ارزیابی توان و گشتاور یک موتور بنزینی با استفاده از سوخت‌های بنزین، CNG و LPGدر سرعت‌ها و بارگذاری‌های مختلف

محمدرضا سیفی* [۱]، زهرا قربانی [۲]

[۱] استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه اراک (m-r-seifi@araku.ac.ir)
[۲] فارغ‌التحصیل مقطع دکتری تخصصی، دانشگاه تهران (z.ghorbani90@utac.ir)

چکیده

در این مطالعه نتایج بررسی توان و گشتاور موتور با استفاده از ترکیبات مختلف سوختی بنزین، CNG و LPG ارائه شده است. مقایسه‌ها در چهار سرعت ۱۵۰۰ تا ۶۰۰۰ دور بر دقیقه با نرخ افزایشی ۱۵۰۰ دور بر دقیقه و پنج بارگذاری صفر تا صد درصد با نرخ افزایشی ۲۵ درصد انجام شد. هیچ‌گونه تغییری در ساختار موتور اعمال نشد. نتایج نشان داد که برای همه سوخت‌ها و بارگذاری‌ها با افزایش سرعت موتور توان به صورت تقریباً خطی افزایش می‌یابد. توان خروجی از موتور با سوخت‌های مختلف در بارگذاری‌های ۵۰ و ۷۵ درصد موتور با یکدیگر تفاوت مشهودی نشان نداد. اما در بارگذاری کامل موتور مقادیر توان خروجی برای بنزین و LPG تا حدی بیشتر از CNG بود. در همه بارگذاری‌ها با افزایش سرعت موتور ابتدا گشتاور افزایش و سپس کاهش می‌یابد. همانند نتایج بدست آمده برای توان، بین مقادیر گشتاور بدست آمده برای سوخت‌های مختلف در بارگذاری‌های میانی موتور تفاوت چندانی مشاهده نشد. اما در بارگذاری بیشینه موتور گشتاور خروجی موتور با استفاده از CNG به‌طور مشهودی کمتر از دو سوخت دیگر است.

کلمات کلیدی: *موتور بنزینی، CNG، LPG، سرعت موتور، بارگذاری موتور، توان و گشتاور موتور*

*نویسنده مسئول: m-r-seifi@araku.ac.ir

ارزیابی توان و گشتاور یک موتور بنزینی با استفاده از سوخت‌های بنزین، CNG و LPGدر سرعت‌ها و بارگذاری‌های مختلف

مقدمه

امروزه موتورهای بنزینیبرای انجام کارهای مختلف و به‌ویژه برای حمل و نقل و تولید برق در گلخانه‌ها و دامداری‌ها و برای مدت زمان‌های بسیار طولانی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در سال‌های اخیر بدلیل بازده مکانیکی زیاد، در انجام کارهای سبک نیز این موتورها استفاده گسترده‌ای پیدا کرده‌اند. بزرگترین مشکل موجود در راستای استفاده از بنزین، بدست آمدن آن از منابع فسیلی غیرقابل جایگزین می‌باشد که محدودیت مهمی در مسیر توسعه استفاده از این موتورها قلمداد می‌شود. یکی از راه‌های کاهش این محدودیت، استفاده از سوخت‌های جایگزین با بازده احتراقی مناسب می‌باشد. CNG و LPG دو سوخت مهم جایگزین‌های بنزین است که به وفور می‌توان در سرتاسر دنیا آن‌ها را بدست آورد.LPG از پروپان (C_3H_8) و بوتان (C_4H_{10}) تشکیل شده است و چگالی انرژی کمتری از بنزین و سوخت‌های روغنی دارد. بنابراین مصرف معادل آن در مقایسه با این دو نوع سوخت بیشتر است[۱]. برای استفاده از این سوخت‌ها نیاز به هیچ‌گونه اصلاحاتی در موتور نمی‌باشد. CNG از فشرده کردن گاز طبیعی که عمده آن متان است (CH_4) بدست می‌آید. برای نگهداری آن از کپسول‌های پرفشار ۲۰۰ تا ۲۴۸ بار استفاده می‌شود. استفاده از CNG هزینه‌های کاربری را تا ۷۰ درصد کاهش می‌دهد[۲]. در اواخر دهه ۱۹۵۰ شرکت‌ها شروع به تولید سیلندرهای LPG برای مصارف خانگی کردند. وسایل نقلیه با سوخت CNG از اواسط دهه ۱۹۳۰ مورد استفاده قرار گرفتند. در سال ۲۰۰۸ تعداد ۷۷۱ ایستگاه گاز طبیعی در آلمان مشغول به فعالیت بوده‌اند و تعداد آن‌ها در حال افزایش بود. با توجه به تعدد موتورهای بنزینی در کشور، استفاده از سوخت‌های گازی می‌تواند به عنوان بهترین راه‌حل برای کاهش روند صعودی مصرف بنزین باشد. لذا با توجه به اینکه مهم‌ترین پارامتر عملکردی موتور توان و گشتاور آن می‌باشد، بنابراین می‌بایست در رابطه با مشخصه‌های عملکردی موتورهای بنزینی با استفاده از سوخت‌های گازی نیز مطالعه کرد تا تأثیر آن را بر قابلیت انجام کار موتورها در شرایط کاری مختلف ارزیابی شود.

