Received: 20 December 2017 Accepted: 19 February 2018 *DOI ID: 10.5505/jems.2018.42104*

Journal of ETA Maritime Science JEMS JOURNAL

Corresponding Author: Mehmet ÇAKIR

Doğal Gaz Yakıtlı Bir Araştırma Motorunun Kısmi Yüklerdeki Performansının Deneysel Analizi

Mehmet ÇAKIR

Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Türkiye
mecakir@yildiz.edu.tr; ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-5939-951X

Öz

Bu çalışmada tek silindirli bir araştırma motoru sıkıştırılmış doğal gaz (compressed natural gas, CNG) yakıtının kullanımı için uygun hale getirilmiştir. Motor farklı yük ve devirlerde çalıştırılmış olup, CNG yakıtının performans değerlerine etkisi ayrıntılı olarak incelenmiştir. Deney motorunda CNG yakıtı emme manifoldu üzerinden emme zamanı enjekte edilmiştir. Yakıt miktarı enjektörün açık kalma süresiyle kontrol edilmiştir. Yapılan performans ölçümleri sonucu efektif gücün motor devrinin yükselmesiyle arttığı belirlenmiştir. Özgül yakıt tüketimi ise motor devrinin yükselmesiyle artmış, ancak yükün artırılmasıyla azaldığı görülmüştür. Aynı şekilde volümetrik verim düşük yüklerde %80 civarında iken motor devrinin yükselmesiyle birlikte %65 civarına düştüğü belirlenmiştir. Sonuç olarak, deney motoru sıkıştırma oranı 10 için CNG yakıtı ile çalıştırılmış, performans eğrileri başarılı bir şekilde elde edilerek analizler gerçekleştirilmiştir. Yakıt olarak CNG kullanılması durumunda motor devrinin artmasıyla volümetrik verimin azaldığı ve yakıt tüketiminin arttığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: *Doğal Gaz, Motor Performans, Temiz Enerji.*

Experimental Performance Analysis of a Partially Loaded Natural Gas Fuelled Research Engine

Abstract

In this study, a single-cylinder research engine was refitted to CNG fuel usage. The effect of CNG fuel on the engine performance was examined in detail in different engine loads and speeds. In the single-cylinder test engine, the CNG fuel was injected to intake manifold through the suction time. Performance measurements showed that the effective power increased through the increase of the engine speed. The specific fuel consumption decreased as the load increased, but it was seen to increase with the engine speed increase. Similarly, it was seen that while the volumetric efficiency was about 80% at the low speed, the efficiency rate fell to 65% as the engine speed increased. As a result, the specific research engine at a compression ratio of 10 was run with CNG fuel, the performance curves were obtained, and performance analysis was carried out successfully. In the case of CNG usage, the results showed that as the engine speed increased volumetric efficiency decreased and the fuel consumption increased.

Keywords: *Natural Gas, Engine Performance, Clean Energy.*

To cite this article: Çakır, M. (2018). Doğal Gaz Yakıtlı Bir Araştırma Motorunun Kısmi Yüklerdeki Performansının Deneysel Analizi. *Journal of ETA Maritime Science*, 6(2), 85-91.
To link to this article: https://dx.doi.org/10.5505/jems.2018.42104

1. Giriş

İçten yanmalı motorlarda fosil kökenli yakıtlardan kaynaklanan zararlı emisyonları azaltmak ve motorun termal verimini artırmak amacıyla yine fosil kökenli temiz bir enerji kaynağı olan doğal gazın kullanımı günümüzde hız kazanmıştır. Özellikle, gemi kaynaklı hava kirliliğini engellemek için Uluslararası Denizcilik Örgütü (The International Maritime Organization, IMO) tarafından Marpol Ek 6'ya göre gemi kaynaklı NOx ve SOx emisyonları sınırlandırılmıştır. Belirli emisyon bölgelerinde bu kurallar daha sert bir şekilde uygulanmaktadır. Bu nedenle, motor üreticileri ve araştırmacılar, emisyonların düşürülmesi için fosil kökenli çevreci bir yakıt olan doğal gazın motorlarda kullanımı üzerindeki araştırmaları sürdürmektedirler.

