



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Turboşarjlı enjeksiyonlu benzinli bir motorda LPG kullanımının emisyonlar ve motor performansı açısından incelenmesi

Investigation of LPG use in turbostar injection gasoline engine in emission and engine performance conditions

Yazar(lar) (Author(s)): Salih ÖZER¹, Erdiñç VURAL²

ORCID¹: 0000-0002-6968-8734

ORCID²: 0000-0002-8018-2064

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Özer S. ve Vural E. “Turboşarjlı enjeksiyonlu benzinli bir motorda lpg kullanımının emisyonlar ve motor performansı açısından incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 24(1): 143-150, (2021).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.640501

Turboşarjlı Enjeksiyonlu Benzinli Bir Motorda LPG Kullanımının Emisyonlar Ve Motor Performansı Açısından İncelenmesi

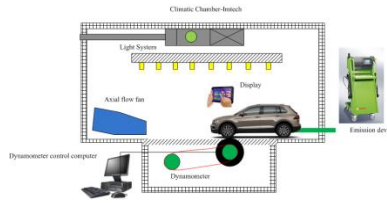
Investigation of LPG Use in Turbostar Injection Gasoline Engine in Emission and Engine Performance Conditions

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ TSI (turbocharged stratified injection) tip bir motorda LPG ilavesinin etkileri. Effects of LPG addition in a TSI (turbocharged stratified injection) type engine.

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Deneyler sırasındaki taşıt deneyleri şasi dinamometresinde gerçekleştirilmiştir. During the experiments, the vehicle experiments were carried out on the chassis dynamometer.



Şekil. Deney düzeneğinin şematik görünümü / Figure. Schematic view of the experimental assembly.

Amaç (Aim)

TSI teknolojisine sahip motorlara yakın zamanda LPG sistemleri entegre edilebilmiştir. Sistemlerinin dizaynı gereği ise LPG'yi benzin ile birlikte kullanmaktadırlar. Bu çalışma TSI bir motorda benzin + LPG kullanımının emisyon ve performans özelliklerine etkisini araştırmayı amaçlamıştır. / LPG systems have recently been integrated into TSI technology engines. According to the design of their systems, they use LPG together with gasoline. This study aimed to investigate the effect of gasoline + LPG use on emission and performance characteristics in a TSI engine.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Deneyler için, TSI teknolojisine sahip LPG sistemi entegre edilmiş olan taşıt kullanılmıştır. Taşıtın güç ve performans değerleri şase dinamometresinde, emisyon değerleri emisyon cihazı ile ölçülmüştür. Elde edilen veriler kaydedilerek grafik haline getirilmiş ve tartışılmıştır. / For the experiments, a vehicle with an integrated LPG system with TSI technology was used. Power and performance values of the vehicle were measured in the chassis dynamometer, emission values were measured using the emission device. The data obtained were recorded and charted and discussed.

Özgünlük (Originality)

TSI motora sahip taşıtta benzin + LPG ile yapılmış ve taşıt üzerinde bir değişiklik yapılmadan yapılmış olması araştırmaya özgünlük katmaktadır. / The fact that the vehicle with the TSI engine was made with gasoline + LPG and made without any changes on the vehicle adds authenticity to the research.

Bulgular (Findings)

Benzin + LPG kullanımı ile birlikte maksimum motor gücünde 3.2 HP, maksimum motor torkunda 3 Nm'lik bir düşüş, CO, CO₂ ve HC emisyonlarında ise benzin + LPG ile tüm motor hızlarında iyileşme görülmüştür. 3.2 HP in maximum engine power with gasoline + LPG usage, 3 nm in maximum engine torque, CO, CO₂ and HC emissions with gasoline + LPG all engine speeds were improved.

Sonuç (Conclusion)

TSI motor teknolojisine sahip taşıtta LPG kullanımının emisyonlar açısından olumlu sonuç verdiği görülmüştür. / It has been observed that the use of LPG in vehicles with TSI engine technology has a positive result in terms of emissions.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Turboşarjlı Enjeksiyonlu Benzinli Bir Motorda LPG Kullanımının Emisyonlar ve Motor Performansı Açısından İncelenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Salih ÖZER^{1*}, Erdiñ VURAL²

¹Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği, Muş Alparslan Üniversitesi, Türkiye

²Germencik Yamantürk Meslek Yüksekokulu, Makine Bölümü, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 31.10.2019 ; Kabul/Accepted : 03.03.2020)

ÖZ

Günümüzde LPG (Sıvılaştırılmış Petrol Gazı) buji ateşlemeli motorlarda, benzine alternatif olarak kullanılan bir yakıt türüdür. Ekonomik olması ve çevreci olması nedeniyle ülkemizde de birçok araç kullanıcısı tarafından tercih edilmektedir. Bu nedenle LPG'nin buji ateşlemeli motorlarda kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Gelişen motor teknolojisi ile birlikte buji ateşlemeli motorlarda, turbo şarjlı sistemler ve silindir içerisine direk püskürtmeli enjektör sistemleri kullanılmaya başlanmıştır. Bu gelişmelere paralel olarak da LPG kiti üreticileri sistemlerini entegre ederek bu tür teknolojiye sahip motorlara uygun kit üretmeye başlamışlardır. Bu çalışmada diğer LPG uygulamalarından farklı olarak TSI (turbocharged stratified injection) teknoloji bir motora sahip taşıtta LPG montajının motor performansı ve emisyonlar açısından etkileri taşıt dinamometresinde test edilmiştir. Bu amaçla araç 2000, 2500, 3000, 3500, 4000, 4500, 5000 ve 5500 d/dak motor hızlarında çalıştırılarak motor gücü, motor torku ve egzoz emisyon (CO, CO₂ ve HC) değerleri ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Yapılan çalışmada LPG kullanımı ile maksimum motor gücünde %2,5 ve maksimum motor torkunda %2,25'lik bir düşüş ölçülmüştür. Fakat tüm emisyon değerlerinde benzine göre azalma kaydedildiği tespit edilmiştir. Taşıt hızlanma testinde ise 60 km'den 210 km hıza benzin+LPG yakıtı ile benzine göre 4 saniye daha geç ulaşmıştır.