مواد و روش‌ها

مقدمات آزمایش

بنزین مورد استفاده در این آزمایش دارای استاندارد یورو ۵ می‌باشد. مشخصات موتور مورد استفاده در جدول (۱) آورده داده شده است

جدول ۱- مشخصات موتور دیزل.

Model	PIAGGIO
No. of cylinders	4
Stroke	mm88
Bore	mm95
Cylinder Volume	L1.27
Maximum power at 6000 rpm	kW62
Maximum torque at 4300 rpm	N.m108

برای بارگذاری موتور و رسیدن به سرعت‌های ۱۵۰۰ تا ۶۰۰۰ دور بر دقیقه با نرخ افزایشی ۱۵۰۰ دور بر دقیقه از دینامومتر مدل Apicom استفاده شد (شکل۱). دقت اندازه‌گیری توان و گشتاور این دینامومتر به‌ترتیب ۰/۱ کیلووات و یک نیوتن‌متر و دقت اندازه‌گیری سرعت دورانی یک دور بر دقیقه بود. دینامومتر از نوع ادی‌کارنت[1] بوده و با اعمال میدان مغناطیسی، میزان توان و گشتاور را به‌صورت

1.Eddy current

خودکار اندازه‌گیری می‌کرد. دینامومتر توسط یک کوپلینگ لاستیکی مخصوص به میل‌لنگ موتور وصل شد. اعمال بار به موتور به صورت دستی و به کمک کنترل از راه دور دینامومتر انجام شد. سرعت دورانی موتور و مقادیر توان و گشتاور در هر سرعت از روی نمایشگر کنترل از راه دور قابل‌رؤیت بود. میزان گشتاور مورد نیاز برای بارگذاری‌ها از پیش تعیین شده و با اندازه‌گیری گشتاور بیشینه موتور بدست آمد. گشتاور به‌عنوان تلاش چرخشی تعریف می‌شود و ناشی از نیرویی می‌باشد که عمود بر یک فاصله وارد می‌شود. گشتاور هر موتور میزان توانایی آن موتور برای انجام کار است. گشتاور درواقع امکان حرکت یک وسیله نقلیه را بر سطح مورد نظر توسط موتور تعیین می‌کند. گشتاور موجود در چرخ لنگر موتور از رابطه (۳-۱) محاسبه شد:

$$T = R \times F \quad (۳-۱)$$

که در این رابطه T گشتاور موتور در چرخ‌لنگر برحسب نیوتن متر، F برآیند نیروهای حاصل از احتراق و اینرسی قسمت‌های متحرک موتور برحسب نیوتن و R فاصله از مرکز میل‌لنگ برحسب متر است. از آن‌جا که گشتاور اندازه‌گیری شده برای موتور تراکتور درواقع گشتاور محور توان‌دهی تراکتور است؛ لذا مقادیر گشتاور بر نسبت تغییر سرعت موتور در محور توان‌دهی (عدد ۲ مطابق با دفترچه راهنمای تراکتور) تقسیم شدند. به این ترتیب، مقدار گشتاور موجود در چرخ‌لنگر موتور تراکتور محاسبه شد. توان به‌عنوان کارانجام شده در واحد زمان تعریف می‌شود. توان موجود در چرخ لنگر موتور از رابطه (۳-۱) محاسبه می‌گردد:

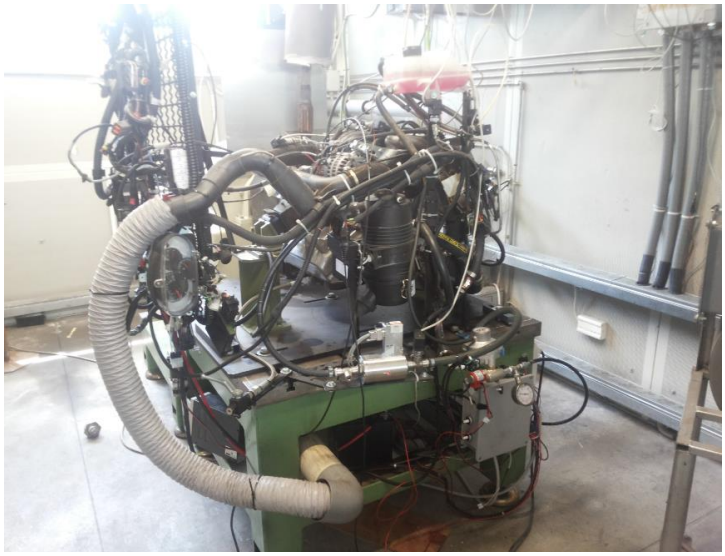
$$P = \frac{2\pi TN}{6000} \quad (۳-۲)$$

که در این رابطه P توان موتور در چرخ‌لنگر برحسب کیلووات، T گشتاور موتور در چرخ‌لنگر برحسب نیوتن متر و N سرعت موتور برحسب دور بر دقیقه است. رابطه (۳-۱) بعد از ساده‌سازی به‌صورت رابطه (۳-۲) در می‌آید. بدین ترتیب توان موتور حاصلضربی از گشتاور و سرعت دورانی موتور خواهد بود.

$$P = \frac{TN}{9554} \quad (۳-۳)$$

شکل ۱- دینامومتر Apicom

موتور داخل یک اتاق استاندارد قرار داده شد که تصویر آن در شکل (۲) مشاهده می‌گردد. ابعاد حداقلی اتاق براساس این اصل شکل تعیین می‌شود که هیچ بخشی از موتور نباید با دیواره اتاق در تماس باشد.



شکل ۲- نمایی از موتور تحت آزمایش

رگرسیون چند متغیره خطی

پس از انجام اندازه‌گیری‌ها و بررسی اولیه نتایج، میزان تأثیر متغیرهای مستقل بر متغیرهای اندازه‌گیری شده توسط تحلیل رگرسیون چند متغیره خطی ارزیابی شد. منظور از مدل خطی معادله‌ای است که نسبت به ضرایب خطی باشد. براساس این تعریف چندجمله‌ای‌ها در گروه معادلات خطی قرار می‌گیرند. مدل رگرسیون چند متغیره دارای شکل عمومی زیر است:

$$y = X\beta + \varepsilon \qquad (۱۴)$$

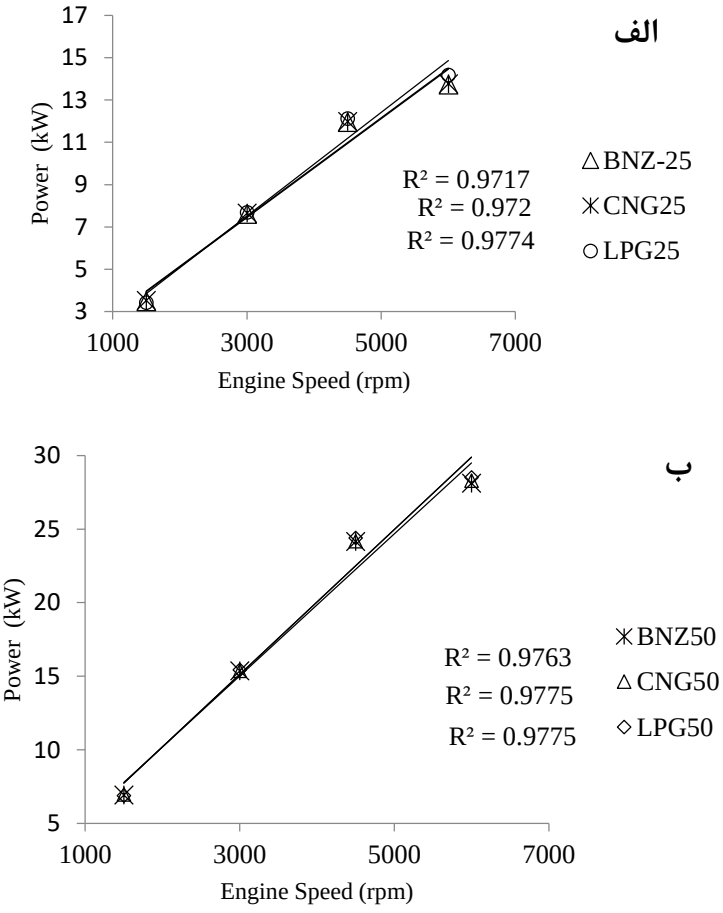
در این رابطه y بردار $n*1$ مشاهدات، X ماتریس $n*p$ متغیرهای مستقل مدل، β بردار $p*1$ ضرایب و ε بردار $n*1$ خطاها است. به‌منظور انجام تحلیل رگرسیون چند متغیره در این تحقیق از نرم‌افزار SAS استفاده شد.

