilmesi suretiyle gerçekleştirilmiştir. Emme havasının oksijence zenginleştirilmesinin yanma verimini iyileştirerek motor performansı, HC ve CO emisyonları üzerinde olumlu etkilere neden olduğu tespit edilirken NOx emisyonlarının olumsuz etkilendiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Buji ateşlemeli motor, LPG, Oksijen, Isınma Periyodu

The Effects of Oxygen-Enriched Intake Air On Engine Performance and Exhaust Emissions of a LPG-Fueled Spark-Ignition Engine in Warm-Up Period

Abstract: In this study, the effects of oxygen enriched intake air on engine performance and exhaust emissions were investigated experimentally. All experiments were carried out in a warm-up period of a LPG spark-ignition engine by delivering the oxygen to the intake air at different mass ratios. The oxygen enriched intake air improves combustion efficiency which has positive effects on engine performance, HC and CO emissions but on the other side it has been observed that NOx emissions are adversely affected by oxygen enrichment.

Keywords: Spark ignition engine, LPG, Oxygen, Warm-up period

Kısaltmalar ve Semboller

HC	Hidrokarbon
CO	Karbonmonoksit
CO_2	Karbondioksit
NO_X	Azot Oksit
O_2	Oksijen
N_2	Azot
LPG	Sıvılaştırılmış petrol gazı

[*] Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Görükle Kampüsü, 16059 Bursa
İletişim Yazarı: Niyazi BASKIN (niyazibaskin@gmail.com.tr)

EKÜ	Elektronik kontrol ünitesi
d/d	Dakikadaki devir sayısı
ppm	Milyonda bir birim
λ	Lambda
Pe	Efektif güç
T	Moment
be	Özgül yakıt tüketimi
η	Efektif verim

1. GİRİŞ

Dünya genelinde artan çevre bilinci ve enerji kaynaklarının daha verimli kullanılması gerekliği alternatif yakıtların içten yanmalı motorlarda kullanımını özendirmektedir. LPG dünya genelinde oldukça geniş ölçüde kullanım alanına sahip bir alternatif yakıttır. Daha yüksek ısıl değer, daha yüksek oktan sayısı ve daha geniş hava fazlalık katsayısı aralığında çalışabilmek gibi LPG'nin benzine nazaran birçok üstün özelliğe sahip olmasına rağmen gaz fazında olmasına bağlı olarak ortaya çıkan bazı dezavantajları nedeniyle benzinli motorlarda kullanılması sırasında motor performansı ve kirletici egzoz emisyonları anlamında bir takım olumsuz sonuçların alınması kaçınılmaz olmaktadır (Erkuş ve diğ., 2015).

İyi bir yanma periyodunun gerçekleşebilmesi için yeterli miktarda oksijene ihtiyaç duyulurken, atmosfer havası içerisindeki azot (N_2) oranının azaltılmasının bu sürece olumlu katkıları olacaktır (Baukal, 2010) ve bu durum kirletici egzoz emisyon seviyelerinde ve efektif güç değerlerinde iyileşmeye neden olmaktadır (Mehta ve diğ., 2014). Oksijen ile zenginleştirilmiş emme havasının benzinli motorlarda HC ve CO emisyonlarını azaltan kanıtlanmış bir teknik olduğu ortaya konmuştur (Poola ve diğ., 1995).

Isınma periyodunda silindir içindeki sıcaklıkların rejim sıcaklığına erişmemiş olmasından dolayı yakıt tam manasıyla buharlaşamayacak bu nedenle yanma verimi düşecek ve egzoz emisyon miktarlarında artışlar gözlemlenecektir (Han ve Chu, 2011).

Li ve diğ. (2006) içten yanmalı LPG yakıtlı bir motorun ısınma periyodunda oksijence zenginleştirilmiş emme havasının egzoz emisyon değerleri üzerindeki etkilerini inceledikleri deneysel çalışmalarında; yanma prosesinin iyileştiğini, silindir içi basınç değerlerinin yükseldiğini ve HC emisyonlarında %28 oranlarına dek iyileşmeler elde edildiğini ifade etmişlerdir.

Poola ve diğ. (1995) benzinli bir motorun ısınma periyodunda, emme havasını hacimsel olarak yaklaşık %23 ve %25 oranlarında oksijen ile zenginleştirmişlerdir. Normal atmosfer havası ile karşılaştırıldığında %23 ve %25 oksijen oranları için, sırasıyla CO emisyonları %46 ve %50 oranlarında, HC emisyonları sırasıyla %33 ve %43 oranlarında azalmıştır. Bu çalışmalarında ısınma periyodunun ilk 127 saniyesini ayrıca incelemişler ve %25 oranındaki oksijence zenginleştirme işleminde alınan sonuçların oldukça umut verici olduğundan bahsederek NO_X seviyelerinin bu periyod içinde sabit kalabildiğini ifade etmişlerdir.

Li (2010) tek silindirli, karbüratörlü benzinli bir motorun ısınma periyodunda emme havasını oksijen ile zenginleştirmiştir. Soğukta ilk çalışmayı takip eden 60 saniye içinde oksijen konsantrasyonu kademeli bir şekilde artırıldığında HC emisyonlarının hızlı bir şekilde azaldığı tespit edilmiştir. Hacimsel olarak ilave edilen oksijen miktarının %27 olması durumunda HC emisyon seviyelerinin en düşük seviyede gerçekleştiği görülmüştür. Oksijence zenginleştirilmiş emme havasının söz konusu olduğu deneylerde CO seviyelerinde de önemli düzeyde iyileşmeler kayıt altına alınırken NOx seviyelerinde artışlar gözlemlenmiştir. Ortaya çıkan egzoz emisyon değerleri ışığında oksijence zenginleştirilmiş emme havasının; alev nüvesinin ilk oluşması sırasında yakıtın reaksiyon hızını artırdığını, silindir içi basınç ve sıcaklık değerlerini hızlıca yükseltebildiğini böylece yakıtın büyük ölçüde yanabileceği ortamın sağlanabildiğini tespit etmiştir.

Han ve diğ. (2011) benzinli bir motorun ısınma periyodunda hacimce %24 oranında oksijen ile zenginleştirmiş emme havası ile oksijen ilavesiz emme havasının etkilerini mukayeseli olarak inceledikleri çalışmalarında yanma veriminde, HC ve CO emisyonlarında önemli düzeyde iyileşmeler, silindir içi basınç ve egzoz gazı sıcaklığında artışların söz konusu olduğunu tespit etmişlerdir.

