

بررسی تجربی اثر دمای مخلوط ورودی و تغییر وضعیت دریچه گاز بر عملکرد یک موتور تک سیلندر دو سوخته

ابراهیم عبدی اقدم^۱، سید اسماعیل حسینی پشته^{۲*}

دانشگاه محقق اردبیلی، آزمایشگاه موتور

(^{*} سید اسماعیل حسینی پشته: seyed.esmail@gmail.com)

چکیده

توسعه صنعت و فناوری، میزان تقاضا برای استفاده از سوخت‌های فسیلی را افزایش داده است. در راستای استفاده از سوخت‌های جایگزین، سوخت‌های گازی شکل به دلیل داشتن قیمت پایین‌تر، عدد اکتان بالا و آلاینده‌گی پایین‌تر بیشتر مورد توجه قرار گرفتند. در پژوهش حاضر عملکرد یک موتور اشتعال جرقه‌ای تک سیلندر را با سوخت‌های بنزین و گاز طبیعی در یک نسبت هم ارزی معین و در سرعت‌های مختلف بررسی کردیم. سپس به بررسی تاثیر تغییر بار موتور و دمای مخلوط ورودی در یک سرعت و نسبت هم ارزی معین پرداختیم. نتایج نشان دادند، استفاده از گاز طبیعی به جای بنزین می‌تواند تا ۶ درصد افت را در بازده حجمی ایجاد کند. با افزایش سرعت موتور، مصرف سوخت ویژه ترمزی به یک مقدار کمینه می‌رسد و سپس با افزایش بیشتر در سرعت، مصرف سوخت ویژه ترمزی، افزایش می‌یابد. با افزایش سرعت موتور در شرایط بنزین سوز، هیدرو کربن نسوخته با شیب تندتری نسبت به حالت گاز سوز کاهش می‌یابد. توان ترمزی با کاهش بار موتور، تا ۷۰ درصد کاهش می‌یابد. با افزایش دمای مخلوط ورودی در سرعت‌های مورد بحث مقدار هیدروکربن نسوخته در ابتدا کاهش داشته و سپس با افزایش بیشتر در دمای مخلوط ورودی، به مقدار کمی افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: موتور اشتعال جرقه‌ای- گاز طبیعی- بازده حرارتی- بازده حجمی- نسبت هم ارزی

۱- مقدمه

توسعه صنعت و فناوری، میزان تقاضا برای استفاده از سوخت‌های فسیلی را افزایش داده است. بنابراین افزایش میزان تقاضا باعث کاهش ذخایر سوخت‌های فسیلی و همچنین افزایش آلاینده‌های محیط زیست شده است و این خود انگیزه‌ای برای یافتن سوخت‌های جایگزین شد [۱]. در راستای استفاده از سوخت‌های جایگزین، سوخت‌های گازی شکل به دلیل داشتن قیمت پایین‌تر، عدد اکتان بالا و آلاینده‌گی پایین‌تر بیشتر مورد توجه قرار گرفتند [۲]. حتی در قرن پیش نیز استفاده از سوخت جایگزین برای بنزین و سوخت دیزل توسط نیکلاس اتو و رودلف دیزل مورد توجه قرار گرفته بود ولی به علت کمبود فناوری، سرانجامی نداشت [۳]. موضوع مصرف سوخت و میزان آلاینده‌گی بسیار مورد اهمیت بوده و از این رو سال‌هاست که گاز طبیعی به عنوان یک سوخت جایگزین برای بنزین جایگاه خاصی پیدا کرده است. زیرا علاوه بر قیمت ارزان‌تر، آلاینده‌گی کمتری نیز دارد [۴]. ایران نیز دارای ذخایر زیرزمینی وسیعی از گاز طبیعی می‌باشد و از این لحاظ رتبه دوم بزرگ‌ترین تولید کننده گاز طبیعی را دارد. بنابراین گاز طبیعی به عنوان یک سوخت ایده‌آل برای خودروهای کشور محسوب می‌شود [۵ و ۶]. ماده اصلی تشکیل دهنده گاز طبیعی متان (از ۸۰ تا ۹۰ درصد حجم کل) است که سبک‌ترین و ساده‌ترین هیدروکربن موجود در طبیعت

است. همچنین گاز طبیعی شامل اتان (از ۲ تا ۸ درصد حجم کل)، پروپان (از ۱ تا ۲ درصد)، بوتان و هیدروکربن‌های سنگین‌تر (از ۰ تا ۴ درصد) و گازهای دی‌اکسیدکربن، ازت، آب و سولفید هیدروژن نیز است [۷].