Anahtar Kelimeler: TSI motorlar, LPG, motor performansı, egzoz emisyonu.

Investigation of LPG Use in Turbostar Injection Gasoline Engine in Emission and Engine Performance Conditions

ABSTRACT

Today LPG (liquefied petroleum gas) is a type of fuel used in Spark Plug-fired engines as an alternative to gasoline. It is preferred by many car users in our country because it is economic and environmental. For this reason, LPG's use in Spark Plug-fired engines is becoming increasingly common. With the development of engine technology, spark plug-fired engines, turbocharged systems and direct-jet injector systems into the cylinder have started to be used. In parallel with these developments, LPG kit manufacturers have started to integrate their systems and produce kits suitable for engines with this type of technology. In this study, the effects of LPG assembly on engine performance and emissions in vehicles with TSI (turbocharged stratified injection) technology, unlike other LPG applications, were tested in vehicle dynamometer. Vehicle for this purpose 2000, 2500, 3000, 3500, 4000, 4500, 5000 and motor power, engine torque and exhaust emission (CO, CO₂ and HC) values were measured by running at engine speeds of 5500 rpm. The study measured 2.5% in maximum engine power and 2.25% in maximum engine torque with LPG use. However, it has been found that all emission values have been reduced compared to gasoline. In the vehicle acceleration test, it reached a speed of 60 km to 210 km with gasoline+LPG fuel 4 seconds later than gasoline.

Keywords: TSI engines, LPG, engine performance, exhaust emission.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

İçten yanmalı motorlar üretiminden bu güne kadar birçok yakıt ile çalıştırılmışlardır. Hatta Rudolf Diesel ilk dizel motoru fıstık yağı ile çalıştırdığı yine bilinen en önemli alternatif yakıtların başında gelmektedir. Alternatif enerji arayışları gelişen teknoloji ile daha da artmış ve çeşitlenmiştir [1]. Artan teknolojik gelişmeler ile birlikte

İçten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanılmakta olan benzin ve dizele alternatif olarak hidrojen, biyogaz, sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG), sıkıştırılmış doğal gaz (CNG), alkoller (etanol, metanol vb.), bitkisel yağlar ve atıklardan elde edilen yakıtlar gibi çok değişik türlerde ortaya çıkmıştır [2]. Gaz yakıtlarının içerisinde en yaygın olarak kullanılanı ise LPG'dir. LPG ticari ürün pazarına girmiş ve gerek istasyonları gerekse motorlu taşıtlara uyarlanabilirliği ile giderek tercihlerde üst sıralara çıkmaktadır. Öyle ki, 2019 yılı itibarıyla Türkiye'de

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : s.ozer@alparslan.edu.tr

trafiğe çıkan toplam araç sayısı 23 milyon 39 bin 551'ne ulaşmış ve bu araçların %37,7'si LPG'li iken %37,3'ü dizel, %24,6'sı benzinli olup %0,1'de hibrit ve elektrikli [3]. LPG, sanayi gazları diye tabir edilen gazların belirli oranlarda karıştırılması ile oluşmaktadır. Genel olarak içeriğindeki yüzdeler oranları değişmekle birlikte LPG, propan (C_3H_8), propen (C_3H_6), n-bütan (C_4H_{10}), izo-bütan (metil-propen) ve bütan (C_4H_8) gibi hidrokarbon içerikli gazların karışımlarından oluşmaktadır [4]. Bu yakıtların en önemli özellikleri ise içten yanmalı motorlar üzerinde bir değişikliğe gereksinim duyulmadan kullanılabilmesidir. Bunun yanında LPG'nin benzin ile benzer fiziksel özellikleri olması da tercih sebebi olmasında önemli bir faktördür. Benzine yakın özellikleri sayesinde buji ateşlemeli motorlarda rahatlıkla kullanılabilir. LPG'nin araçlarda giderek yaygınlaşması ile birlikte artık araç üreticileri fabrika çıkışlı LPG'li araç üretimine başlamıştır [5]. LPG'nin ekonomik boyutunun yanında yüksek oktan sayısı, yüksek ısı verimi ve bir çok kaynaktan üretilebiliyor yada sağlanabiliyor olması nedeniyle benzine alternatif bir yakıt olma yolunda ilerlemektedir [6, 7].

LPG'nin araçlarda ilk kullanımından bu yana LPG sistemleri gelişme göstermiş ve motorlu araçlarda LPG kullanım yönteminin birçok çeşidi ortaya çıkmıştır. İlk başlarda bazı araç modellerine uygulanabilen LPG kit sistemi artık benzinli tüm araç modellerine uygulanabilmektedir [8]. Gelişen taşıt ve motor teknolojileri karşısında LPG kitleri de araçların kullanımına uygun olarak gelişimini sürdürmektedir. Gelişen motor teknolojisi ile birlikte benzini direk silindir içerisine püskürten sistemlerin turbolarla desteklenmesi ile yeni bir motor teknolojisi kavramı ortaya çıkmış ve yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu teknoloji gelişirken LPG kit üreticileri de boş durmamış hatta günümüzde artık sıvı LPG'yi enjektörlerden püskürterek kullanan sistemler üretilmeye başlanmıştır [9]. Bunun yanında LPG dizel motorlarından tutunda ağır iş makineleri kamyon tır gibi ticari araçlarda bile kullanılabilir duruma gelmiştir. Böylelikle önceden problem olan turbolu araçlarda LPG kullanım sorunu çözülmüş ve artık birçok farklı araçta da LPG kullanılmaya başlanmıştır [10]. Sürekli geliştirilen ve yenilenen teknoloji ile birlikte TSİ motor teknolojisine sahip araçlara daha önceden uygulamada güçlük çekilirken günümüzde artık bu tür motorlarda da LPG takılabilir duruma gelmiş ve hızla yaygınlaşmaya başlamıştır.