Xiao ve diğ. (2007) LPG yakıtlı buji ateşlemeli bir motor kullanarak, farklı hacimsel oranlarda oksijen içeren emme havası ile yaptıkları çalışmalarında motorun ısınma periyodu ve rejim sıcaklığında rölanti devrindeki davranışlarını incelemişlerdir. Hacimsel olarak %21, %23 ve %25 oksijen oranları içeren proseslerin sonuçlarına bakıldığında, ilk ateşleme çevriminde tutuşma süresi kısalmış, maksimum basınç ve ısı salım hızı dikkate değer oranda artmıştır. Maksimum motor devri yükselmiş ve HC ve CO emisyonları önemli derecede azalmıştır. Isınma periyodunda gerçekleştirilen çalışmalarda, %23 Oksijen (O_2) ve %25 O_2 oranları, ortam havası ile karşılaştırıldığında, sırasıyla, HC emisyonları %48 ve %68, CO emisyonları %52 ve %78 oranlarında azaltılmıştır. Rölanti devrinde çevrim başına kapalı döngü kontrol sistemi sebebiyle kullanılan yakıt miktarı yükselmiş, motor hızı artmış ve hız stabilitesi iyileştirilmiştir. %23 O_2 ve %25 O_2 oranları için HC emisyonları sırasıyla %60 ve %80 oranlarında azaltılmıştır. CO emisyonu ise %21 O_2 oranı ile karşılaştırıldığında aynı seviyede kalmıştır.

Li ve diğ. (2007) LPG yakıtlı bir motorun ısınma periyodunun ilk ateşleme çevriminde yanma odasını oksijence zenginleştirmişlerdir. İlk ateşleme çevriminin soğuk çalışma için oldukça önemli olduğunu belirterek, oksijence zenginleştirilen emme havasının söz konusu olduğu deneylerde yanma hızının arttığını, CO emisyonunun önemli ölçüde azaldığını, NO_x emisyonunun ise artış gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Wu ve Huang (2007) tam yük çalışma koşulu altında benzinli bir motorun emme havasına hacimsel olarak %21 den %25 oranlarına dek değişen oranlarda oksijen ilave ederek gerçekleştirdikleri çalışmalarında; artan oksijen miktarı ile yanma hızında önemli düzeyde iyileşmelerin söz konusu olduğunu ortaya koymuşlardır. Yine bu çalışmada HC ve CO emisyonlarının iyileştiğini fakat yanma sonu sıcaklık değerlerinde meydana gelen artışlar nedeniyle NO_X emisyonlarının arttığını tespit etmişlerdir.

Tam yükte yapılan bir başka çalışma, tek silindirli, dört zamanlı benzinli bir motor kullanılarak Nagaraja ve diğ. (2015) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada emme havası farklı kütlesel oranlarda oksijen ile zenginleştirilerek (%4 %8 ve %12) dört farklı motor devri için (2500, 3000, 3500 ve 4000 d/d) sonuçlar elde edilmiştir. Yanmanın tam yanmaya yaklaşmasının bir sonucu olarak CO ve HC emisyonları azalmış fakat NO_X emisyonları artmıştır.

Ng ve diğ. (1993) benzinli motorun vuruntu olmaksızın çalışabileceği, emme havasında gerçekleştirilebilecek oksijence zenginleştirmenin sınır değerini tespit etmeye yönelik yaptıkları çalışmada; emme havası içindeki oksijence zenginleştirme miktarının üst sınır değerinin hacimsel olarak %28 olduğunu tespit etmişlerdir.

Maxwell ve diğ. (1993) doğalgaz ve benzin ile yaptıkları bir çalışmada emme havası içerisinde hacimsel olarak %20,9 oranında bulunan oksijen oranını %25 oranına dek artırmışlardır. Her iki yakıt ile yapılan deneylerde; efektif güç, efektif verim, CO ve HC emisyon değerlerinde önemli düzeyde iyileşmeler elde edilirken egzoz gazlarının sıcaklığının arttığını tespit etmişlerdir.

Li ve Zhang (2009) farklı oksijen konsantrasyonlarında çalıştırılan benzinli motorun performans parametrelerini araştırmışlardır. Motor 1000 devir/dakika'da çalıştırıldığında giriş havasında bulunan oksijen oranını hacimsel olarak %21 den %24'e dek artırarak yaptıkları deneylerde maksimum basınç değerine daha erken ulaşılabildiğini ve motor momentinin arttığını kayıt altına almışlardır. Motor 1500 devir/dakika'da çalışırken ise oksijen konsantrasyonu %21 den %30'a yükseltilmiş ve bu durumda moment değerinde %56,7 oranında iyileşme elde edilmiştir.

Yao ve diğ. (2011) tek silindirli benzinli bir motor ile gerçekleştirdikleri çalışmalarında emme havasını hacimsel olarak %21, %23, %25, %27 ve %29 oranlarında oksijence zenginleştirmişlerdir. %23 ile %25 oksijen oranlarında gerçekleştirilen zenginleştirme işlemlerinde; CO ve HC emisyonlarında ciddi anlamda iyileşme elde edilirken NO_X emisyonun nispeten arttığını gözlemlemişlerdir. Maksimum basınç değerinde %14,14 oranında artış tespit edilmiştir. %25, %27 ve %29 oksijen konsantrasyonlarında da CO ve HC emisyonlarında düşüş tespit edilirken NO_X emisyonlarının ciddi oranda artış gösterdiğini kayıt altına almışlardır. Yapılan tüm deneylerde efektif güç değerlerinde artışlar tespit edilmiştir.

Zhou ve diğ. (2013) emme havasını %15'den %27'ye dek farklı hacimsel oranlarda oksijen ile zenginleştirdikleri çalışmalarında; emme havasının oksijence zenginleştirilmesinin yakıt tüketimini azaltmada yüksek bir potansiyele sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Literatür genel olarak incelendiğinde emme havasının oksijence zenginleştirilmesinin; efektif güç, efektif verim, alev hızı, silindir içi maksimum basınç, HC ve CO emisyon değerlerinde iyileşmelere neden olmasına rağmen NO_x emisyonlarının kötüleştiği sonucuna varılabilirken özellikle soğukta çalışma ve ısınma periyodu süresince bahsi geçen parametrelerdeki değişikliklerin daha belirgin olduğu sonucu ortaya çıkmıştır.