ورود حداکثر هوا به داخل سیلندر طی هر چرخه از مهم‌ترین عوامل مشخص کننده‌ی مقدار توان و کارایی یک موتور است. حجم هوای بیشتر به این معنی است که سوخت بیشتری می‌تواند بسوزد و انرژی بیشتری می‌تواند به توان خروجی تبدیل گردد. ورود حجم به نسبت کوچک سوخت مایع به داخل سیلندر، بسیار آسان‌تر از ورود حجم به نسبت بزرگ هوای گازی شکل مورد نیاز برای انجام واکنش با سوخت می‌باشد. و این دلیلی ندارد جز این‌که زمان انجام هر چرخه با توجه به سرعت موتور کوتاه است. در موتوری با تنفس طبیعی، بازده حجمی همیشه از ۱۰۰٪، کمتر خواهد بود زیرا در این شرایط، سوخت نیز باید افزوده شود و حجم بخار سوخت، مقداری از هوای در حال ورود را پس خواهد زد. گاز طبیعی به دو صورت گاز طبیعی فشرده و گاز طبیعی مایع در خودروها استفاده می‌شود. گاز طبیعی ارزان‌تر و پاک‌تر از بنزین بوده ولی باعث افت توان تولیدی موتور می‌شود [۸]. به طور کلی عوامل مختلفی روی بازده حجمی یک موتور تأثیر گذارند، مثل شکل منیفولد ورودی، پرخورانی، نوع سوخت، سرعت موتور، نسبت سوخت به هوا، کسر سوخت تبخیر شده در سیستم ورودی، دمای مخلوط متأثر از انتقال گرما، نسبت فشار منیفولد ورودی به خروجی، نسبت تراکم، زمان‌بندی سوپاپ‌ها و هندسه موتور [۲]. از زمان ساخت اولین خودرو تا کنون تلاش‌های فراوانی در جهت بهبود عملکرد موتورهای احتراق داخلی صورت گرفته است. در این راستا، سیستم مکش موتور باید به طور صحیح طراحی شود. هدف، افزایش هرچه بیشتر بازده حجمی است. عملکرد مطلوب یک منیفولد ورودی، توزیع یکنواخت مخلوط سوخت و هوا بین سیلندرها است. نگین مفتونی و همکارانش [۹] در مقاله خود به شبیه‌سازی سه‌بعدی منیفولد ورودی موتور XU70 در حالت غیر دائم و بررسی تأثیر پارامترهای دور موتور و طول شاخه‌های منیفولد بر بازده حجمی پرداختند. آن‌ها منیفولد ورودی موتور پژو ۴۰۵، با نام تجاری XU70 را در دو حالت دائم و غیر دائم، به صورت سه‌بعدی شبیه‌سازی کردند. نقطه برجسته این تحقیق، بررسی تأثیر پارامترهای دور موتور و طول شاخه‌های منیفولد بر بازده حجمی، در حالت غیر دائم و به صورت سه‌بعدی است. همچنین در دوره‌های مختلف، تأثیر طول شاخه‌های منیفولد بر بازده حجمی مشاهده شده است. به ازای ۲۰ درصد افزایش طول شاخه‌ها، بازده حجمی در سرعت‌های ۳۵۰۰ و ۴۵۰۰ دور بر دقیقه افزایش می‌یابد. مقدار بازده حجمی برای چند دور مختلف محاسبه شده و تأثیر پارامترهای سرعت موتور طول شاخه‌ها بر بازده حجمی بررسی گردیده است. این محاسبات نشان می‌دهد که موتور با طول واقعی شاخه‌ها، در دور ۲۵۰۰ rpm بیش‌ترین بازده تنفسی، معادل ۸۸/۴۵٪ را داراست. هم‌چنین با افزایش طول شاخه‌ها به میزان ۲۰٪ درصد طول اولیه، شاهد افزایش محسوس مقدار بازده حجمی در دور ۴۵۰۰ rpm و مقداری افزایش در بازده حجمی در دور ۳۵۰۰ rpm هستیم. باید توجه کرد که تمامی سیستم‌های ورودی، داغ‌تر از دمای هوای محیط هستند و در نتیجه هوای ورودی را گرم خواهند کرد که این گرمایش، چگالی را کاهش می‌دهد، که در نتیجه‌ی آن بازده حجمی کاهش می‌یابد [۲]. گومز [۱۰] در مقاله‌ی خود به بررسی تأثیر بازده حجمی بر روی عملکرد و کاراکترهای آلاینده‌ی موتور دوگانه‌سوز (بنزین و گاز مایع^۱) احتراق جرقه‌ای پرداخته است. ایشان در این مطالعه، اثرات تغییر راندمان حجمی در کاراکترهای آلاینده‌ی موتور با سطح استفاده از گاز مایع (۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪) را مورد بررسی قرار دادند. برای این منظور، آزمایش تحت سرعت ثابت موتور ۳۸۰۰ rpm و شرایط بار متفاوت (۵٪، ۳۰٪، ۶۰٪، ۹۰٪) انجام شده است. تغییرات در بازده حجمی، نسبت هوا به سوخت، راندمان حرارتی ترمزی، مصرف سوخت ویژه ترمزی و گازهای آگزوز مورد بررسی قرار دادند. راندمان حجمی در استفاده از گاز مایع در سطح ۲۵ به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته است. و همچنین برای ۵۰٪ و ۷۵٪ و ۱۰۰٪ استفاده از گاز مایع، راندمان حجمی در نسبت به سطح استفاده از گاز مایع کاهش می‌یابد. با افزایش در سطح استفاده گاز مایع، نسبت هوا به سوخت کاهش می‌یابد و حداقل مقدار نسبت هوا به سوخت در استفاده از ۱۰۰ گاز مایع به دست آمد. در استفاده از مخلوطی حاوی ۲۵ درصد گاز مایع، مصرف سوخت ویژه ترمزی و مصرف انرژی کاهش یافته است در حالی که بازده حرارتی ترمزی حفظ شد. نتایج مثبت در تمام سطوح استفاده از گاز مایع در شرایط گازهای