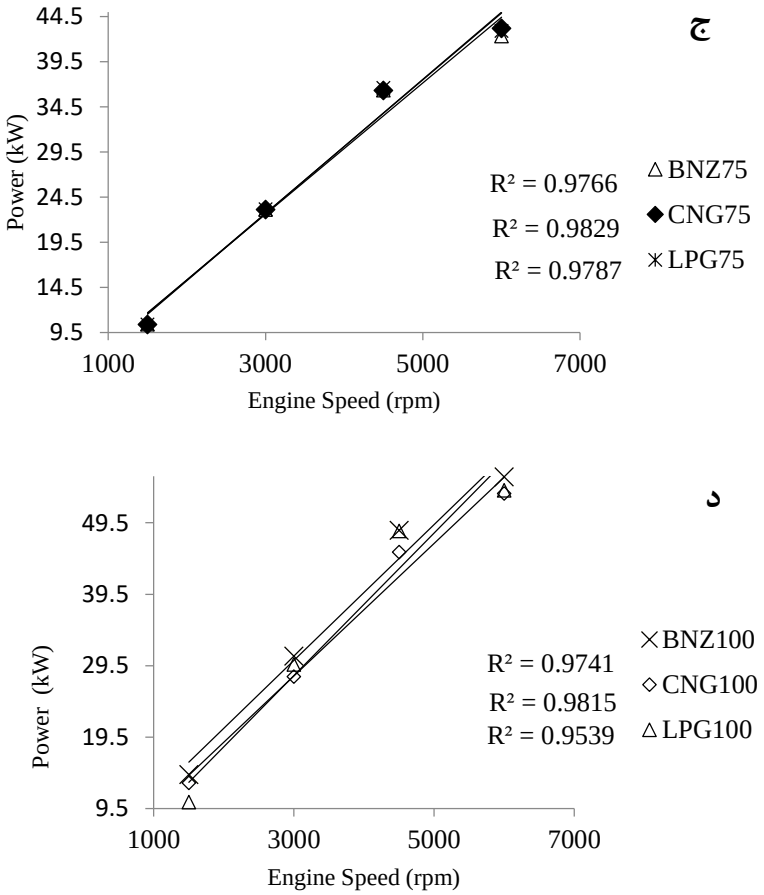
نتایج و بحث

بخش‌های مختلف شکل ۳ مقادیر توان خروجی موتور را برای سوخت‌های مختلف در سرعت‌ها و بارگذاری‌های متفاوت نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشخص است، تحلیل رگرسیون افزایش توان موتور با افزایش سرعت را در بارگذاری‌های مختلف را با ضریب تعیین زیاد نشان می‌دهد که این رابطه به صورت خطی می‌باشد. در همه حالت‌ها بیشترین میزان توان ثبت شده در سرعت rpm ۶۰۰۰ و کمترین توان مربوط به سرعت rpm ۱۵۰۰ می‌باشد. افزایش ضربات احتراق در واحد زمان می‌تواند دلیل اصلی افزایش توان خروجی با افزایش سرعت موتور باشد[۳]. همچنین با افزایش بارگذاری موتور توان خروجی آن افزایش یافت که می‌تواند به دلیل بیشتر شدن سوخت تحویلی به موتور با افزایش بارگذاری باشد که احتراق قوی‌تر و با بازده مکانیکی بیشتر را به دنبال دارد. نکته قابل توجه در بخش‌های الف تا ج مختلف شکل ۳ عدم تفاوت مشهود در توان خروجی موتور با استفاده از سه سوخت بنزین، CNG و LPG می‌باشد که نشان از طراحی بسیار مناسب موتور می‌باشد که توانایی کارکرد مطلوب با سوخت‌های گازی را همانند سوخت بنزین دارد. حتی

مطلوبیت عملکرد موتور با استفاده از سوخت‌های گازی تا آنجا پیش می‌رود که در بارگذاری ۷۵ درصد و سرعت ۶۰۰۰ rpm توان خروجی سوخت بنزینی مقداری کمتر از سوخت‌های گازی می‌باشد. دلیل این امر می‌تواند نیاز به تأخیر اشتعال بیشتر برای تبخیر و سوختن بنزین در مقایسه سوخت‌های گازی باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در حالتی که به همه توان موتور برای انجام یک کار نیاز نیست (بارگذاری‌های کمتر از بار کامل) و سرعت‌های بیشینه موتور (به عنوان مثال در حالت حمل و نقل) می‌توان با اطمینان از سوخت‌های گازی شکل به جای بنزین استفاده کرد و حتی خروجی بهتری نسبت به بنزین بهره‌مند شد.

در بار کامل موتور که بیشترین میزان سوخت در سیلندرها پاشیده می‌شود، مشکل تأخیر در اشتعال برای سوخت بنزین حل شده و در همه سرعت‌ها توان بیشتری از سوخت‌های گازی نشان می‌دهد. در بار کامل، سوخت‌های گازی CNG و LPG روند مشابهی دنبال نمی‌کنند و در برخی سرعت‌ها، CNG توان بیشتر و در برخی دیگر LPG شرایط بهتری از خود نشان می‌دهد. به گونه‌ای که در سرعت rpm ۴۵۰۰ و بار کامل، توان خروجی LPG با بنزین برابر است که حاکی از آن است که می‌توان در این سرعت بدون افت توان سوخت بنزین را با LPG جایگزین کرد.