LPG mevsimsel ve coğrafi şartlara bağlı olarak farklı karışım oranlarına sahip olabilen bir yakıttır ve bu nedenle oksijence zenginleştirilmiş emme havasının söz konusu olduğu, literatürde az sayıda bulunan çalışmada kullanılan LPG yakıtlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri arasında farklılık var olabilmektedir. Bu çalışma ile buji ateşlemeli motorun herhangi bir çalışma parametresine müdahale etmeksizin, ülkemizde tüketilen %30 propan ve %70 bütan karşımı LPG kullanılarak, sadece oksijence zenginleştirilmiş emme havasının motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkisi incelenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

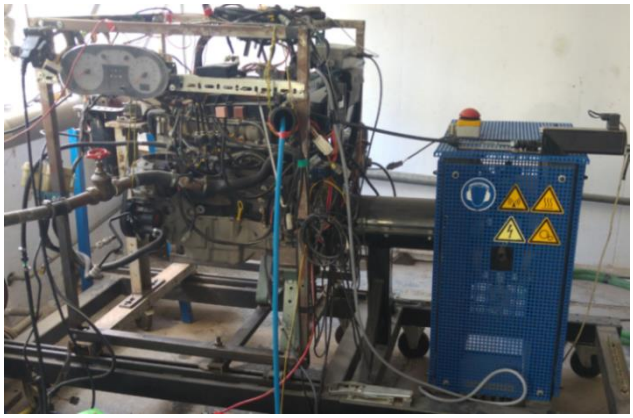
2.1. Deney Düzeneği

Yapılan deneylerde, K4J-712 motor koduna sahip Renault marka, 4 silindirli, 4 zamanlı 1,4 litre motor hacmine sahip manifolda çok noktadan püskürtmeli, buji ateşlemeli ve katalitik dönüştürücüye sahip olmayan bir motor kullanılmıştır. Deney motoruna ait teknik özellikler Tablo 1'de belirtilmiştir.

Tablo 1. Deney motoru teknik özellikleri

Motor Özellikleri	Değer	Birim
Motor kodu	K4J-712	
Maks. motor gücü	5700 d/d'da 72	kW
Maks. motor momenti	4250 d/d'da 127	Nm
Süpürme hacmi	1390	cc
Rölanti devri	750 ± 50	rpm
Yakıt sistemi	Çok noktadan püskürtmeli	
Ateşleme sırası	1 – 3 – 4 – 2	
Ateşleme bobin direnci, birincil	0,5 ± 0,02	ohms
Ateşleme bobin direnci, ikincil	7500 ± 1100	ohms
Ateşleme bujileri	Bosch RFC 50LZ2E	
Ateşleme buji aralığı	0,9	mm
Enjeksiyon basıncı/Sistem Basıncı	3 ± 0,2	bar

Motor karakteristiklerine ilişkin deneysel sonuçlar Dynostar ECB500 motor dinamometresi kullanılarak elde edilmiştir. Deney motoru ve dinamometre Şekil 1' de görülmektedir.



Şekil 1:
Deney motoru ve dinamometre

Motorda yakıt olarak içeriği %30 propan ve %70 bütan'dan oluşan LPG kullanılmıştır. Propan ve bütanın teknik özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. LPG'nin fiziksel ve kimyasal özellikleri

LPG Özellikleri	**Propan**	**Bütan**	**Birim**
Sıvı yoğunluğu	509	585	kg/m^3
Isıl değer	46,34	45,56	MJ/kg
Kaynama noktası	-42	-0,5	°C
Kendiliğinden tutuşma derecesi	510	490	°C
Alev hızı	0,4	0,4	m/s
Stokiyometrik oran (hava/yakıt)	15,8	15,6	kg/kg
Alt tutuşma sınırı	2,1	1,5	%Hac.
Üst Tutuşma sınırı	9,5	8,5	%Hac.
Oktan sayısı	111	103	

Egzoz emisyonları olarak CO, HC, NO_X ve CO_2 değerleri egzoz çıkışından ölçülmüştür. Emisyon ölçümleri için Bosch BEA 550 egzoz gaz ölçüm cihazı kullanılmış ve emisyon değerleri anlık olarak bilgisayara kaydedilmiştir. FSA760 diyagnostik cihazı bünyesinde bulunan KTS 540 cihazı ile motorun elektronik kontrol ünitesinden (EKÜ) alınan anlık veriler kaydedilmiştir. Şekil 2'de emisyon analiz cihazı ve ona bağlı olarak çalışan, FSA 760 bünyesinde bulunan emisyon değerlerinin anlık okunduğu ekran görülmektedir.

a *b.*

Şekil 2:
a. *Egzoz emisyon değerleri okunduğu ekran* ***b.*** *Egzoz analiz cihazı*

LPG ve oksijen yakıt tüketimi dijital teraziler ile ölçülmüş, kütlesel debileri hesaplanmıştır. Şekil 3'te dijital teraziler üzerine konumlandırılmış LPG yakıt tankı ve saf oksijen tüpü görülmektedir.