Gümüş [11], benzin ve LPG sistemine sahip buji ateşlemeli bir motorda LPG oranının motor performansı, emisyonlar ve yakıt ekonomisine olan etkisi incelenmiştir. Deneylerini dört silindirdi, dört zamanlı bir motorda çift yakıt sistemli bir motorda gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla taşıtın LPG ve benzin sistemini modifiye etmiştir. Deneylerini taşıt dinamometresinde, farklı LPG kullanım oranlarında (ısı

değer olarak %0, %25, %50, %75, %100), sabit devirde (3800 d/d) ve değişik motor yüklerinde (%5, %30, %60, %90) gerçekleştirmiştir. Deney sonuçları göstermiştir ki, tüm LPG kullanım oranlarında egzoz emisyonları ve yakıt ekonomisi benzine göre düşüş göstermiş fakat taşıt performansı açısından ise yalnız %25 LPG kullanım oranında olumlu sonuçlar elde etmiştir.

Mustafa ve Gitano-Briggs [12], buji ateşlemeli bir motorda LPG/benzin karışım oranlarının emisyonlara ve motor performansına etkilerini incelemiştir. Bu amaçla motor deneylerini hava-yakıt oranı 0,6 ila 1,25 arasında olacak şekilde değiştirmiştir. Elde ettikleri bulgularda karışım içindeki LPG oranı arttıkça, ÖYT ve fren termal verimliliğinin arttığını, maksimum fren gücünün ise saf benzinle çalışmaya göre azaldığını bildirmişlerdir. Ayrıca karışımdaki LPG yüzdesi arttıkça CO, CO₂ ve NO_x gibi emisyonlar da düşüş olduğunu belirtmişlerdir.

Nayak ve diğ. [13], dört silindirdi benzinli bir araçta LPG'nin değişik oranlardaki (%25, %50, %75 ve %100) ilavesinin etkilerini incelemiştir. Çalışmalarını motorun 2000d/dak ile 4500 d/dak arasında değişen hızlarda gerçekleştirmişler ve benzine LPG ilavesinin tüm karışım oranlarında silindir içi basınç değerlerini arttırdığını tespit etmişlerdir. Ayrıca %100 LPG kullanımı ile benzine göre maksimum basıncın ve çevrimler arasındaki farklılıklarında arttığını belirtmişlerdir.

Chitragar ve diğ. [14], dört silindirdi, dört zamanlı, benzinli bir motorda rölanti şartlarında yanma ve emisyon değerlerinin LPG ve hidrojen gazı ilavesi nasıl değiştiğini incelemiştir. Benzine LPG ve hidrojen gazı ilavesi ile birlikte CO, HC ve NO_x gibi sera gazlarının azaldığını tespit etmişlerdir.

Miqdam [15], tarafından yürütülen çalışmada Ricardo E6 motoruna hidrojen-LPG karışımlarının oranlarının nasıl etkilediğini incelemiştir. Yaptığı deneylerde en ideal sıkıştırma oranının 10,5:1 olduğunu ve bu sıkıştırma oranında, LPG-hidrojen karışımındaki, hidrojen miktarının artması ile birlikte, fren gücü ve termal verimin arttığını, özgül yakıt tüketiminin ise azaldığını bildirmiştir.

Yukarıda özetlemeye çalıştığımız literatürde bahsettiğimiz gibi LPG ile yapılan birçok çalışma mevcuttur. Bunun yanında birçok LPG kiti üreten firmaların araştırma ve geliştirme faaliyetleri de hali hazırda devam etmektedir. Bu çalışma ise diğer çalışmalardan farklı olarak son yıllarda kullanımı artan turbo beslemeli direk püskürtmeli (TSİ) bir motorda LPG kullanımının emisyonlara ve motor performansına etkilerini incelemektedir. Bu amaçla LPG kiti takılı olan TSİ bir motora sahip taşıtın, taşıt dinamometresinde 2000, 2500, 3000, 3500, 4000, 4500, 5000, 5500 d/dak motor hızlarındaki kullanımının motor gücü, motor torku ve egzoz emisyonlarına (CO, HC, CO₂) etkileri incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

2.1. Deney Taşıtı ve Motorunun Teknik Özellikleri (Technical Specifications of Test Vehicle and Engine)

Taşıt deneyleri için 2013 model 1.4 litre motor hacmine sahip, direk enjeksiyonlu benzinli, bir taşıt kullanılmıştır. Taşıt ile ilgili detaylı bilgiler Çizelge 1'de deney motorunun teknik özellikleri ise Çizelge 2'de verilmektedir.

Çizelge 1. Deney taşıtının teknik özellikleri (Technical characteristics of test vehicle).

Marka ve model	Volkswagen Passat
Net Ağırlık	1367 kg
Boyutlar	4767 mm/1832/1456 mm
Dingil Mesafesi	2791 mm
Lastik Boyutu	215/60/R16
Aktarma	Önden çekişli
Şanzıman	6 ileri manuel
Depo Hacmi	66 litre

Çizelge 2. Deney motorunun teknik özellikleri (Technical characteristics of the test engine).

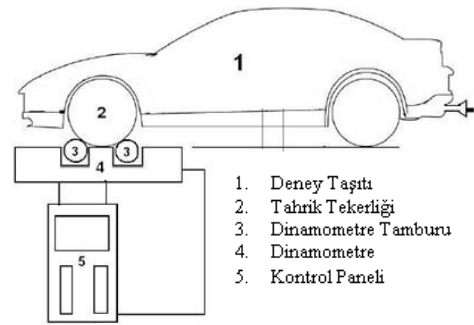
Motor Hacmi	1390 cm ³
Silindir Sayısı	4
Subap Sayısı	16 valf
Piston Çapı	76,5 mm
Silindir Strok	75,6 mm
Sıkıştırma Oranı	10:1
Motor Gücü	122 Hp (5000-6000 d/dak)
Motor torku	200 Nm (1400-3500 d/dak)
Maksimum Motor Hızı	8000 d/dak
Yakıt Sistemi	Enjektörlü
Hava Sistemi	Turbo

2.2. Egzoz Emisyonu Cihazı (Exhaust Emission Device)

Emisyon ölçümleri BOSH BEA060 marka emisyon cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Deneyler sırasında CO, CO₂ ve HC emisyonları sadece benzinle ve benzin+LPG'li yakıtı ile ayrı ayrı ölçülmüştür. Kullanılan cihaz CO emisyonu için (%0,001), CO₂ emisyonu için (%0,01), HC emisyonu için (1 ppm) ölçüm hassasiyetindedir. Tüm ölçümler TSE13231 standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

2.3. Taşıt Test Dinamometresi (Vehicle Testing Dynamometer)

Taşıt testleri Muş Computest oto ekspertiz firmasının Muş ilindeki bayisinde, mates marka motor test dinamometresinde gerçekleştirilmiştir. Dinamometre maksimum 535 hp motor gücünü, maksimum 1500 Nm motor torkunu ve 300 km/h araç hızına kadar ölçme kabiliyetine sahiptir. Deney düzeneğinin şematik resmi Şekil 1'de gösterildiği gibidir.