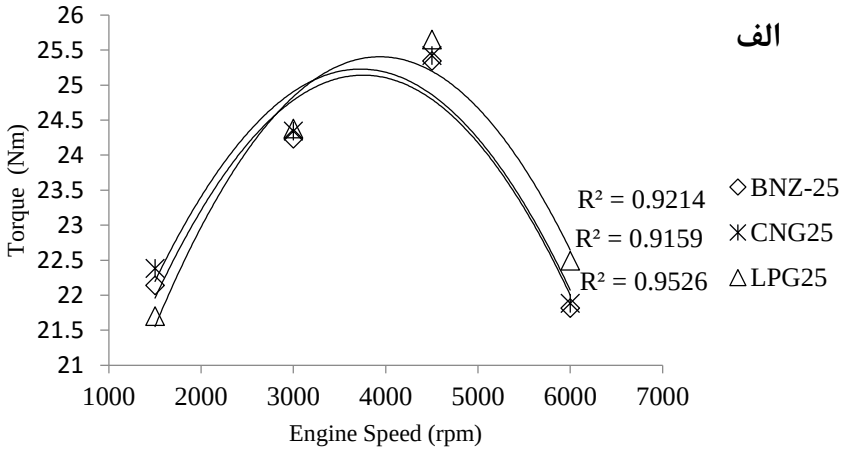


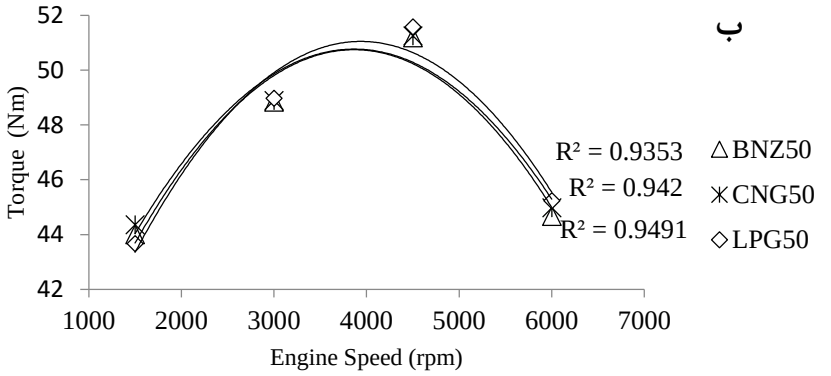


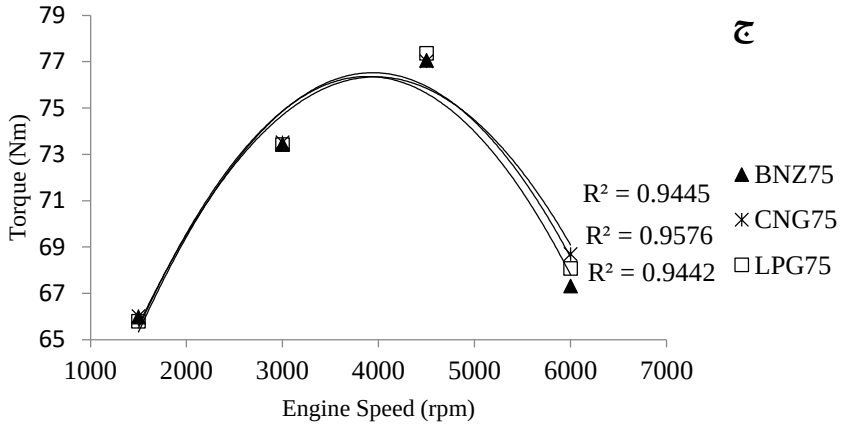
شکل ۳- توان خروجی موتور در سرعت‌های مختلف با استفاده از سه سوخت مورد مطالعه در بارگذاری‌های: الف- ۲۵٪، ب- ۵۰٪، ج- ۷۵٪ و د- ۱۰۰٪.

