تغییرات دمای گازهای خروجی اگزوز یک موتور بنزینی با استفاده از بنزین، CNG و LPG در سرعت‌ها و بارگذاری‌های مختلف موتور

زهرا قربانی[۱]، محمدرضا سیفی*[۲]، محمود کریمی[۳]

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

چکیده

در این مطالعه نتایج بررسی دمای گازهای خروجی از اگزوز 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 با افزایش سرعت موتور در همه بارگذاری‌ها، دمای گازهای خروجی اگزوز به صورت خطی افزایش می‌یابد. برای همه سوخت‌ها، بارگذاری‌های بیشینه موتور با بیشترین دمای گازهای خروجی از اگزوز همراه است. ارزش حرارتی زیاد سوخت بنزین باعث ایجاد بیشینه دمای احتراق برای این سوخت در مقایسه با سوخت‌های گازی شد. بیشترین میزان دمای گازهای خروجی مربوط به سرعت ۴۵۰۰ rpm موتور می‌باشد. احتراق ناقص موتور برای LPG و بنزین در سرعت کمینه موتور و حالت کارکرد درجا باعث افزایش دمای گازهای خروجی از اگزوز شده است. مشابهت‌های بدست آمده برای بنزین و LPG نشان می‌دهد که می‌توان از LPG بدون نیاز به کوچک‌ترین تغییری در عملکرد به جای سوخت بنزین استفاده کرد.

کلمات کلیدی: *موتور بنزینی، CNG، LPG، سرعت موتور، بارگذاری موتور، دمای گازهای خروجی اگزوز*

*نویسنده مسئول: mrseifi83@gmail.com.

تغییرات دمای گازهای خروجی اگزوز یک موتور بنزینی با استفاده از بنزین، CNG و LPG در سرعت‌ها و بارگذاری‌های مختلف موتور

مقدمه

امروزه موتورهای بنزینی برای 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 به‌وفور می‌توان در سرتاسر دنیا آن‌ها را بدست آورد. ثابت شده است که موتورهای احتراق داخلی اشتعال جرقه‌ای به خوبی و بدون نیاز به اصلاحاتی می‌توانند با این دو سوخت گازی کار کنند [۱]. 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 [۲].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[۳]. 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.بر اساس نظریه انجمن بین‌المللی وسایط نقلیه گازی (IANGV)، با توجه به برنامه‌ریزی‌های اتحادیه اروپا و سیاست‌گذاری کشورهای آسیایی، ۵۰ میلیون وسیله نقلیه گازسوز تا سال ۲۰۲۰ در دنیا مورد استفاده قرار خواهند گرفت [۶-۴]. 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 سوخت‌های گازی عملیات تبخیر که فرایندی گرماگیر است را در سیلندر موتور انجام نمی‌دهند؛ انتظار می‌رود که دمای احتراق سیلندر با استفاده از این سوخت‌ها بیشتر از بنزین باشد [۷]. بیشتر بودن دمای احتراق برای این سوخت‌ها ممکن است مشکلاتی را برای قطعات متحرک موتور به‌ویژه سیلندر، پیستون، مانیفولدهای خروجی و انباره اگزوز و مافلر ایجاد کند. چون شوک‌های حرارتی ناشی از سرد و گرم شدن موتور در سیکل‌های متوالی احتراق بیشتر خواهد بود و می‌تواند عمر قطعات موتور را کم کند. بنابراین بایست در رابطه با دمای احتراق موتورهای بنزینی با استفاده از سوخت‌های گازی نیز مطالعه کرد تا تأثیر آن را بر سلامت قطعات متحرک موتور تعیین نمود. در این مطالعه دمای گازهای خروجی اگزوز با استفاده از سه سوخت بنزین، CNG و LPG اندازه‌گیری شده و با یکدیگر مقایسه می‌شود.