Şekil 1. Deney düzeneğinin şematik resmi (Schematic illustration of the experimental setup).

2.4. Deney Yakıtları (Test Fuels)

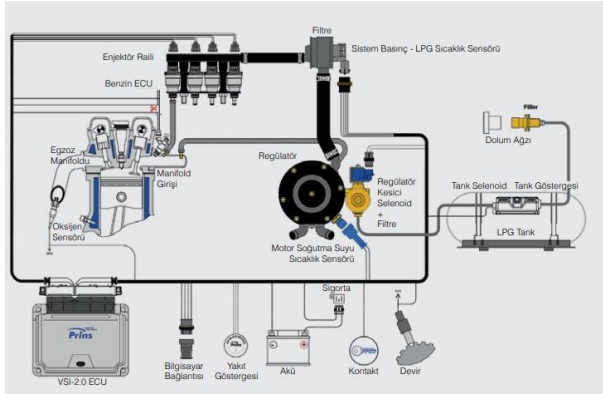
Ölçümler sırasında kullanılan yakıtlar OPET Muş bayiliğinden satın alınmıştır. LPG ve benzinin teknik özellikleri Çizelge 3'de verilmektedir. Deneylerde kullanılan aygaz marka LPG %70 bütan ve %30 propan içeriğine sahiptir [16].

Çizelge 3. Deney yakıtlarının teknik özellikleri (Technical properties of test fuels).

Özellikler	Benzin	Propan	Bütan
Özgül Kütle (kg/m ³)	765	509	585
Alt Isıl Değer (Mj/kg)	44,04	46,34	45,56
Kaynama Noktası (°C)	30-225	-42	-0,5
Tutuşma Noktası (°C)	257	510	490
Yanma Hızı (m/s)	0,35	0,4	0,4
Hava Yakıt Oranı	14,7	15,8	15,6
Tutuşma Sınırları (Hacimsel %)	1,3-7,6	2,1-9,5	1,5-8,5
Araştırma Oktan Sayısı	95	111	103
Motor Oktan Sayısı	85	97	89

2.5. Araçta Kullanılan LPG Sıralı Sistemi (LPG Sequential System Used in Vehicle)

Dünya üzerinde hali hazırda kullanılan ve ticari olarak da satışa sunulmuş birçok LPG sistemi bulunmaktadır. Son yıllarda bu LPG sistemlerinden turbo enjeksiyonlu araçlarda kullanılan modelleri üretilmeye başlanmıştır [17]. Üretilen bu sistemlerin bazıları emme manifoldundan gaz şeklinde LPG gönderirken, bazıları da aracın mevcut enjektöründe yapılan bir değişiklik ile direk sıvı LPG'yi silindirlere püskürtmektedir. LPG'yi gaz halinde emme manifoldundan silindirlere gönderen sistemlerde pilot yakıt ile ateşleme sağlanmakta ve bunun üzerine LPG gönderilerek gaz yakıtın yanması sağlanmaktadır. Sıvı LPG sistemlerinde ise herhangi bir pilot ateşleyici için yakıtı ihtiyaç duyulmamaktadır [18]. Pilot yakıtlı LPG sistemlerinde mikserin yerine selenoid kumandalı sıralı LPG enjektörleri kullanılmaktadır. Bu enjektörler ise harici bir elektronik kontrol ünitesi ile kontrol edilmektedir. Bu kontrol ünitesi motorun ana elektronik kontrol ünitesinden bilgi alarak çalışan kendine ait yüksek işleme yeteneğine sahip bir ünedir. Bu ünite sayesinde optimum yakıt tüketimi ve motor gücünün kontrolü sağlanmaktadır [20]. Bu tür bir sistemin şematik gösterimi Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Kullanılan LPG sisteminin şematik resmi (Schematic illustration of the LPG system used) [20].

Araçın LPG sistemi Aydın Sezginler LPG-CNG dönüşüm sistemleri ve mühendislik tarafından yapılmıştır. Araçta Prins marka LPG dönüşüm sisteminin VSI-2.0 modeli uygulanmıştır. Bu model birçok turbolu araçlara rahatlıkla uygulanmaktadır. Mevcut LPG sistemleri bir regülatör vasıtasıyla LPG yakıtının basıncını ayarlayarak yakıtı sıvı halden gaz haline dönüştürmektedir. Gaz hale geçen LPG emme manifoldundan silindir içerisine en yakın noktaya ulaşacak şekilde gönderilmektedir. Bunun yanında LPG kitinin motor beyninden aldığı verileri süzerek yorumlayan ve gaz pedalına göre LPG ilavesi sağlanmaktadır.

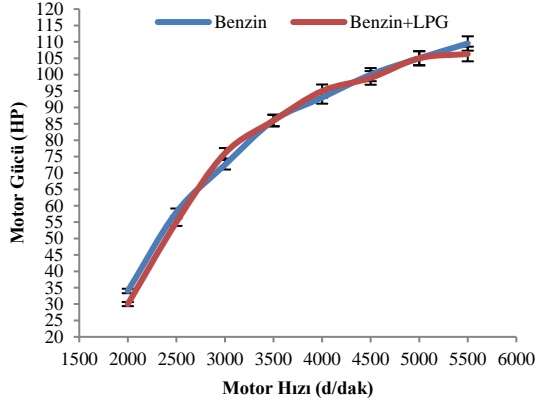
2.5 Deneysel Prosedürü (Test Procedure)