Doğal gaz fosil kökenli yenilenebilir bir yakıt olmamasına karşın benzin ve dizel yakıt emisyonlarına göre daha çevreci bir yakıttır. Bu yüzden doğal gaz alternatif bir temiz enerji kaynağı olarak görülmektedir [1-3].

Doğal gaz yaklaşık %90'ından daha fazlası metan olan fosil kökenli bir yakıttır. Yüksek basınç altında sıkıştırılarak depolanabilmektedir [4]. Ayrıca atmosferik şartta sıcaklığının -162 °C'ye düşürülmesi ile sıvı hale geçerek de depolanabilme özelliğine sahiptir. Doğal gazın tutuşma sıcaklığı benzin ve dizele göre daha yüksek olması ve havadan daha hafif olması nedeniyle daha emniyetli olduğu söylenebilir.

İçten yanmalı motorlar üzerinde doğal gaz kullanım araştırmaları son yıllarda hızlanmıştır. Tek yakıt veya çift yakıt olarak kullanımı üzerine dönüşüm kitleri endüstride yerini almıştır. Ancak sıkıştırma oranı (ε), ateşleme avansı, yanma odası tasarımı vb. gibi konularda mühendislik araştırmaları halen devam etmektedir [5,6].

Gorby, alternatif yakıt çalışmaları için üretilen Ricardo deney motorunda, farklı doğal gaz enjeksiyon süreleri, farklı buji ve enjektör açılarında yaptığı çalışmada, kademeli dolgunun açıya göre değiştiğini gözlemiştir [7]. Diğer bir araştırmada manifolddan enjeksiyonlu bir buji ateşlemeli motor, direkt enjeksiyonlu bir doğal gaz motoruna dönüştürülmüş ve özgül yakıt tüketiminde % 0.28'lik bir düşüş olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca NOx emisyonlarında % 42'lik bir azalma olduğu gözlenmiştir [8]. Mohamad çalışmasında, buji ile beraber yekpare bir enjeksiyon tasarlamış ve doğal gazı buji tırnağının kenarından püskürtmeyi denemiştir. Yapılan uygulama sonucu yanma odasında kademeli dolgu oluşmuş ve doğal gazın manifolddan enjeksiyonuna göre yanmış kütle oranında büyük avantaj elde etmiştir. Silindir içi maksimum basıncın %11 yükseldiği ve volümetrik verimin %15 arttığı belirlenmiştir [9].

Yadollahi ve Boroomand [10], dört silindirli çok noktadan enjeksiyonlu bir benzin motorunun direkt enjeksiyonlu bir doğal gaz motoruna dönüşümü için sayısal bir model geliştirmişlerdir. AVL FIRE programını kullanarak, beş farklı piston oyuğu üzerinde yapılan yanma simülasyonunda en iyi performansın en dar oyuğa sahip pistonun çalışma şartlarında sağlandığını belirlemişlerdir.

Kato [11], 2.2 litre hacme sahip benzinli bir motoru, yakıt olarak sıkıştırılmış doğal gaz kullanan yeni bir motora dönüştürmüştür. Doğal gaz motoru, benzinle karşılaştırıldığında güç ve torkun düştüğü görülmüştür. Ancak sıkıştırma oranını artırılmış halde emme valfini erken kapatarak ve emme ve egzoz valf aralığını artırarak bu güç kaybını telafi etmiştir.