a. *b.*

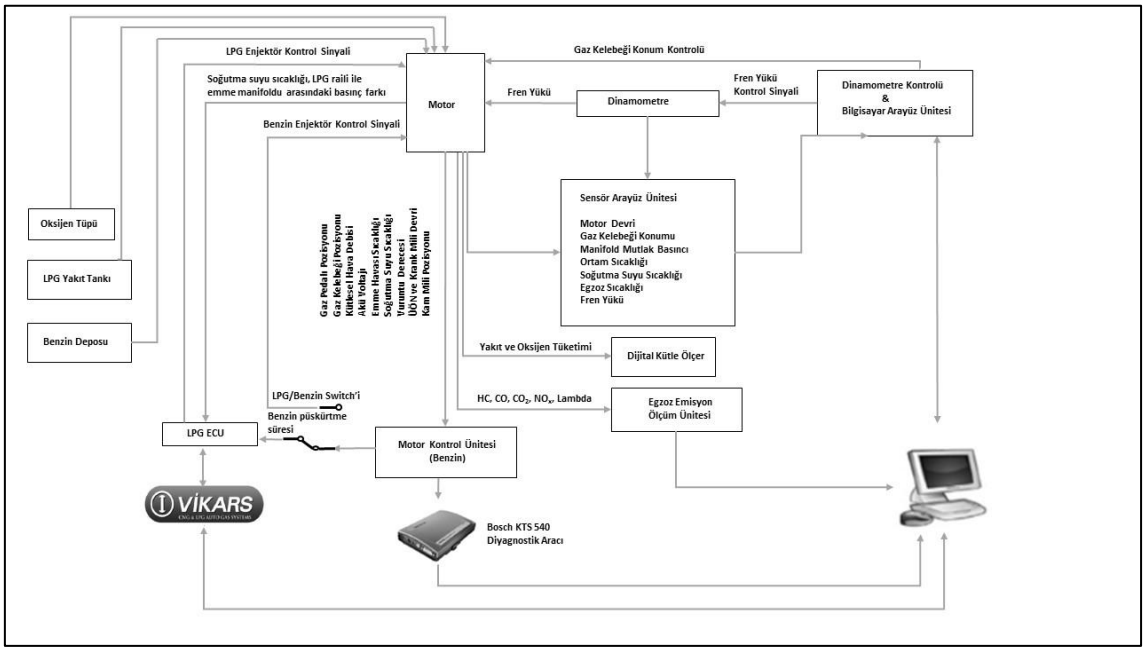
Şekil 3:
a. *LPG yakıt tankı* ***b.*** *saf oksijen tüpü*

Motor soğutma suyu sıcaklığı Autonics TK4S14CN kodlu sıcaklık kontrol cihazı tarafından kontrol edilen bir düzenek vasıtasıyla istenilen 50 °C değerine set edilmiştir. Genel olarak deney düzeneğinde kullanılan ölçüm ekipmanlarına ait başlıca teknik özellikler Tablo 3'te verilmiştir

Tablo 3. Ölçüm Cihazlarının Ölçüm Aralıkları ve Hassasiyetleri

Cihaz	Parametre	Ölçüm aralığı	Hassasiyet
Bosch BEA 550 Benzin	CO	%0- 10 Hac.	%0,001 Hac.
	CO_2	%0- 18 Hac.	%0,010 Hac.
	HC	0-9,999 ppm	1,0 ppm
	NO_X	0-5,000 ppm	%0,010 Hac.
	Lambda (λ)	0,5-1,8	0,001
Dynoster ECB500 Motor dinamometresi	Motor hızı	0-7000 rpm	≤%0,001 rpm
	Fren momenti (sürekli)	0-124,4 kW	≤0,01 Nm
	Soğutma suyu sıcaklığı	(-10) - 150 °C	100 °C'de %3,4
Dijital ağırlık ölçüm cihazı 1	Yakıt tüketimi	0-60,000 g	0,01 g
Dijital ağırlık ölçüm cihazı 2	Oksijen tüketimi	0-40,000 g	0,02 g

Ölçüm cihazları, CO,CO_2 emisyonlarını hacimsel olarak, HC ve NO_X emisyonlarını milyonda bir (ppm) olarak ölçmüştür. Motor dinamometresinden, motor hızı dakikada devir hızı (rpm) olarak ölçülmüştür. Deney düzeneğinin şematik görünüşü Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4:
Deney Düzeneği Şeması

2.2 Deneylerin Yapılışı

Deneyler motorun ısınma periyodunda, %50 gaz kelebeği açıklığında, 2000 devir/dakika motor devrinde, emme havasına kademeli olarak basıncı arttırılan saf oksijen gönderilerek gerçekleştirilmiştir. Atmosfer havasındaki oksijen oranı dahil olmak üzere 4 farklı oksijen oranında hava, yanma odasına sevk edilmiştir. Farklı oksijen konsantrasyonlarının motor performansı ve egzoz emisyon değerleri üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Oksijen ilave edilen emme havasının söz konusu olduğu testler ile mukayese gerçekleştirebilmek adına öncelikle deney motoru oksijen ilave edilmemiş atmosferik şartlarda teste tabi tutulmuştur. Bu testler sırasında oksijen sensörü vasıtasıyla motor elektronik kontrol ünitesinin yakıt püskürtme sürelerine müdahale etmesine izin verilmiş, motorun hangi hava fazlalık katsayısında çalıştığı ortaya konarak yakıt tüketim değerleri ve yakıt püskürtme süreleri tespit edilmiştir. Yine bu testler sırasında mukayese işlemlerine temel teşkil edecek olan motor performans ve egzoz emisyon değerleri kayıt altına alınmıştır. Oksijen ilave edilen emme havası ile yapılan deneylerde motor kontrol ünitesinin, egzoz hattında bulunan oksijen sensöründen geri besleme sinyali alarak yakıt püskürtme sürelerine müdahale etmesinin önüne geçebilmek maksadıyla oksijen sensörü devre dışı bırakılmıştır. Böylece oksijen ilaveli ve ilavesiz durumlardaki yakıt püskürtme miktarlarının aynı kalması amaçlanmıştır. Temel deneylerde hava fazlalık katsayısının 1 civarında gerçekleştiği gözlemlenmiştir.

Emisyon cihazlarından CO, NO_X, HC, CO_2 emisyon değerleri okunmuştur. Deneylerde gerçekleştirilen her bir testin toplam süresi 1 dakika 45 saniye olarak belirlenmiştir. İlk 40 saniyeden sonra başlayarak son 5 saniyeye kadar geçen süre boyunca bir başka ifade ile 60 saniye süresince değerler alınmıştır.

2.3 Matematiksel Hesaplamalar

$\dot{m}_y$ [kg/s] motorun birim zamanda tükettiği yakıtın kütlesi, H_u [kj/kg] yakıtın alt ısıl değeri ve efektif güç P_e [kW] olmak üzere, efektif özgül yakıt sarfiyatı b_e [g/kWh] denklem 1'de efektif verim ise denklem 2' de verildiği üzere hesaplanmıştır.

Efektif özgül yakıt sarfiyatı;

$$b_e = \frac{\dot{m}_y \times 3600}{P_e} \; [\frac{g}{kWh}] \tag{1}$$

Efektif verim;

$$n_e = \frac{P_e}{\dot{m}_y H_u} \tag{2}$$

T_{ortam} [°C] ortamın sıcaklık değeri olmak üzere, testler sırasında ortam hava sıcaklığında meydana gelen değişimlerin moment ve efektif güç büyüklükleri üzerinde meydana getirdiği etkilerin dikkate alınabilmesi amacıyla bahsi geçen büyüklükler ölçülen ortam sıcaklıklarına göre denklem 3'te görüldüğü üzere yeniden düzenlenmiştir. T_1 ve Pe_1 dinamometreden okunan değerler, T_2 ve Pe_2 normalize edilmiş değerleri ifade etmektedir.