LPG dönüşüm sisteminde benzin ve LPG yakıt kullanım geçişini sağlayan bir switch anahtar mevcuttur ve bu anahtar sayesinde yakıt kullanım şekli tercih sürücü tarafından ayarlanmaktadır. LPG kitini Türkiye'ye getiren İpragaz firması ile yapılan görüşmelerde LPG çalışma modunda pilot yakıt olarak silindir içerisine gönderilen benzinin motor devrine göre değişiklik gösterdiği, fakat sabit bir devirde silindirlere sabit bir akış ile gönderildiği belirtilmiştir. Bu nedenle deneylerin gerçekleştirilmesinde pilot yakıt olarak kullanılan benzinin her bir motor hızında silindir içerisine enjektörlerden sabit şekilde gönderildiği dikkate alınmıştır. Araç dinamometreye alınmış ve gerekli güvenlik tedbirleri alındıktan sonra motorun soğutma suyunun 90 °C ve motor yağı sıcaklığının da 100 °C'ye ulaşması beklenmiştir. Taşıt deneyleri 5. vites konumunda 2000, 2500, 3000, 3500, 4000, 4500, 5000 ve 5500 d/dak motor hızlarında benzin ve benzin+LPG yakıtları ile üçer kez tekrarlanmış ve elde edilen verilerin ortalaması alınmıştır. Her bir motor devrinde sürücü motor parametrelerinin (motor torku ve gücü) ve emisyon değerlerinin (CO, CO₂, HC) ölçülerek kayıt altına alınmasını beklemiştir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

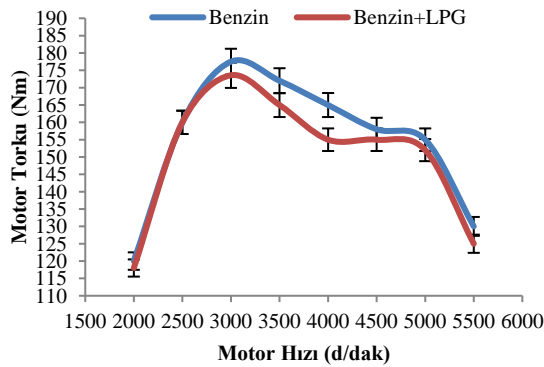
3.1. Motor Performansı (Engine Performance)

Şekil 3'de benzin ve benzin+LPG yakıtının motor hızına bağlı olarak motor gücüne etkisi verilmektedir. Yapılan deneysel çalışma sonucunda benzin kullanımı ile aracın katalog değeri olan 122 hp gücüne ulaşamamıştır. Bu durumu motorun imal edildiği ilk ölçümlerde kullanılan şartların tekrar oluşturulamaması yâda aracın kullanım süresince yıpranmasındaki etkileri ile açıklamak mümkündür. Benzin kullanımı ile maksimum 109,5 hp motor gücü elde edilirken LPG kullanımı ile bu rakam 106,5 hp gücüne düşmektedir. Maksimum motor gücünde benzin+LPG kullanımı ile yaklaşık % 2,7'lik bir kayıp görülmektedir. 2000 ve 2500 motor hızlarında benzin kullanımında motor gücü yüksekken, 3000 d/dak ile 4500 d/dak motor hızlarında LPG kullanımı ile motor gücünde bir miktar artış görülmüştür. Bu durumu LPG'nin ısı değeri benzinine göre fazla olması (% 8 oranında), C/H oranının düşük olması ve yanma hızının benzinine göre daha yüksek olması ile açıklamak mümkündür [21]. Silindir içerisine pilot yakıt olarak enjektörlerden püskürtülen benzin iyi derecede atomize olmaktadır. Tutuşmanın benzin ile sağlanmasının yanında hava+LPG ilavesinin yanmayı kısmen iyileştirdiği ve bu durumun motor gücünde artışa neden olduğu görülmüştür. Benzinli motorlarda LPG ilavesi ile ilgili yapılan çalışmalarda güç artışı ile ilgili olumlu ve olumsuz sonuçlardan bahsedilmektedir. Güç artışının olumlu yönde olduğundan bahseden çalışmalarda [22] pilot yakıtla birlikte yanmanın kalitesinin artışından bahsedilirken, doğrudan kullanılan çalışmalarda [23,24] ise yanmanın kısmen kötüleştiğinden ve bu durumda motor gücünün düştüğünden bahsedilmektedir. Bu çalışma ise TSİ teknolojisine sahip bir motorda pilot yakıt ile LPG kullanımında güç artışının olduğunu göstermektedir. Deneyler sırasında bir başka test ise taşıtın benzin ve benzin+LPG ile hızlanmasının ölçülmesi ile gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla taşıtın 60 km hızdan, 210 km hıza ne kadar sürede çıkacağı tespit edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen veriler sonucunda, benzinde kullanım ile araç 60-210 km hıza 14 saniyede ulaşırken LPG kullanımı ile bu süre 18 saniyeye çıkmıştır. Bu durumu LPG'nin silindirlere ulaşması için yeterli bir basınç değerinin oluşması için gerekli olan süre ile ifade etmek mümkündür. Çünkü LPG depoda yüksek bir basınçta sıvı halde depolanmaktadır. Depoda sıvı halde depolanan LPG'nin motorda kullanılması için, önce sıvı halden gaz fazına geçmesi ve ardından belirli bir basınç değerine ulaşması gerekmektedir [25]. Bu nedenle kayıp 4 saniyelik süreyi LPG'nin gerekli basınç değerlerine ulaşması ve silindir içerisine gönderilmesi için geçen süre ile ifade etmek mümkündür. Elde edilen bulgular literatürdeki [26] çalışması ile benzerlik göstermektedir.

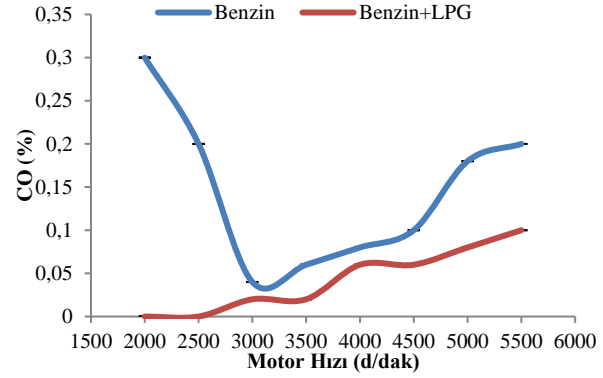


Şekil 3. Motor Hızının Motor Gücüne Etkisi (Effect of Engine Speed on Engine Power).