Literatürde yapılan çalışmalar doğal gazın içten yanmalı bir motorda yakıt olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Ancak, mevcut motor sistemleri için güç kaybını önlemek amacıyla motor üzerinde bazı modifikasyonların yapılması gereklidir. Bu çalışmada, Otto çevrime sahip tek silindirli su soğutmalı, sıkıştırma oranı 10 olan

bir deney motoru CNG ile çalıştırılmış ve performans ölçümü yapılmıştır. Farklı devir ve yüklerde CNG yakıtının kullanılmasının motor performansına etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

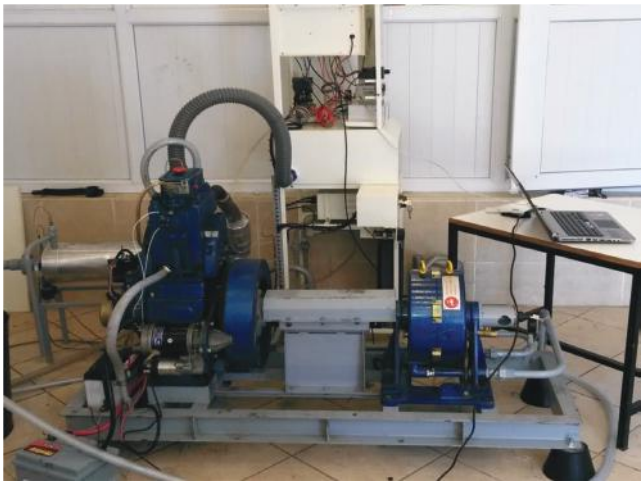
2. Deneysel Uygulama ve Metot

Motor performans deneyleri Tablo 1 ve Şekil 1'de verilen deney sistemi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneği, tek silindirli su soğutmalı deney motoru, motoru yüklemeye yarayan bir manyetik dinamometre, yakıt ve hava debisini ölçmek için kullanılan kütlesel debimetre ve sensörlerden gelen analog sinyalleri dijital hale dönüştüren bir donanımdan oluşmaktadır.

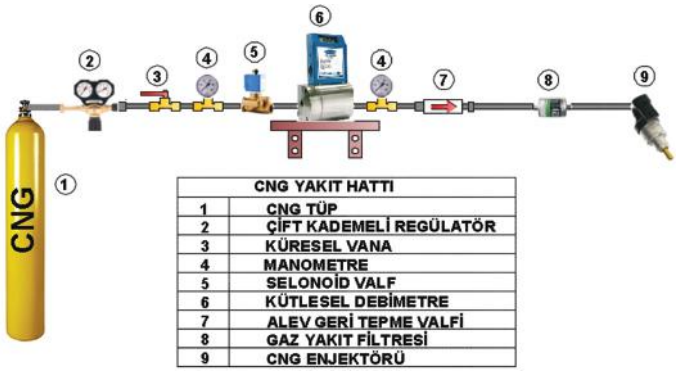
Motor yükünün ölçülebilmesi için Saj Test Plant firması tarafından imal edilen AG10 model dinamometre kullanılmıştır.

Tablo 1. *Deney Motoru Teknik Özellikleri*

Silindir sayısı	Tek silindirli
Soğutma	Su
Motor zamanı	4 zamanlı
Motor devri	2000
Güç (benzin için)	4.5 kW @ 1800
Silindir çapı	87.5 mm
Strok boyu	110 mm
Sıkıştırma oranı	10:1



Şekil 1. *Motor Performans Deney Sistemi*



CNG YAKIT HATTI	
1	CNG TÜP
2	ÇİFT KADEMELİ REGÜLATÖR
3	KÜRESEL VANA
4	MANOMETRE
5	SELONOİD VALF
6	KÜTLESEL DEBİMETRE
7	ALEV GERİ TEPME VALFİ
8	GAZ YAKIT FİLTRESİ
9	CNG ENJEKTÖRÜ

Şekil 2. *CNG Yakıt Hattı ve Enjeksiyon Sistemi*

Dinamometre üzerinde bulunan Sensortronics marka, 60001 model, S tipi, 0-50 kg kapasiteli üniversal bir yük hücresi motor çıkış milinde üretilen kuvveti ölçmek amacıyla sisteme eklenmiştir. Yük hücresinin dinamometre dönme merkezine uzaklığı 185 mm'dir.