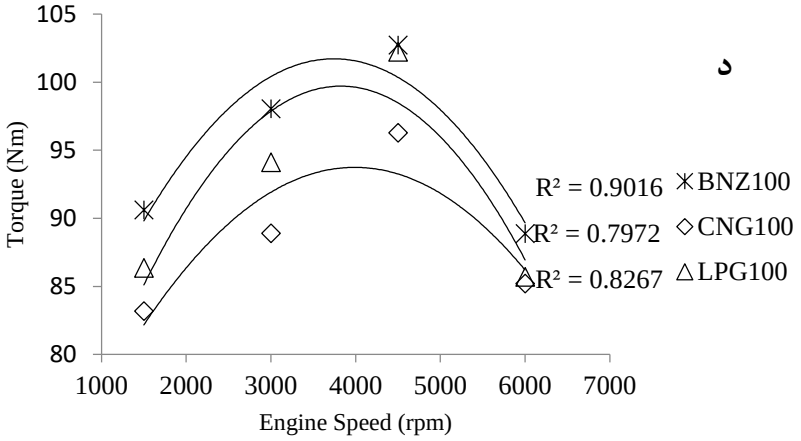
شکل ۴ مقادیر گشتاور خروجی موتور را برای سوخت‌های مختلف در سرعت‌ها و بارگذاری‌های متفاوت نشان می‌دهد. تحلیل رگرسیون رابطه درجه دو را بین گشتاور موتور و سرعت در بارگذاری‌های مختلف با ضریب تعیین زیاد نشان می‌دهد؛ طوری‌که ابتدا با افزایش سرعت گشتاور موتور افزایش یافته و پس از سرعت حدود ۴۱۰۰ rpm گشتاور خروجی از موتور برای همه سوخت‌ها و بارگذاری‌های مختلف روندی کاهشی از خود نشان می‌دهد. دلیل کاهش گشتاور با افزایش دور، ناتوانی موتور در تغذیه کامل سیلندر از هوا است که بازده احتراق را کاهش می‌دهد[۴و ۵]. همچنین مقایسه بخش‌های مختلف شکل ۴ افزایش گشتاور خروجی را با افزایش بارگذاری موتور برای سوخت‌های مختلف نشان می‌دهد. با توجه به افزایش سوخت پاشیده شده در سیلندر، افزایش گشتاور خروجی برای بارگذاری‌های بیشتر امری بدیهی است. بررسی بخش‌های ب و ج شکل نشان می‌دهد که در بارگذاری‌های ۵۰٪ و ۷۵٪ و سرعت‌های rpm ۴۵۰۰ و rpm ۶۰۰۰ سوخت‌های CNG و LPG با داشتن بیشترین میزان گشتاور خروجی شرایط بهتری از سوخت گران بنزین دارند. بنابراین می‌توان با اطمینان از این دو سوخت برای انجام کارهای سنگین در حالت کاری کمتر از بار کامل موتور استفاده کرد. اما همانند شرایط شکل ۳ در بارگذاری کامل موتور، پاشش زیاد سوخت بنزین با گشتاور خروجی بیشتری برای این سوخت همراه است. مشابه حالتی که برای توان LPG در بار کامل و سرعت rpm ۴۵۰۰ مشاهده شد در اینجا نیز برای گشتاور برقرار است. با داشتن حدود ۱۰۲ نیوتن متر گشتاور برای سوخت LPG، که مقداری نزدیک به گشتاور بیشینه این موتور است، در مجموع برتری نسبی این سوخت نسبت به سوخت CNG مشهود است. همچنین تفاوت گشتاور خروجی موتور در بار کامل برای دو سوخت گازی در سرعت‌های کمتر از rpm ۶۰۰۰

بسیار چشمگیرتر از بارگذاری‌های کمتر موتور است. اما در صورتی که قرار به استفاده از موتور در بارگذاری کامل و بیشینه سرعت آن باشد، می‌توان یک خروجی از گشتاور موتور را برای سوخت‌های گازی شکل انتظار داشت.









شکل ٤- گشتاور خروجی موتور در سرعت‌های مختلف با استفاده از سه سوخت مورد مطالعه در بارگذاری‌های: الف- ۲۵٪، ب- ۵۰٪، ج- ۷۵٪ و د- ۱۰۰٪.