Şekil 4’de benzin ve benzin+LPG yakıtının motor hızına bağlı olarak motor torkuna etkisi verilmektedir. Motor torku silindir içerisine alınan yakıttan elde edilen yanmanın piston üzerine etki ettiği itme gücüdür. Aracın katalog değeri olan maksimum 200 Nm’lik motor torku benzin ile elde edilememiştir. Bunun yanında benzin kullanımı ile birlikte maksimum motor torku 177,5 Nm elde edilirken, LPG kullanımı ile bu değer 173,5 Nm’ye düşmüştür. Bu durumu emme manifoldundan gaz halinde gönderilen yakıt kütesinin silindir içerisinde tam manasıyla bir karışım teşkil ettirememesi ile açıklamak mümkündür. İdeal yakıt/hava karışımı oluşturulamadığı için silindir içerisinde kısmen yanma kötüleşmekte ve motor torku düşmektedir. Maksimum motor torkunda benzin+LPG kullanımı ile birlikte yaklaşık %2,25’lik tork düşüşünün olduğu tespit edilmiştir. Benzinli motorlarda silindirden maksimum motor torku elde edilebilmesi için pistonun üst ölü noktayı geçtikten sonra yakıtın yanması ve ardından alevlenmesi beklenilmektedir. Bu nedenle motor torkunun azalmasının bir başka nedeni olarak LPG’nin silindir içerisine alınma süresi ile ifade etmek de mümkündür. Diğer bir bakış açısıyla manifoldtan alınan LPG’nin piston konumunun istenilen yerinde alev almaması motor torkunda düşüşe neden olmuş olabilir.

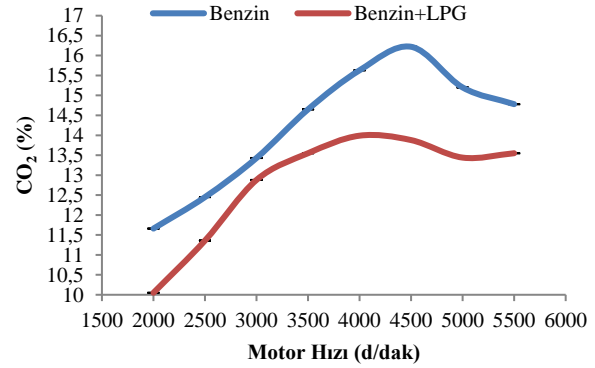


Şekil 4. Motor Hızının Motor Torkuna Etkisi (Effect of Engine Speed on Engine Torque).



Şekil 5. Motor Hızının CO emisyonuna etkisi (Effect of Engine Speed on CO emissions).

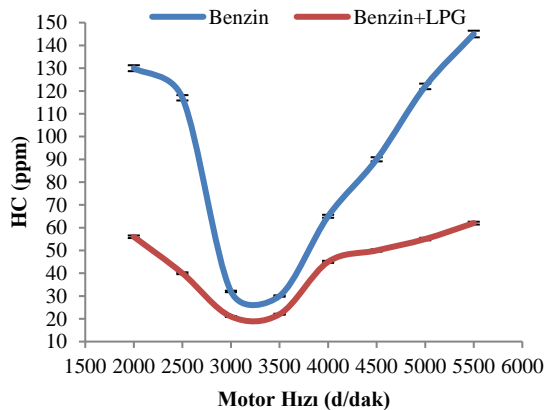
Şekil 6’da benzin ve benzin+LPG kullanımının motor hızına göre CO₂ emisyonlarına etkisi verilmektedir. CO₂ emisyonları LPG ilavesi ile birlikte tüm motor hızlarında azalma göstermektedir. Motor devrinin artmasına paralel olarak CO₂ emisyonları artıyor olsa da benzine göre azalma eğilimindedir. Yapılan çalışmalar CO₂ emisyonlarındaki azalmanın sebebini C/H oranını ile açıklamaktadır [28, 29]. Benzine göre LPG’nin C miktarı daha düşüktür. Bu nedenle benzin+LPG kullanımında benzine göre CO₂ emisyonlarında azalma görülmektedir. En yüksek CO₂ emisyonu benzin ile 4500 d/dak %16,22 oranı ile elde edilirken, en düşük CO₂ emisyon oranı ise 2000 d/dak %11,22 ile elde edilmiştir. LPG ile 2000 d/dak %10,05 CO₂ emisyonu elde edilirken en yüksek CO₂ değeri ise 4000 d/dak motor hızında %13,99 değeri ile elde edilmiştir.



Şekil 6. Motor Hızının CO₂ emisyonuna etkisi (Effect of Engine Speed on CO₂ emissions).

Şekil 7’de benzin ve LPG kullanımının motor hızına göre HC emisyonlarına etkisi verilmektedir. HC emisyonları silindir içerisine alınan yakıtların yanmadan egzozdan atılması ile oluşmaktadır. Benzin kullanımı ile düşük motor hızlarında HC emisyonlarında artış eğilimi görülmektedir. Motor devrinin artması ile birlikte ise emisyonların azaldığı fakat motor hızının daha da artması ile birlikte tekrar artış eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. Benzinli motorlarda düşük motor hızlarında azalan emme periyodu ile birlikte silindir içerisine alınan H/Y oranı