CNG'nin motora uygun zamanda verilebilmesi için Şekil 2'de şeması verilen yakıt hattı imal edilmiş olup, yakıtın tutuşturulması için elektronik ateşleme sistemi geliştirilmiştir. Ateşleme ve püskürtme avansları elektronik bir kontrol ünitesi yardımıyla yapılmıştır.

Motor performans deneyleri, orijinal benzin motorunun sıkıştırma oranında (10:1) yapılmıştır. Motorun yanma odası Şekil 3'te detaylı olarak verilmiştir. Deneyler, gaz kelebeğinin tam açık konumunda farklı devir ve yüklerde gerçekleştirilmiştir. Motor yükü dinamometre üzerinde bulunan bir yük hücresi vasıtasıyla ölçülmüştür. Deneyler sonucu, motorun efektif gücü (Ge), fren ortalama efektif basıncı (oeb), fren özgül yakıt sarfiyatı (ÖYS), volümetrik verim (η_V) ve efektif verim (η_E) değerleri, aşağıdaki denklemler kullanılarak hesap edilmiştir [12].

Burada n devir sayısı (d/d), T motor torku (Nm), D silindir çapı (m), L strok (m), $\dot{m}_y$ yakıt kütlesel debisi (kg/h), $\dot{m}_H$ hava kütlesel debisi (kg/h), ρ_H hava yoğunluğu (1,16 kg/m^3) ve H_U yakıtın alt ısıl değeridir (H_U=47100 kJ/kg).

$$Ge = \frac{2\pi nT}{60000}\ (kW)$$

$$oeb = \frac{bP.60}{\pi.\frac{D^2}{4}.L.\frac{n}{2}.100}\ (bar)$$

$$ÖYS = \frac{\dot{m}_y}{BP}\ (\frac{kg}{kWh})$$

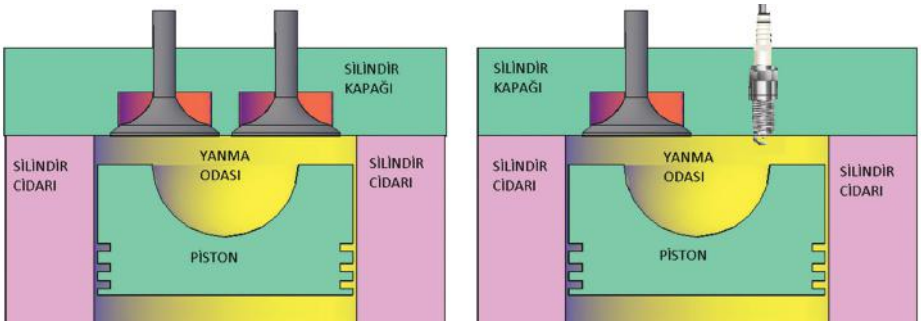
$$\eta_V = \frac{\dot{m}_H}{\pi.\frac{D^2}{4}.L.\frac{n}{2}.60.\rho_H}.100$$

$$\eta_E = \frac{bP.3600}{\dot{m}_y.H_U}.100$$

Motor performans deneyleri, gaz kelebeğinin tam açık konumu için motorun 1000-1200-1400-1600-1800 devirlerinde ve 4-20 kg arasında değişen yüklerde gerçekleştirilmiştir. CNG yakıtı emme manifoldu üzerinde bulunan bir CNG enjektör vasıtasıyla motorun emme zamanında püskürtülmüştür. Enjektörün açık kalma süresi ile karışımın zenginliği ayarlanmıştır. Tüm performans değerleri için ateşleme avansı 25 krank mili açısı (KMA) olarak belirlenmiştir.