نتیجه‌گیری

افزایش سرعت موتور و بارگذاری آن با افزایش توان خروجی همراه است. در بارگذاری‌های کمتر از بار کامل موتور تفاوت چندانی بین توان خروجی موتور با استفاده از سوخت‌های مختلف در سرعت‌های کاری مورد مطالعه مشاهده نشد. بنابراین در حالتی که به همه توان موتور برای انجام یک کار نیاز نیست می‌توان با اطمینان از سوخت‌های گازی شکل به جای بنزین استفاده کرد و حتی در برخی موارد می‌توان از خروجی بهتری نسبت به بنزین بهره‌مند شد. با افزایش سرعت، گشتاور موتور ابتدا افزایش یافته و سپس روندی کاهشی از خود نشان می‌دهد. اما روند افزایشی گشتاور با افزایش بارگذاری موتور مشاهده شد. شرایط بهتر گشتاور خروجی در بارگذاری‌های ۵۰٪ و ۷۵٪ و سرعت‌های ۴۵۰۰ rpm و ۶۰۰۰ rpm برای سوخت‌های CNG و LPG در مقایسه با سوخت گران بنزین نشان می‌دهد که می‌توان با اطمینان از این دو سوخت برای انجام کارهای سنگین در حالت کاری کمتر از بار کامل موتور استفاده کرد. با داشتن حدود ۱۰۲ نیوتن متر گشتاور برای سوخت LPG و همچنین توانی نزدیک به توان بیشینه در بار کامل موتور، در مجموع برتری نسبی این سوخت نسبت به سوخت CNG مشهود است. نتایج بدست آمده برای این موتور نشان داد که استفاده از CNG و LPG با عدم افت توان توان و گشتاور در بارگذاری‌های کمتر از بار کامل می‌تواند جایگزین مناسبی برای سوخت بنزین باشد.

مراجع

1. Momin, M. S. A., Dutta, M., Hassan, M. S., Kader, M. G., &Iftakher, S. M. (2016, December). Study of LPG (Liquefied Petroleum Gas) And CNG (Compressed Natural Gas) Vehicles And It's Future Aspects. In Proc. In Int. Conference on Mechanical, Industrial and Energy Engineering (ICMIEE), Khulna, Bangladesh.
2. Liquefied Petroleum Gas Specifications and Test Methods". Gas processors Association. Retrieved 2012 -05 -18
3. Seifi, M.R., Hassan-Beygi, S.R., Ghobadian, B., Desideri, U. and Antonelli, M., 2016. Experimental investigation of a diesel engine power, torque and noiseemission using water–diesel emulsions. Fuel; 166: 392-399.
4. Pulkrabek, W.W. 2014. Engineering fundamentals of the internal combustion engine. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall, US.
5. Abu-Zaid, M., 2004. Performance of single cylinder, direct injection diesel engine using water fuel emulsions. Energy Conversion and Management; 45(5): 697-705.

Evaluating the engine power and torque at different speeds and loading conditions using gasoline, LPG and CNG

Mohammad Reza seifi[1*], Zahra Ghorbani [2]

[1] Department of Biosystem Mechanics, Arak University, Email: m-r-seifi@araku.ac.ir.

[2.]PhD graduate, University of Tehran. [*]Email:z.ghorbani90@ut.ac.ir.

Abstract

In the present study, the results of an investigation on a direct injection engine using gasoline, CNG and LPG are reported. The engine was run at different engine speeds ranging from 1500 to 6000 rpm, with steps of 1500 rpm, and four engine loading conditions (25%, 50%, 75% and 100%). No change in engine components and fuel injection systems was made. The results showed linear increase in engine power with the increase in its speed at different loading condition. No difference was found between the engine power output using different fuel blends at 50% and 75% loading conditions. However, at full load greater engine power was obtained for gasoline and LPG. At all loading conditions, the engine torque first increased with the engine speed. But torque decrement was obtained at speeds higher than 4100 rpm. Similar to engine power, at medium loading conditions same torque output was observed for the three fuels. At full load condition. there was a slight decrease in torque output when using CNG.

Keywords: Gasoline engine, CNG, LPG, engine speed, loading condition, engine power and torque.

*Corresponding author
E-mail: m-r-seifi@araku.ac.ir