tam olarak ayarlanamamaktadır. Bu durum ise HC emisyonlarının artışına neden olmaktadır [29]. Motor hızının artması ile birlikteyse silindir içerisine alınan yakıt karışımlarının miktarı artmaktadır. Böylelikle her bir çevrim sonunda artan sıcaklık değerleri kısmen yanmayı iyileştirmekte ve HC emisyonlarının azalmasına neden olmaktadır. Motor devrinin daha da artırılması ile silindir içerisine alınan yakıtların yanması için gerekli sürenin sağlanamaması nedeniyle yakıtların yanmadan silindirden atıldığı böylelikle HC emisyonlarının arttığı düşünülmektedir. Benzin+LPG kullanımı ile tüm motor hızlarında HC emisyonlarında düşüş görülmektedir. Benzin+LPG kullanımında benzin pilot yakıtı ile daha iyi bir yanma başlangıcı, ve böylelikle daha ideal bir yanma oluşumu sağlandığı düşünülmektedir. İyi bir yanma ise LPG kullanımı ile HC emisyonlarını azaltmıştır. Bunun yanında HC emisyonları, aşırı fakir karışımda, düşük yanma sıcaklığı, aşırı zengin karışımda ise yetersiz oksijen ve kısıtlı reaksiyon zamanı neticesinde oluşmaktadır [30]. TSİ motorlarda LPG, fazla miktarda hava üzerine benzin ile tutuşturulmuş bir ortamda ilave edildiği ve elektronik kontrollü olarak gönderildiği için aşırı fakir ve aşırı zengin karışım bölgelerinin oluşmasının kısmen önüne geçmeyi hedeflemektedir. Böylelikle ideal bir yakıt/hava karışımının oluşması sağlanmaya çalışılmaktadır. Çünkü silindirlere alınan yakıttan maksimum yanmanın sağlanmasını hedeflemektedir. Bu durumda HC emisyonlarının azaltılmasını sağlamıştır. Benzin ile kullanım sonucunda en yüksek HC emisyon değeri 5500 d/dak motor hızında 145 ppm olarak tespit edilirken, en düşük HC değeri ise 3500 d/dak motor hızında 30 ppm olarak ölçülmüştür. LPG kullanımı ile en yüksek HC emisyon değeri 62 ppm ile 5500 d/dak ve en düşük HC emisyon değeri de 21 ppm ile 3000 d/dak motor hızında ölçülmüştür.



Şekil 7. Motor Hızının HC emisyonuna etkisi (Effect of Engine Speed on HC emissions).

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışma, turbolu benzinli ve direk püskürtmeli enjektör teknolojisine (TSİ) sahip bir taşıtta LPG kullanımının motor performansı ve emisyonlar açısından

incelenmesini araştırmıştır. Elde edilen bulgular göstermektedir ki;

- Taşıttın benzin+LPG ile çalıştırılması motor gücünü değiştirmiştir. Maksimum motor gücünde benzin yakıtı ile 109,5 HP güç değeri elde edilirken benzin+LPG yakıtı ile 106,3 HP'lik güç değeri elde edilmiştir. En düşük motor gücü ise 2000 d/dak motor hızında benzin ile 34 HP ve benzin+LPG yakıtı ile 30 HP olarak tespit edilmiştir. Ayrıca benzin+LPG kullanımı ile 3000 d/dak ve 4000 d/dak motor hızlarında benzin yakıtına göre 3,5 ve 2 HP'lik güç artışı görülmüştür.
- Benzin+LPG yakıtının kullanılması ile birlikte tüm motor hızlarında motor torkunda değişim olduğu tespit edilmiştir. En yüksek motor tork değeri benzin ile 3000 d/dak motor hızında 177 Nm olarak ölçülmüştür. Aynı motor hızında benzin+LPG kullanımı ile motor torkunun 174 oranına gerilediği görülmektedir. 2500 d/dak motor hızında benzin ve benzin+LPG yakıtları 160 Nm'lik motor torku üretilirken, motor hızının 4000 d/dak'ya yükselmesi ile birlikte benzin+LPG yakıtı ile üretilen tork değeri giderek azalmaktadır.
- 60 km hızdan 210 km hıza ulaşmak için yapılan hızlanma deneylerinde ise benzin kullanımı ile araç 210 km hıza 14 saniyede ulaşırken, benzin+LPG kullanımı ile birlikte bu süre 18 saniyeye çıkmıştır.
- Benzin+LPG kullanımı ile birlikte tüm motor hızlarında benzin kullanımına göre CO emisyonlarında azalma görülmüştür. En yüksek CO emisyonu 2000 d/dak motor hızında benzin ile %0,3 ile elde edilirken bu motor hızında benzin+LPG değeri ancak %0,001'dir. En yüksek CO emisyonu 5500 d/dak motor hızında benzin yakıtının kullanılması ile %0,2 olarak ölçülmüştür. Aynı motor hızında benzin+LPG yakıtı ile %0,1 değeri ölçülürken, 4000 ve 4500 d/dak motor hızlarında CO emisyonlarının %0,06 oranını yakaladığı görülmüştür.
- TSİ motor teknolojisine sahip bir taşıtta LPG kullanımı ile tüm motor hızlarında CO₂ emisyonlarında azalma görülmüştür. En düşük CO₂ emisyon değeri benzin+LPG kullanımı ile 2000 d/dak motor hızında %10,05 oranı ile tespit edilirken, benzin yakıtı için %11,66 ile aynı motor hızında ölçülmüştür. Benzin+LPG kullanımı ile en yüksek CO₂ emisyon değeri 4000 d/dak motor hızında %13,99 ile ölçülürken benzin kullanımı ile 4500 d/dak motor hızında %16,22 olarak tespit edilmiştir.
- Benzin+LPG kullanımı ile birlikte tüm motor hızlarında HC emisyonlarında düşüş görülmektedir. HC emisyonları açısından en düşük değerler 3500 d/dak motor hızında 22 ppm olarak benzin+LPG yakıtı ile tespit edilirken aynı