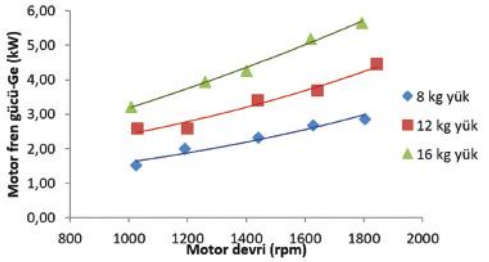
3. Araştırma Bulguları

Deneysel çalışmalar, motor rejim sıcaklığına ulaştıktan sonra yapılmıştır. Parametre değişimlerinde motor dinlendirilmiştir. Ölçümler sonucu bulunan veriler motor hızı referans alınarak karşılaştırılmıştır. Şekil 4 ve 5'te motorun

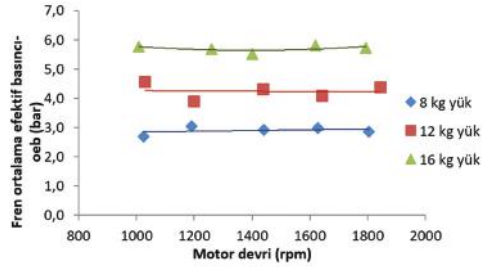


Şekil 3. *Deney Motoru Yanma Odası Görünüşleri*

efektif gücü ve fren ortalama efektif basıncının motor hızına göre değişim grafiği verilmektedir.

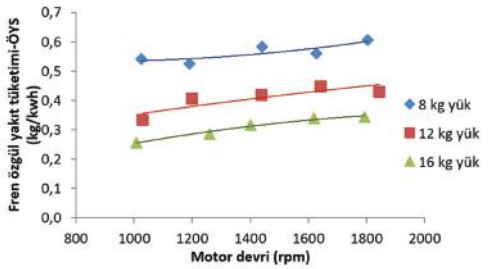


Şekil 4. *Farklı Yüklerde Efektif Gücün Motor Hızına Göre Değişimi*



Şekil 5. *Farklı Yüklerde Ortalama Basıncın Motor Hızına Göre Değişimi*

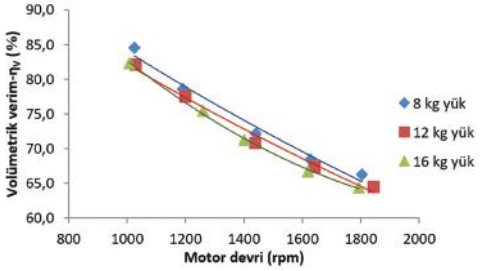
Şekil 4 ve 5 incelendiğinde efektif gücün motor devri ile arttığı, ortalama efektif basıncın ise yüke bağlı olarak 3 ile 6 bar arasında bir değişime uğradığı görülmüştür. Daha detaylı bir karşılaştırma için özgül yakıt sarfiyatının motor hızına göre değişim grafiği Şekil 6'da verilmiştir.



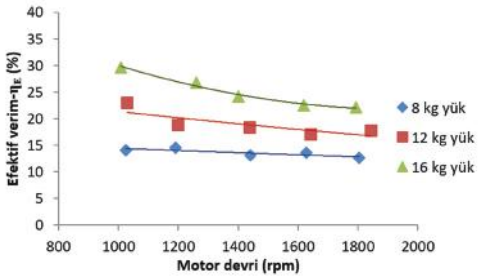
Şekil 6. *Farklı Yüklerde Özgül Yakıt Sarfiyatının Motor Hızına Göre Değişimi*