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{P_{e_2}}{P_{e_1}} = \sqrt{\frac{273 + t_{ortam}}{298}} \tag{3}$$

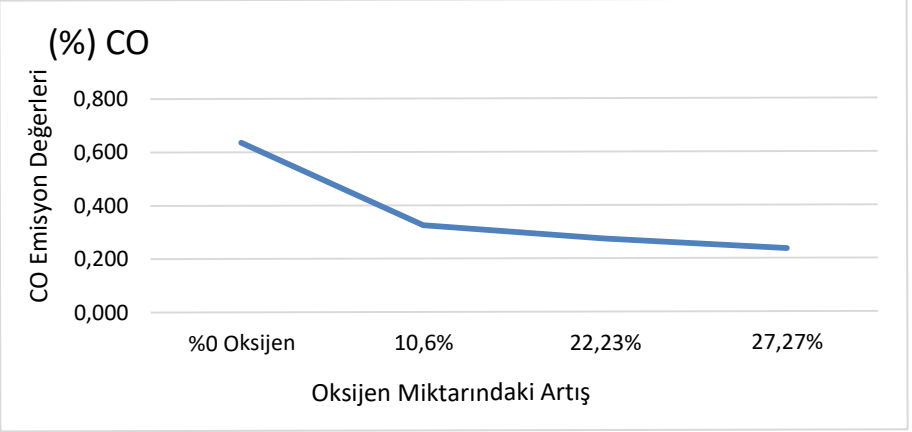
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

2000 devir/dakika, %50 gaz kelebeği açıklık konumunda oksijen ilave edilmeksizin yapılan deneylerde oksijenin kütlesel debisi $\dot{m}_{O_2}$= 4,675 g/s şeklinde gerçekleşmiştir. Oksijen tüpü debi ayar valfi kademeli olarak açılarak, emme manifolduna farklı miktarlarda oksijen gönderilmiş ve deney süresince gönderilen oksijenin kütlesel debisi ölçülmüştür. Bu değerler sırasıyla 5,17 g/s, 5,71 g/s, 5,95 g/s olarak gerçekleşmiştir. Emme havasının oksijence zenginleştirilmediği durumundaki oksijen miktarı temel alınarak, emme havasının oksijence zenginleştirildiği durumda oksijenin kütlesel debisinde gerçekleştirilen artış miktarları sırasıyla %10,6, %22,23, %27,27 olarak hesaplanmıştır.

3.1 Emisyon Değerleri

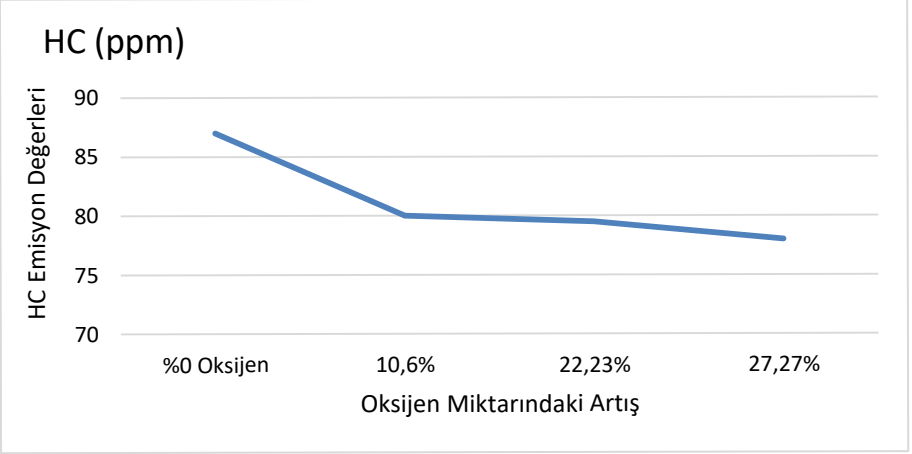
Silindir içindeki oksijen konsantrasyonunun artması alev hızını arttırmaktadır. Ayrıca oksijence zenginleştirilmiş yanma sırasında silindir içi sıcaklık artışı hızlanmakta ve böylece kimyasal reaksiyon hızı artmaktadır. Bu sebeplerden dolayı yanma verimi iyileşmekte ve HC, CO emisyonları azalmakta (Li ve diğ., 2010), (Han ve diğ., 2011) ancak NO_X emisyon seviyesi artan yanma sonu sıcaklıkları nedeniyle yükselmektedir (Nagaraja ve diğ., 2015). NO_x emisyonlarının yüksek çıkmasında ki bir başka neden ise ortamda bulunan O_2 varlığının çokluğu olarak gösterilebilmektedir.

Şekil 5'de görüldüğü üzere, artan oksijen miktarı ile CO emisyon değerlerinde iyileşmeler tespit edilmiştir. Oksijen artış oranlarının sırasıyla %10,6, %22,23, %27,27 olması durumunda; CO emisyonları %48,9, %56,9, %62,9 oranlarında azalmıştır. Yanma odası içerisindeki oksijen konsantrasyonunun artmasıyla CO emisyonunda ciddi miktarlarda azalma tespit edilmiştir. En büyük azalmanın %10,6 oksijen artış oranında sağlandığı görülürken, %22,23 ve %27,27 artış oranlarında CO emisyonlarında gerçekleşen iyileşme hızlarının azaldığı tespit edilmiştir.