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

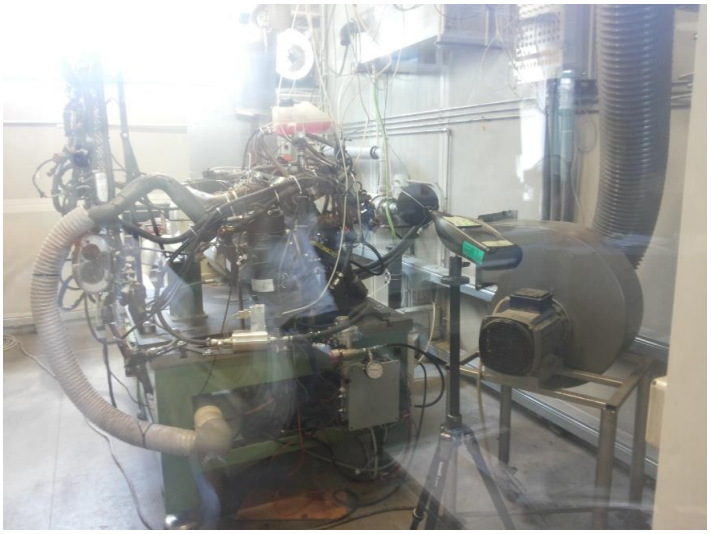
جدول ۱- مشخصات موتور دیزل.

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 به ترتیب ۰/۱ کیلووات و یک نیوتن‌متر و دقت اندازه-گیری سرعت دورانی یک دور بر دقیقه بود. 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 موردنیاز برای بارگذاری‌ها از پیش تعیین شده و با اندازه‌گیری گشتاور بیشینه موتور بدست آمد.

شکل ۱- دینامومتر Apicom

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



شکل ۲- نمایی از موتور تحت آزمایش

برای اندازه‌گیری دمای گازهای خروجی اگزوز از دماسنج Brannan با طول پراب ۱۵۰ میلی‌متر استفاده شد که تصویر آن در شکل ۳ نشان داده شده است. ماهیت دیجیتال این دماسنج، امکان ذخیره داده‌ها را در یک سامانه جمع‌آوری داده فراهم می‌کرد. دقت اندازه‌گیری این دماسنج برحسب دهم درجه سانتی‌گراد بود.

شکل۳- دماسنج مورد استفاده برای اندازه‌گیری دمای گازهای خروجی اگزوز

رگرسیون چند متغیره خطی

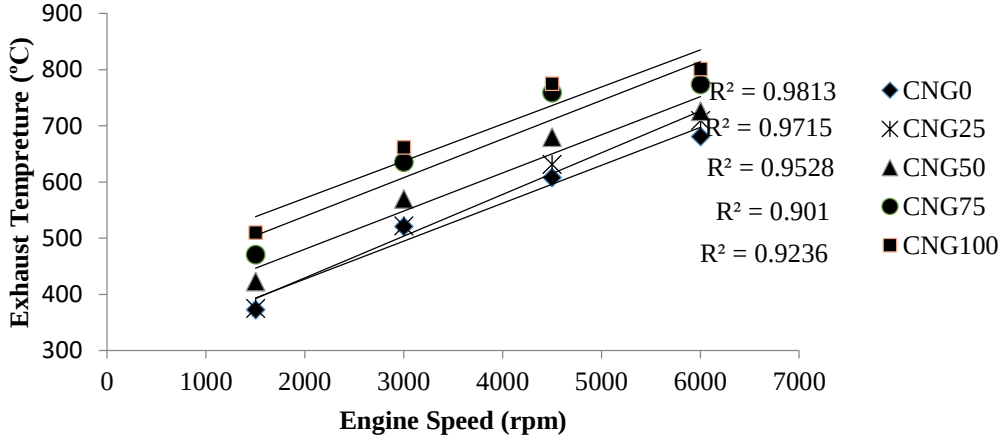
پس از انجام اندازه‌گیری‌ها و بررسی اولیه نتایج، میزان تأثیر متغیرهای مستقل بر متغیرهای اندازه‌گیری شده توسط تحلیل رگرسیون چند متغیره خطی ارزیابی شد. منظور از مدل خطی معادله‌ای است که نسبت به ضرایب خطی باشد. بر اساس این تعریف چندجمله‌ای‌ها در گروه معادلات خطی قرار می‌گیرند. مدل رگرسیون چند متغیره دارای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