Şekil 6'ya göre, motor devri yükseldikçe ÖYS artmıştır. Ancak motor yükü arttıkça ÖYS değerinin azaldığı görülmüştür. ÖYS grafiği Şekil 4'deki efektif güç grafiği ile karşılaştırıldığında, efektif gücün yükselmesiyle ÖYS değerinin arttığı, ancak daha yüksek fren gücünde yakıt tüketiminin azaldığı görülmüştür. Örneğin, 1400 devir için 8 kg yük altında efektif güç 2,3 kW ve ÖYS değeri 0,6 kg/kWh iken, 16 kg yük altında değerler 4,3 kW ve 0,3 kg/kWh olduğu görülmüştür. Benzer şekilde, manifolddan enjeksiyonlu bir buji ateşlemeli motor, direkt enjeksiyonlu bir doğal gaz motoruna dönüştürülmüş ve özgül yakıt tüketiminde % 0.28'lik bir düşüş olduğu sonucuna ulaşılmıştır [13]. Bulgular, verim açısından karşılaştırıldığında, volümetrik verim ve efektif verimin motor devrine göre değişim grafikleri Şekil 7 ve 8'de sırasıyla verilmiştir.

Volümetrik verim - motor hız grafiği incelendiğinde devrin yükselmesiyle



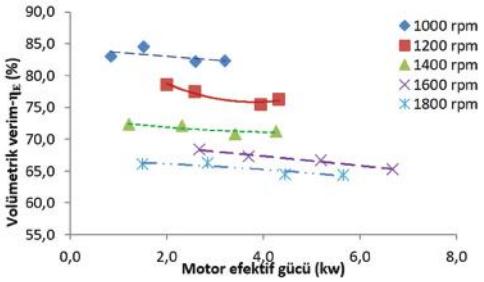
Şekil 7. *Farklı yüklerde volümetrik verimin motor hızı ile değişimi*



Şekil 8. *Farklı Yüklerde Efektif Verimin Motor Hızı ile Değişimi*

birlikte tüm yüklerde volümetrik verimin azaldığı görülmüştür. Ayrıca aynı motor hızında motor yükünün yüksek olması volümetrik verim değerini düşürmüştür. Şekil 8 incelendiğinde, CNG yakıtlı deney motorunun düşük devirlerde ve yüksek yüklerde daha verimli çalışmaya yöneldiği sonucu ortaya çıkmıştır. Motor 8 kg yük altında efektif verimi devirle fazla değişmezken, 16 kg yük altında efektif verim devrin artmasıyla azalmıştır. Ayrıca motor yüklendikçe efektif verimin arttığı gözlenmiştir.

Volümetrik verim motor için önemli bir parametre olup, motorun hava alabilme kabiliyeti olarak değerlendirilebilir. Bu bakımdan motor hızını dikkate alarak volümetrik verim efektif güç değişimi Şekil 9'da verilmiş olup, performans değerlerine farklı bir bakış açısı getirebileceği öngörülmüştür.



Şekil 9. *Farklı Motor Hızlarında Volümetrik Verimin Efektif Güç ile Değişimi*

Şekil 9'a göre volümetrik verim, motor devri yükseldikçe azalmıştır. Maksimum değerler % 85 civarı olup, 1000 devirde görülürken; motorun maksimum devri olan 1800 devirde % 68 civarına kadar düştüğü gözlenmiştir.

4. Sonuçlar

Enerji kaynağı olarak motorlarda petrol türevi benzin ve dizel yakıt kullanımı halen ilk sıradadır. Ancak, bu yakıtların çevreye ve insan sağlığına verdiği zarar, atmosferi maruz bıraktığı sera gazı etkisi, üretim maliyetleri ve kaynakların giderek azalması alternatif yakıt arayışlarına neden olmuştur. Düşük emisyon değerleri, daha fakir karışımlarda yanabilmesi ve maliyetinin benzin ve dizel yakıtına göre daha düşük olması gibi nedenlerden dolayı doğalgaz alternatif bir temiz enerji kaynağı olarak görülmektedir.

Bu çalışmada; tek silindirli, su soğutmalı, sıkıştırma oranı 10 olan bir benzin motoru, CNG dönüşümü yapılmış ve performans ölçümü başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Deneysel ölçümler farklı yük ve devirlerde yapılmıştır.