Şekil 5:
CO Emisyon (%) değerleri

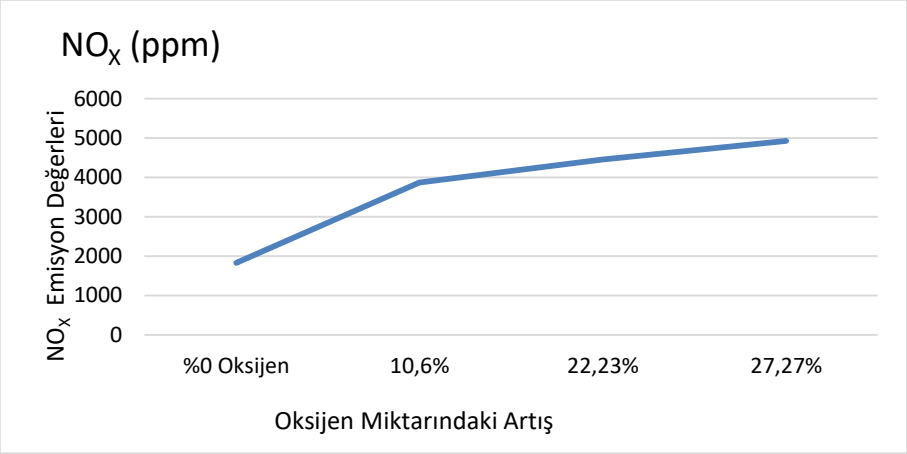
Şekil 6'da görüldüğü üzere HC değerleri, artan oksijen oranı ile düşmektedir. Sırasıyla %10,6, %22,23 ve %27,27 oksijen artış oranlarında, HC emisyonlarında %8, %8 ve %10 mertebelerinde iyileşme sağlanabilmiştir.



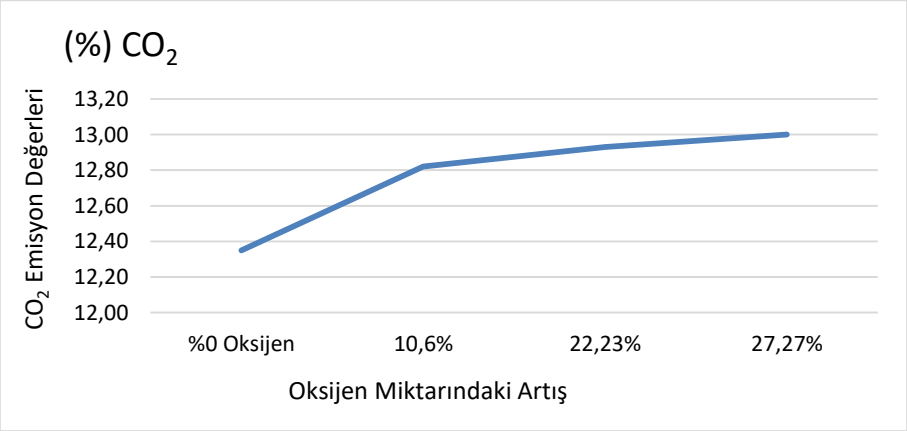
Şekil 6:
Hidrokarbon (HC) Emisyon Değerleri (ppm)

Şekil 7'de görüldüğü üzere emme havasına ilave edilen oksijen miktarının artması sonucu yanmaya karışmayan serbest oksijen miktarının artması ve yanma sonu sıcaklıklarının bir miktar yükselmiş olmasından dolayı NO_X emisyonlarında kötüleşmeler gözlemlenmiştir (Yao ve diğ., 2011). Sırasıyla %10,6, %22,23 ve %27,27 oksijen artış oranlarında, NO_X emisyon değerlerinde %112, %143 ve %169 mertebelerinde arttıkları tespit edilmiştir.

Şekil 8'de görüldüğü üzere sevk edilen ilave oksijenin artması ile birlikte CO_2 oranlarında artışlar gözlemlenmiştir. Yanma reaksiyon hızının artmasıyla CO hızlıca oksitlenerek CO_2'e dönüşmektedir. Ayrıca egzoz gazları içinde artan oksijen konsantrasyonu CO' lerin CO_2'e dönüşmesini kolaylaştırmaktadır (Li ve diğ., 2010). Sırasıyla %10,6, %22,23 ve %27,27 oksijen artış oranlarında, CO_2 emisyon değerlerinin %3,8, %4,7 ve %5,3 mertebelerinde arttıkları gözlemlenmiştir.

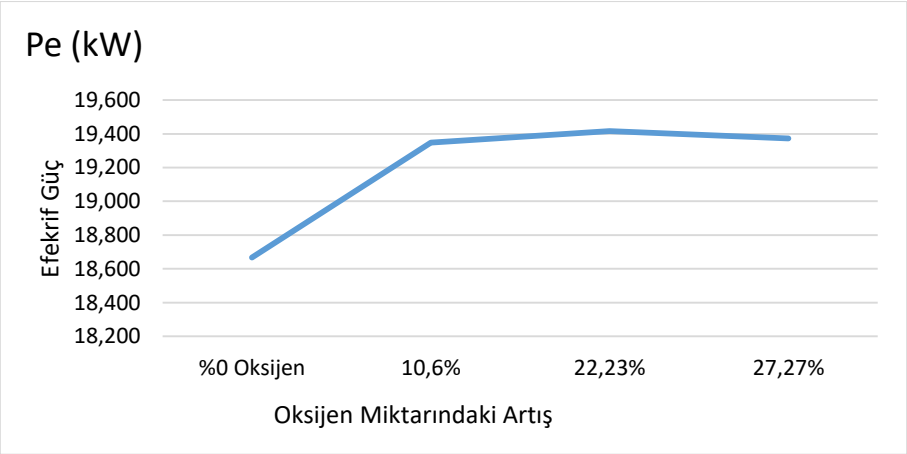


Şekil 7:
Azot oksit (NO_X) Emisyon Değerleri (ppm)