$$y = X\beta + \varepsilon \quad (۱)$$

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

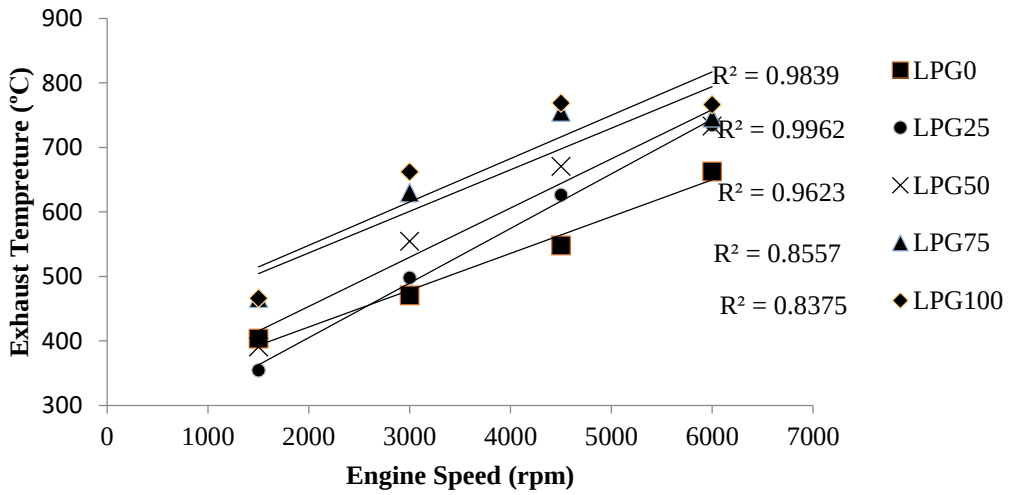
شکل ۴ دمای گازهای خروجی از اگزوز را در سرعت‌های مختلف موتور با استفاده از سوخت CNG و در بارگذاری‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. تحلیل رگرسیون افزایش خطی دمای گازهای خروجی از اگزوز موتور را با افزایش سرعت در بارگذاری‌های مختلف و با ضریب تعیین زیاد نشان می‌دهد. افزایش ضربات کورس احتراق در .احد زمان با افزایش سرعت موتور می‌تواند عامل اصلی افزایش دمای گازهای خروجی از اگزوز با افزایش سرعت باشد. در همه سرعت‌ها با افزایش بارگذاری دمای گازهای خروجی از اگزوز افزایش یافت؛ به‌گونه‌ای که بیشترین دمای ثبت شده برای گازهای خروجی اگزوز در بارگذاری ۱۰۰ درصد اتفاق افتاد. دلیل آن می‌تواند افزایش بازده گرمایی با افزایش بارگذاری باشد[۸]. مطابق با نظر این محققان حجم سوخت کمی در بارگذاری‌های کم موتور وارد سیلندر می‌شود. از طرفی سیلندر از طریق دیواره‌ها با محیط اطراف تبادل حرارتی دارد که می‌تواند بر کاهش دمای احتراق و بازده گرمایی تأثیرگذار باشد. در بارگذاری‌های زیاد حجم سوخت ورودی به سیلندر به‌میزان قابل‌توجهی افزایش می‌یابد؛ اما اتلاف حرارتی از دیواره‌های سیلندر تغییر چندانی نمی‌کند؛ بنابراین بهبود بازده گرمایی احتراق با افزایش بارگذاری امری قابل انتظار می‌باشد. همچنین با توجه دقیق‌تر به شکل مشاهده می‌شود که در سرعت‌های میانی کارکرد موتور اختلاف بین دمای ثبت شده برای اگزوز در بارگذاری‌های ۷۵ و ۱۰۰ درصد بیشتر از حالت‌های دیگر می‌شود. این امر نشان می‌دهد در شرایطی که سرعت موتور در حالت استاندارد کارکرد باشد استفاده از CNG در بارگذاری‌های ۷۵ و ۱۰۰ درصد می‌تواند دمای احتراق قابل قبولی ارائه دهد که به‌گونه‌ای نشان‌دهنده بازده مناسب احتراق این سوخت در بارگذاری‌های مذکور می‌باشد. با عنایت به بیشینه بودن دمای گازهای خروجی اگزوز در ۴۵۰۰ rpm و این نکته که غالباً موتور در این سرعت‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد و در دو آستانه حداقل و حداکثری کمتر از موتور انتظار کار می‌رود، می‌بایست سیستم خنک‌کننده برای خنک کردن موتور در دماهای کارکردی مربوط به سرعت ۴۵۰۰ rpm آمادگی و ظرفیت کافی داشته باشد.