Araştırma bulguları motor hızı referans alınarak karşılaştırılmıştır. Efektif güç, yakıt sarfiyatı ve motor verimi grafikler ile gösterilmiştir. Efektif gücün motor hızının yükselmesiyle arttığı belirlenmiştir. Özgül yakıt sarfiyatı, motor devrinin yükselmesiyle artmış, ancak yük arttıkça azaldığı sonucuna ulaşılmıştır. Aynı şekilde volümetrik verim düşük yüklerde %80 civarında iken, motor devrinin yükselmesiyle birlikte %65 civarına gerilemiştir. Sonuçta motor devrinin yükselmesiyle volümetrik verim azalmış, yakıt tüketiminin arttığı görülmüştür. Maksimum yüklerde yakıt sarfiyatının artması beklenen bir durumdur. Ancak yakıt tüketim eğrileri incelendiğinde sürekli artan bir eğri görülmektedir. Yakıt tüketimindeki artış ve volümetrik verimdeki azalmanın, emme havasının bir miktar soğutulması veya motora aşırı doldurma desteği verilmesiyle, engellenebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Teşekkür

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 3501 Kariyer Geliştirme Programı kapsamında 214M329 nolu proje ile desteklenmiştir.

Kaynaklar

[1] Shashikantha., Parikh P.P., (1999). Spark ignition producer gas engine and dedicated compressed natural gas engine-Technology development and experimental performance optimization, SAE Technical Paper, 1999-01-3515.

[2] Stone, Richard., (1997). Introduction to Internal Combustion Engines 2nd Edition, SAE Inc., USA.

[3] Poulton, M.L., (1994). Alternative Fuels for Road Vehicles, Comp. Mechanics Publications, UK.

[4] Semin, Rosli Abu Bakar, (2008). Technical Review of Compressed Natural Gas as an Alternative Fuel for Internal Combustion Engines, American J. of Engineering and Applied Sciences 1 (4): 302-311.

[5] Cakir M., Sönmez H.İ., (2017). Determination of Pre-combustion Chamber Design for a Stratified Charge Natural Gas Engine, III. International Conference on Engineering and Natural Science (ICENS), Budapeşte, MACARISTAN, 3-7 Mayıs 2017, pp.609-613.

[6] Saraçoğlu, H., Söğüt, O. S. (2017). Metan yakıtlı sıkıştırmalı ateşlemeli motorlarda piston geometrisi ve yanma süreci parametrelerinin motor performansına etkilerinin kriging yöntemiyle incelenmesi. Journal of ETA Maritime Science, 5(4), 314-321.

[7] Gorby, D., (2007). An Evaluation of Partially Stratified Charge Ignition in a Direct Injection Natural Gas Engine, The University of British Colombia, Master Thesis of Applied Science, 87 p., Colombia.

[8] Kalam, M. A., Masjuki, H. H., (2011). An Experimental Investigation of High Performance Natural Gas Engine with Direct Injection, Energy, 36, 3563-3571.

[9] Mohamad., T. I., (2010). Compressed Natural Gas Direct Injection (Spark Plag Fuel Injector), Natural Gas, PrimoÃ…Â¾ PotoÃ„Ânik (Ed.), ISBN: 978-953-307-112-1

[10] Yadollahi, B., Boroomand, M., (2013). The Effect of Combustion Chamber Geometry on Injection and Mixture Preparation in a CNG Direct Injection SI Engine, Fuel, 107, 52–62.

[11] Kato, K., Igarashi, K., Masuda, M, Otsubo, K., Yasuda, A., Takeda, K., Sato, T., (1999). Development of engine for natural gas vehicle, SAE Technical Paper 1999-01-0574.

[12] Pulkrabek W. W. (2003).Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine, Prentice Hall Upper Saddle River, New Jersey, 394p.

[13] Kalam M. A., Masjuki H. H. (2011). An Experimental Investigation of High Performance Natural Gas Engine with Direct Injection, Energy, 36, 3563-3571.