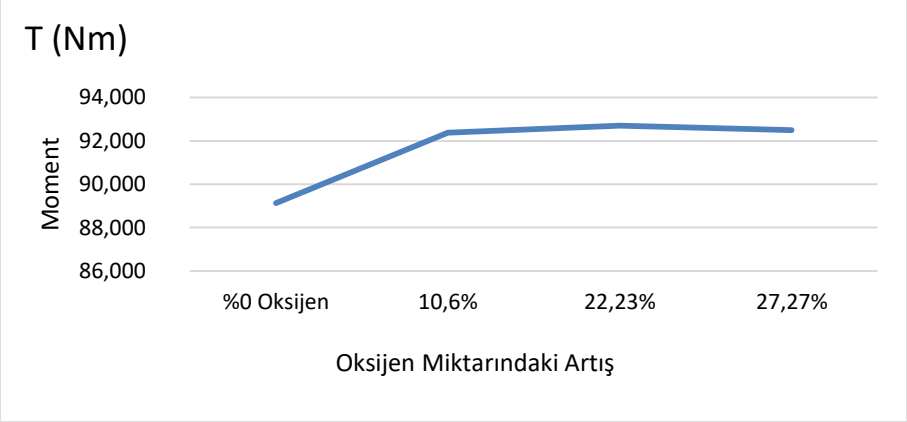
Şekil 8:
CO_2 Emisyon (%) değerleri

3.2 Motor Performans Değerleri

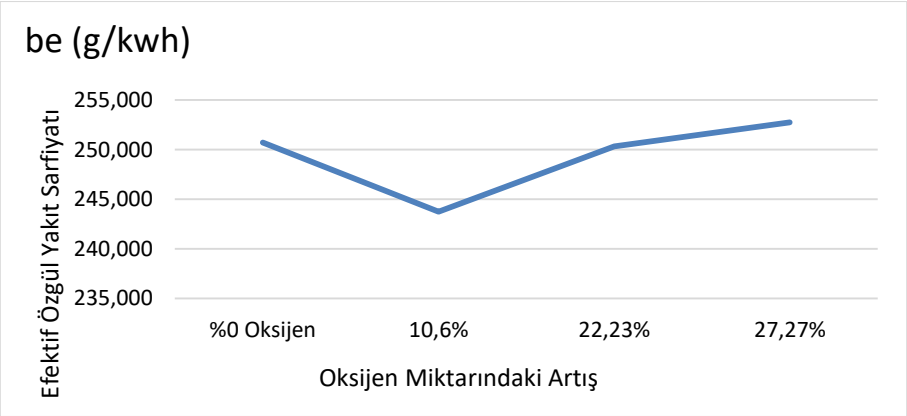


Şekil 9.
Motor efektif güç değeri (kW)

Şekil 9 ve Şekil 10'da görüldüğü üzere oksijen debisindeki %10,6, %22,23 ve %27,27 artışlara karşılık; efektif güç değerlerinde %3,64, %4, %3,77 ve moment değerlerinde %3,6, %3,5, %3,3 oranlarında iyileşmeler tespit edilmiştir. Emme havasının oksijence zenginleştirmesiyle, alev nüvesinin oluşum süresi kısalmıştır, alev hızı ve sıcaklığı yükselmiştir, daha yüksek yanma sonu sıcaklıklarına ulaşılmıştır ve bu sebeplerden dolayı yanma verimi iyileşerek (Wu ve diğ., 2007) efektif güç ve moment değerlerinde artışlar sağlanmıştır. Her iki performans parametresi için en büyük iyileşmenin, emme havasına kütlesel olarak %10,6 oksijenin ilave edildiği durumda sağlandığı görülmüştür. Bir noktadan sonra ise fazla oksijenin motor momenti ve efektif güç değerlerine pozitif etkisinin azaldığı tespit edilmiş ve bu durum CO ve HC emisyon değerlerine ilişkin grafiklerde de karşımıza çıkmıştır. Yakıt molekülü içinde bulunan kimyasal bağların kopabilmesi için bu bağları koparacak kadar bir dış enerjiye ve iyonizasyon derecesi yüksek olan bir elemente ihtiyaç vardır. Yakıt içinde bulunan bağların kopması sırasında H ve C atomları yeni bağlar kurmak zorunda kalmakta ve bu durumda oksijen elementi bu bağların oluşmasında etkili olmaktadır. Yanma sırasında oksijenin belirli bir miktara kadar ortamda bulunması yukarıda bahsedilen yeni bağların oluşmasına olumlu katkı sağladığı halde oksijenin belirli bir değerin üzerine çıkması durumunda bu yeni bağların oluşmasına sağladığı olumlu katkı azalmaktadır. Bu nedenle bahsi geçen grafiklerde emme havasında gerçekleştirilen belirli bir oksijen zenginleştirmesi sonrasında ciddi düzeyde iyileşme kaydedilememiştir.

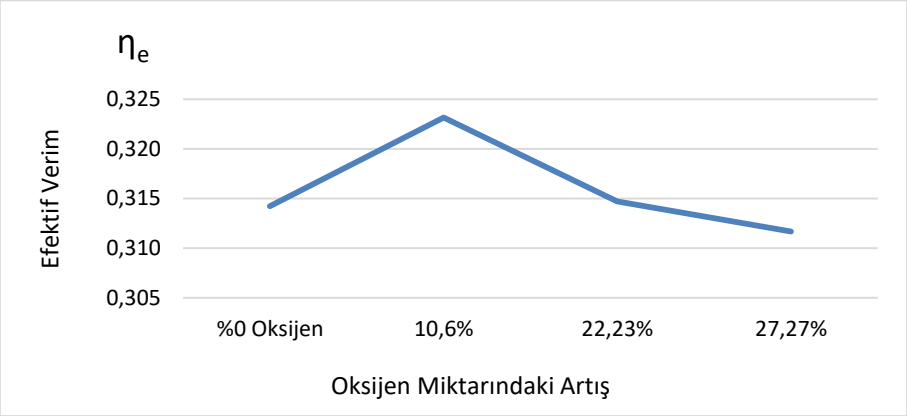


Şekil 10.
Motor Moment Değeri (Nm)



Şekil 11.
Efektif özgül yakıt sarfiyatı (b_e)

Şekil 11'e bakıldığında oksijen miktarında kütlesel olarak gerçekleştirilmiş %10,6 artış efektif özgül yakıt sarfiyatını %2,77 oranında düşürmüştür. %22,23 oksijen artış oranında elde edilen efektif özgül yakıt sarfiyatı, oksijen ilave edilmediği durumda yapılan deney sonucu civarında bir değere sahip olurken %27,27 oksijen artış oranında ise efektif özgül yakıt sarfiyatı %0,8 artış sergilemiştir.



Şekil 12.
Efektif verim (η_e)

Şekil 12'de görüleceği üzere oksijen debisinde %10,6 oranında artış gerçekleştirilmesi durumunda efektif verim değerinde %2,8 oranında iyileşme elde edilmiştir. %22,23 oksijen artış oranında elde edilen efektif verim, oksijen ilave edilmediği durumda yapılan deney sonucu civarında bir değere sahip olurken, oksijen debisindeki artış değeri %27,27 olduğunda efektif verim %6 düşüş sergilemiştir.