شکل ٤- دمای گازهای خروجی اگزوز موتور در سرعت‌های مختلف با استفاده از سوخت CNG در بارگذاری‌های مورد مطالعه موتور

شکل ۵ دمای گازهای خروجی از اگزوز را در سرعت‌های مختلف موتور با استفاده از سوخت LPG و در بارگذاری‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. تحلیل رگرسیون افزایش خطی دمای گازهای خروجی از اگزوز موتور را با افزایش سرعت در بارگذاری‌های مختلف و با ضریب تعیین زیاد نشان می‌دهد. بر اساس شکل ۵ بیشترین دمای گازهای خروجی اگزوز با استفاده از LPG در سرعت ۴۵۰۰ rpm بدست

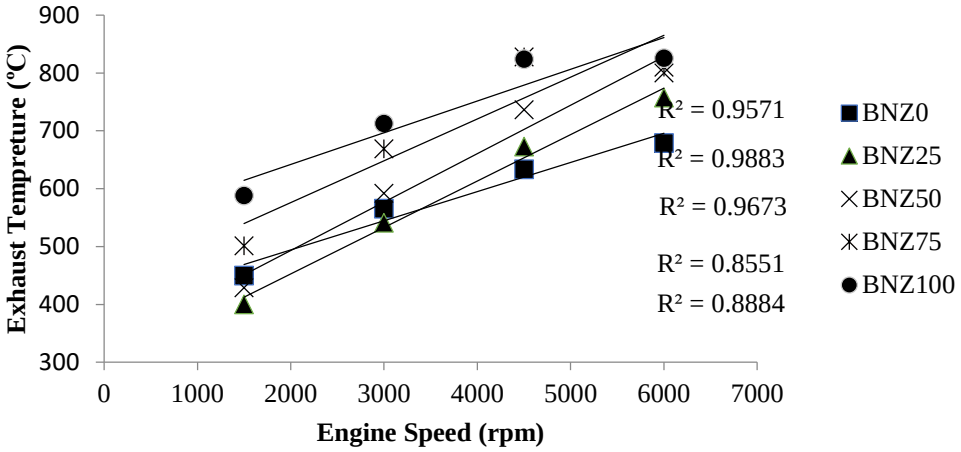
آمده است. همچنین مانند نتایج بدست آمده برای CNG، با افزایش بارگذاری‌های دمای گازهای خروجی از اگزوز موتور افزایش می‌یابد. یکی از تفاوت‌های LPG و CNG در سرعت‌های حداقلی و حداکثری می‌باشد؛ به‌گونه‌ای که مقادیر بدست آمده برای حالت‌های مختلف بارگذاری با یکدیگر تفاوت کمتری دارند و در برخی موارد تشخیص تفاوت‌ها بسیار دشوار است. این امرئ می‌تواند استقلال نسبی سوخت LPG را از میزان بارگذاری در این سرعت‌ها نشان دهد. با توجه به اینکه ارزش حرارتی LPG تا حدی از CNG بیشتر است، می‌توان احتراق کامل‌تری را برای این سوخت انتظار داشت که با مرتفع نمودن پدیده کوبش در سیلندر موتور و داشتن احتراق یکنواخت‌تر و نرم‌تر در بارگذاری‌های مختلف، عملکرد بهتری را برای موتور در بارگذاری‌های مختلف نتیجه می‌دهد. همچنین در حالت کار در جای موتور (بارگذاری صفر) در سرعت ۱۵۰۰ rpm دمای موتور حتی از بارگذاری ۵۰ درصد نیز بیشتر است. این امر می‌تواند حاکی این نکته باشد که استفاده از سوخت LPG در بارگذاری و سرعت کم عملکرد چندان مطلوبی از خود نشان نداده و عدم احتراق کامل سوخت در موتور به احتمال زیاد با پدیده کوبش همراه است که باعث گرم کار کردن موتور در این شرایط می‌شود. همچنین با مقایسه شیب خطوط بدست آمده برای بارگذاری‌های مختلف ملاحظه می‌شود که بارگذاری صفر و حالت کار در جای موتور کمترین میزان تأثیرپذیری از تغییرات سرعت را به همراه دارد که این امر با کمترین میزان تغییرات دمای گازهای اگزوز برای این بارگذاری در سرعت‌های مختلف مورد مطالعه مشهود است.