motor hızında benzin yakıtı ile 30 ppm ölçülmüştür. En yüksek HC emisyonu 450 ppm 5500 d/dak motor hızında benzin kullanımı ile ölçülürken aynı motor hızında benzin+LPG kullanımı ile HC emisyonları 62 ppm civarındadır.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Datta A., Mandal Kumar B., “A comprehensive review of biodiesel as an alternative fuel for compression ignition engine”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57: 799-821, (2016).
- [2] Barakat H. Z., Kamal M. M., Saad H. E., Ibrahim B., “Blending effect between the natural gas and the liquefied petroleum gas using multiple co-and cross-flow jets on NOx emissions”, *Ain Shams Engineering Journal*, 10: 419-434, (2019).
- [3] Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), Motorlu Kara Taşıtları Raporu 2019. İnternet Sitesi: <https://uym.ibt.gov.tr/kurumsal/haberler-ve-duyurular/t%C3%BCk-motorlu-karata%C5%9F%C4%B1lar%C4%B1-may%C4%B1s-2019-raporunu-yay%C4%B1nlad%C4%B1>, Erişim Tarihi:18/02/2020.
- [4] Lu G., Li L.,” Study on Combustion Parameters of Liquefied Petroleum Gas Engine” *Energy Procedia*, 12: 897-905, (2011).
- [5] Bruce O., Yuhan H., John L. Z., Nic C., Surawski Y., Yam W., Moka C., Guang H., “A remote sensing emissions monitoring programme reduces emissions of gasoline and LPG vehicles”, *Environmental Research*, 177: 108614, (2019).
- [6] Anonim, “LPG Tüketicisinin El Kitabı”, T.C Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK), (2018).
- [7] Demirci K. O., Çınar C., “HCCI-DI Bir Motorda Doğal Gaz Kullanımının Performans ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin İncelenmesi”, *Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 7: 317-330, (2019).
- [8] Laurencas R., Artūras K., Saulius M., Neringa K., Martynas S., “Liquefied petroleum gas (LPG) as a medium-term option in the transition to sustainable fuels and transport”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32: 513-525, (2014).
- [9] František S., Kristián Čulíka V., Rievaja J. G., “Liquefied petroleum gas as an alternative fuel”, *Transportation Research Procedia*, 40: 537-534, (2019).
- [10] Prins, “VSI-DI LPG sistemi”, İnternet Sitesi: <https://www.prins.com.tr/vsi-di-lpg-sistemi>, Erişim Tarihi: 30.10.2019.
- [11] Gümüş M., “Çift Yakıt Enjeksiyonlu Buji Ateşlemeli Bir Motorda LPG Kullanım Oranının Performans ve Emisyon Karakteristiklerine Etkisi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24: 265-273, (2009).
- [12] Mustafa K. F., Gitano-Briggs H. W., “Liquefied Petroleum Gas (LPG) as an Alternative Fuel in Spark Ignition Engine: Performance and Emission Characteristics”, *Proceedings of ICEE 2009 3rd International Conference on Energy and Environment*, (2009).
- [13] Nayak V., Rashmi G. S., Chitragar P., Mohanan P., “Combustion Characteristics and Cyclic variation of a LPG fuelled MPFI Four cylinder Gasoline Engine”, *Energy Procedia*, 90: 470 – 480, (2016).
- [14] Chitragar P. R., Shivaprasad K. V., Nayak V., Bedar P., Kumar G. N., “An experimental study on combustion and emission analysis of four cylinder 4-stroke gasoline engine using pure hydrogen and LPG at idle condition”, *Energy Procedia*, 90: 525 – 534. (2016).
- [15] Miqdam T. C., “Spark ignition engine performance fueled with hydrogen enriched liquefied petroleum gas (LPG)”, *Scholars Middle East Publishers*, (2019).
- [16] Aygaz, “LPG’nin teknik özellikleri ve içeriği”, İnternet Sitesi: <https://www.aygaz.com.tr/tupgaz/lpgnin-teknik-ozellikleri>, Erişim Tarihi: 30.10.2019.
- [17] Borawski, A., “Simulation studies of LPG injector used in 4th generation installations”, *Combustion Engines*, 160: 49-55, (2015).
- [18] Szpica, D., Czaban, J., “The assessment of correctness of engine adaptation for alternative LPG fueling based on full load engine characteristics of performance”, *Combustion Engines* 159: 3-11, (2014).
- [19] Lejda, K., Zielinska, E., “Gas Installations Requirements for Cars and Automobile Repair Shops Offering LPG Services”, *Teka. Commission Of Motorization And Energetics In Agriculture*, 15: 37–42, (2015).
- [20] Prins, “VSI sistemi”, İnternet Sitesi: <https://www.prins.com.tr/dosyalar/Prins%20VSI-DI-brosur.pdf>, Erişim Tarihi: 30.10.2019.
- [21] Kai, J.M., Michael, J.B., Gabriel da, S., Yi, Y., Frederick, L.D., “The autoignition of Liquefied Petroleum Gas (LPG) in spark-ignition engines”, *Proceedings of the Combustion Institute*, 35: 2933–2940, (2015).
- [22] Vinotha, T., Vasanthakumar, P., Krishnaraj, J., Arun S.S.K., Hariharan, J., Palanisamy, M., “Experimental Investigation on LPG + Diesel Fuelled Engine with DEE Ignition Improver”, *Materials Today: Proceedings*, 4: 9126–9132, (2017).
- [23] Keunsoo, K., Junghwan, K., Seungmook, O., Changup, K., Yonggyu, L., “Lower particulate matter emissions with a stoichiometric LPG direct injection engine”, *Fuel*, 187: 197-210, (2017).
- [24] Masi, M., “Experimental analysis on a spark ignition petrol engine fuelled with LPG (liquefied petroleum gas)”, *Energy*, 41: 252-260, (2012).
- [25] Albert, B., “Numerical study of the substitutional diesel fuel energy in a dual fuel diesel-LPG engine with two direct injectors per cylinder”, *Fuel Processing Technology*, 161 :41–51, (2017).
- [26] Duc, K.N., Duy, V.N., “Study on Performance Enhancement and Emission Reduction of Used Fuel-Injected Motorcycles Using Bi-Fuel Gasoline-LPG”, *Energy For Sustainable Development*, 43: 60-67 (2018).
- [27] Cha-Lee, M., Kwanhee, C., Juwon, K., Yunsung, L., Jongtae L., Simsoo P., “Comparative study of regulated and unregulated toxic emissions characteristics from a

- spark ignition direct injection light-duty vehicle fueled with gasoline and liquid phase LPG (liquefied petroleum gas)", *Energy*, 44: 189-196, (2012).
- [28] Park, C., Park, Y., Oh, S., Lee, Y., Kim, T.Y., "Effect of injection timing retard on ISI strategy in lean-burning LPG direct injection engines", *SAE tech paper* No: 2013-01-2636; (2013).
- [29] Ceviz, M.A., Yüksel, F., "Cyclic variations on LPG and gasoline-fuelled lean burn SI engine", *Renewable Energy*, 31: 1950-1960, (2006).
- [30] Keunsoo, K., Junghwan, K., Seungmook, O., Changup, K., Yonggyu, L., "Evaluation of injection and ignition schemes for the ultra-lean combustion direct-injection LPG engine to control particulate emissions", *Applied Energy*, 194: 123-135, (2017)