4. SONUÇLAR

LPG'nin gaz fazında yanma odasına sevk edildiği motorun ısınma periyodunda karışımın elektriksel iletkenliği düşük olduğundan alev nüvesinin oluşumu daha uzun bir zaman almakta ve oluşan nüve güçlü bir şekilde yanmanın ilerlemesine katkı sağlayamamaktadır. Emme havasının oksijence zenginleştirildiği durumda; güçlü alev nüvesi daha erken teşkil edilebilmekte, alev hızı artmakta, yanma sonu sıcaklıkları yükselmekte ve böylece yanma veriminde artış elde edilebilmektedir. Yanma veriminde sağlanan bu artışın bir sonucu olarak ise efektif güç, moment, efektif özgül yakıt sarfiyatı, CO ve HC emisyonlarında iyileşmeler gözlemlenebilmektedir. Öte yandan yanma sonu sıcaklıklarının artması ve silindir içinde bulunan yüksek miktarda oksijen NO_x emisyonlarında artışa neden olmaktadır. Katalitik dönüştürücünün kullanıldığı egzoz sistemi ile bahsi geçen NO_x emisyonlarının belirli düzeye kadar düşürülebilmesi sağlanabilir.

Oksijence zenginleştirilmiş emme havasının yanma işlemine dahil edilmesi sonucu egzoz gazlarının sıcaklıklarında bir miktar artış gözlemlenebilmektedir. Bu durum ise katalitik dönüştürücülerin daha kısa bir zaman dilimi içinde rejim sıcaklığına erişmesini sağlayacaktır.

Oksijence zenginleştirilmiş emme havasının yanma sonu sıcaklığını arttırması nedeniyle normal çalışma şartlarına daha erken geçilebileceği, ısınma periyodunun daha kısa sürebileceği tespit edilmiştir.

Deney süresince oksijence zenginleştirilmiş emme havası yanma sonu sıcaklıklarını artırdığı halde motorda herhangi bir vuruntulu çalışma olayına rastlanmamıştır.

Bu çalışmada LPG' li motorun mevcut çalışma şartlarına müdahale etmeksizin, emme havasına ilave edilen oksijenin motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Elde edilen olumlu sonuçların ışığında; oksijence zenginleştirilmiş emme havasının söz konusu olduğu LPG' li motorun ultra fakir karışımlarda çalışabilmesine yönelik

olarak gerek yakıt püskürtme sürelerine ve gerekse ateşleme avanslarına müdahale edilerek çalışma genişletilecektir.

KAYNAKLAR

1. Baukal Jr, C. E. (2010) Oxygen-enhanced combustion, CRC press.

2. Erkuş, B. (2011). Otto motorlarının farklı yakıt tiplerinde optimum performanslarının araştırılması, Doktora Tezi, U.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

3 Erkuş, B., Karamangil, M.İ., Sürmen, A. (2015) Enhancing the heavy load performance of a gasoline engine converted for LPG use by modifying the ignition timings, Applied Thermal Engineering, Volume 85, Pages 188-194, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2015.03.076

4. Han, B. and Chu, J. (2011) Study on emission control of gasoline engines during cold-start period based on oxygen-enriched combustion, International Conference of Chinese Transportation Professionals, Towards Sustainable Transportation Systems, 3814-3819, doi: 10.1061/41186(421)380

5. Li, G., Li, L., Qiao, X., Xiao, G., Qiu, D. (2006) Oxygen-enriched combustion of the first cycle during cold start in a liquefied petroleum gas spark-ignition engine, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, 220(9), 1265-1274. doi: 10.1243/09544070JAUTO277

6. Li, G., Qiao, X. Q., Li, L. G., Qiu, D. P., Xiao, G. F. (2007) Experimental study of oxygen-enriched combustion in the first cycle of cold start in a LPG SI engine, Transactions of Chinese Society for Internal Combustion Engines, 1, 009.

7. Li, S. and Zhang, W. (2009) Reaction parameter and dynamical performance of gasoline engine with oxygen-enriched combustion. In International Conference on Transportation Engineering, 3988-3993, doi: 10.1061/41039(345)657

8. Li, S. (2010) Emissions performance study of oxygen-enriched combustion on spark-ignition engine at cold-start, In Intelligent Computation Technology and Automation, International Conference on Institute of Electrical and Electronics Engineers,204-207. doi: 10.1109/ICICTA.2010.536

9. Maxwell, T. T., Setty, V., Jones, J. C., Narayan, R. (1993) The effect of oxygen enriched air on the performance and emissions of an internal combustion engines, Society of Automotive Engineers Technical Paper, doi: 10.4271/932804

10. Mehta, B., Patel, H., Patel, P. (2014) Opportunity to improve the engine performance and emission characteristics by using oxygen enriched combustion, International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering, 2349-2163.

11. Nagaraja, S., Nagaraj, C., GN, K. (2015) Computational and experimental study on oxygen enriched intake of a spark ignition engine. Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska, 17(3).

12. Ng, H. K., Sekar, R. R., Kraft, S. W., Stamper, K. R. (1993) The potential benefits of intake air oxygen enrichment in spark ignition engine powered vehicle, Society of Automotive Engineers Technical Paper, doi: 10.4271/932803.

13. Poola, R. B., Ng, H. K., Sekar, R. R., Baudino, J. H., Colucci, C. P. (1995) Utilizing intake-air oxygen-enrichment technology to reduce cold-phase emissions, Society of Automotive Engineers Technical Paper, doi: 10.4271/952420

14. Wu, Y. Y., Huang, K. D. (2007) Improving the performance of a small spark-ignition engine by using oxygen-enriched intake air, Society of Automotive Engineers Technical Paper, 2007-32-0004.

15. Yao, C., Chu, J., Han, B. (2011) Performance experiment of gasoline engine by using oxygen-enriched intake air, In International Conference of Chinese Transportation Professionals, ISO 690, 3086-3091.

16. Zhou, J., Richard, S., Mounaïm-Rousselle, C., Foucher, F. (2013) Effects of controlling oxygen concentration on the performance, emission and combustion characteristics in a downsized SI engine, Society of Automotive Engineers Technical Paper, doi:10.4271/2013-24-0056

17. Xiao, G., Qiao, X., Li, G., Huang, Z., Li, L. (2007) Investigation of running behaviors of an LPG SI engine with oxygen-enriched air during start/warm-up and hot idling, International journal of automotive technology, 8(4), 437-444.