شکل ۵- دمای گازهای خروجی اگزوز موتور در سرعت‌های مختلف با استفاده از سوخت LPG در بارگذاری‌های مورد مطالعه موتور

شکل ۶ مقادیر تراز فشار صدای کلی موتور با استفاده از سوخت بنزین را در سرعت‌ها و بارگذاری‌های مختلف نشان می‌دهد. مانند دو حالت قبل درسرعت ۴۵۰۰ rpm سیلندر در داغ‌ترین شرایط کارکردی موتور قرار داشت که بیشترین مقدار دمای گازهای خروجی اگزوز در بین هر سه سوخت نیز برای این سرعت و سوخت بنزین بدست آمد. با وجودی‌که فرایند گرماگیر تبخیر سوخت بنزین در سیلندر حین احتراق اتفاق می‌افتد، بیشتر بودن دمای احتراق برای سوخت بنزین می‌تواند به ارزش حرارتی زیاد این سوخت مربوط باشد که احتراق قوی‌تر و در دمای بیشتری را برای این سوخت رقم می‌زند. مقایسه بارگذاری‌های مختلف برای بنزین روندی مشابه آنچه برای LPG در بارگذاری صفر درصد بدست آمد را نشان داده که می‌تواند حاکی از کوبش موتور در دورهای کم موتور برای این بارگذاری باشد. مشابهت‌های بدست آمده برای بنزین و LPG نشان می‌دهد که می‌توان از LPG بدون نیاز به کوچک‌ترین تغییری در عملکرد به جای سوخت بنزین استفاده کرد. تفاوتی که بین بنزین و سایر سوخت‌ها در شکل ۶ مشخص است وابستگی کمتر تغییرات دمای اگزوز در بار

کامل موتور به تغییرات سرعت می‌باشد که با شیب کمتر خط رگرسیونی در شکل ۶ نشان داده شده است. این امر نشان می‌دهد که وقتی سوخت بنزین به میزان زیاد در سیلندر موتور پاشیده شود، نوسانات عملکردی موتور در سرعت‌های مختلف کاهش‌یافته و می‌توان عملکرد باثبات‌تری را از موتور انتظار داشت.



شکل ٦- دمای گازهای خروجی اگزوز موتور در سرعت‌های مختلف با استفاده از بنزین در بارگذاری‌های مورد مطالعه موتور

نتیجه‌گیری

با افزایش سرعت موتور در همه بارگذاری‌ها دمای گازهای خروجی اگزوز به صورت خطی افزایش می‌یابد. برای همه سوخت‌ها، بارگذاری‌های بیشینه موتور با بیشترین دمای گازهای خروجی از اگزوز همراه است. با وجودی‌که فرایند گرماگیر تبخیر سوخت بنزین در سیلندر حین احتراق اتفاق می‌افتد، بیشینه بودن دمای احتراق برای سوخت بنزین می‌تواند به ارزش حرارتی زیاد این سوخت مربوط باشد. بیشترین میزان دمای گازهای خروجی مربوط به سرعت ۴۵۰۰ rpm موتور می‌باشد. برای سوخت‌های LPG و بنزین، تأثیر سرعت بر میزان دمای گازهای سیلندر در حالت کار در جای موتور کمترین میزان می‌باشد. همچنین احتراق ناقص موتور برای LPG و بنزین در سرعت کمینه موتور باعث افزایش دمای گازهای خروجی از اگزوز شده است. مشابهت‌های بدست آمده برای بنزین و LPG نشان می‌دهد که می‌توان از LPG بدون نیاز به کوچک‌ترین تغییری در عملکرد به جای سوخت بنزین استفاده کرد.

مراجع

1. Dipl.-Ing (FH) Horst Bauer, ed. 1996. Automotive Handbook (4th ed.). Stuttgart: Robert Bosch GmbH. ISBN 0837603331.
2. 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*.
3. Liquefied Petroleum Gas Specifications and Test Methods". Gas processors Association. Retrieved 2012 -05 -18.
4. Frost and Sullivan, 2007, Evaluation of World Market Potential for LPG and CNG Vehicles and Alternative Fuel Conversion Equipment in the OE and Aftermarket, http://www.researchandmarkets.com/reports/461323.
5. Carle, G., 2004, Market potential of compressed natural gas cars in the Swiss passenger car sector, 2004, www.ivt.ethz.ch/oev/publications/papers/2004B_GC.pdf.

6. Norris, J. et al., 2009, Light Goods Vehicle - CO2 Emissions Study: Task Report for Task 5 - Assessment of the potential for CO2 emissions reductions, Report to the Department for Transport, AEA, Harwell, Didcot.
7. Mistry, C. S. 2005. Comparative assessment on performance of multi cylinder engine using CNG, LPG and Petrol as a fuel. SAE transactions, 222-226.
8. Acevedo-Gamboa, H.R. and Flórez-Serrano, E.G., 2012. Particle matter from a diesel engine fueled with Jatropha curcas oil biodiesel and ultra-low sulphur diesel. CT&F ; 5: 83–92.

The differences in the exhaust gas temperature using petrol, CNG and LPG at different engine speeds and loading conditions

Zahra Ghorbani [1], Mohammad Reza seifi[2] *, Mahmoud Karimi[3]

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

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

[3] Department of Biosystem Mechanics, Arak University, Email: mahm.karimi@gmail.com.

Abstract

In the present study, the exhaust gas temperature was measured using petrol, CNG and LPG. The engine was run at different engine speeds ranging from 1500 to 6000 rpm, with steps of 1500 rpm, and five engine loading conditions (0%, 25%, 50%, 75% and 100%). No change in engine components and fuel injection systems were made. At all loading conditions, linear increase in the exhaust gas temperature was observed with the increase in its speed. For all fuel blends, the maximum exhaust gas temperature was found for full load condition. The high calorific value of petrol yielded the greatest exhaust gas temperature. The maximum exhaust gas temperature was obtained for 4500 rpm for different fuel blends. The lack of complete combustion for petrol and LPG at 1500 rpm and idle engine running increased the exhaust gas temperature. From the same behavior of petrol and LPG in changing exhaust gas temperature, it could be concluded that LPG could be considered as the best substitution for petrol with the minimum difference in the engine performance parameters.

Key words: Petrol engine, CNG, LPG, engine speed, loading condition, exhaust gas temperature.

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