^۱ LPG

خروجی اگزوز به دست آمده است. بهترین نتایج در استفاده از ۱۰۰ گاز مایع برای گازهای خروجی اگزوز به دست آمد. اسلام و همکاران [۱۱] عملکرد و آلودگی موتور اشتعال جرقه‌ای را برای سوخت‌های بنزین و گاز طبیعی بررسی کرده و مورد مقایسه قرار دادند. نتایج نشان داد که موتور با سوخت گاز طبیعی دارای فشار موثر متوسط ترمزی و مصرف سوخت ویژه ترمزی پایین‌تری نسبت به موتور با سوخت بنزین است. همچنین مقدار گازهای تولیدی مونوکسید کربن، دی اکسید کربن و هیدروکربن‌های نسوخته از موتور در وضعیت مصرف گاز طبیعی کمتر از وضعیت مصرف بنزین است. در هر صورت مقدار آلایندگی اکسید نیتروژن برای موتور با مصرف گاز طبیعی بالاتر از وضعیت مصرف بنزین در این تحقیق به دست آمد. گوپتا و همکاران [۱۲] مشخصات عملکرد و گازهای خروجی یک موتور اشتعال جرقه‌ای را در وضعیت مصرف گاز طبیعی بررسی کرده و نتایج آن را با وضعیت مصرف سوخت بنزین مقایسه کردند. نتایج ۱۰ تا ۱۵ درصد کاهش در توان موتور در وضعیت مصرف گاز طبیعی در مقایسه با توان موتور در وضعیت مصرف بنزین را نشان داد. ابراهیمی و همکاران [۱۳] در مقاله خود به بررسی عملکرد یک موتور اتو با راندمان حجمی پرداختند. آن‌ها از ترمودینامیک برای استخراج روابط بین قدرت خروجی و راندمان-حرارتی در نسبت تراکم مختلف و بازده تنفسی برای سیکل استاندارد هوایی اتو استفاده کردند. حداکثر توان خروجی و حداکثر بازده حرارتی در حدود ۶۹/۶٪ و ۳۱٪ زمانی است که راندمان حجمی افزایش ۴۰٪ دارد. نتایج همچنین نشان می‌دهد نسبت تراکم بهینه مربوط به نقطه حداکثر بازده حرارتی و محدوده افزایش کار چرخه با افزایش راندمان حجمی است. به عبارت دیگر نسبت تراکم بهینه مربوط به نقطه حداکثر بازده حرارتی و محدوده افزایش کار چرخه حدود ۲۵٪ و ۲۵/۱٪ می‌باشد که راندمان حجمی ۴۰٪ افزایش می‌یابد. درحالی‌که نسبت تراکم بهینه مربوط به نقطه حداکثر توان خروجی با افزایش راندمان حجمی ثابت باقی می‌ماند.

۲- تجهیزات استفاده شده

در مقاله حاضر از موتور پژوهشی تک سیلندر GUNT CT300 استفاده شده است. این موتور توانایی عملکرد در دو حالت بنزینی و گاز طبیعی را دارد. مشخصات فنی آن در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱: مشخصات موتور پژوهشی

مشخصه	توضیحات (واحد)
تعداد سیلندر	۱
قطر پیستون	۹۰ میلی‌متر
کورس پیستون	۷۴ میلی‌متر
حجم جابجایی	۰/۴۷۰ لیتر
بیش‌ترین سرعت	۳۶۰۰ دور در دقیقه
تعداد سوپاپ	۲
سیستم سوخت‌رسانی	افشانه‌ای دو سوخته
نوع خنک کاری	آب
نسبت تراکم	متغیر از ۵:۱ تا ۲۰:۱

این موتور دارای حس گر سرعت میل‌لنگ و ترانس‌دیوسر فشار داخل سیلندر بوده و به یک ژنراتور آسنکرون که قابلیت تنظیم سرعت موتور را فراهم می‌کند کوپل شده است. برای تعیین کیفیت مخلوط از یک آنالیزور گاز مدل اینفرالیت سی ال استفاده شد. این آنالیزور با نمونه برداری از مسیر گازهای خروجی موتور، علاوه بر اندازه‌گیری نسبت هوا به سوخت نسبی (۸)، میزان منواکسید کربن (CO)، دی اکسید کربن (CO₂)، هیدروکربن نسوخته (HC) و اکسیژن (O₂) را بر حسب درصد

حجمی (VOL%) و یا PPM مشخص می‌کند. همچنین برد کنترلی که اجازه کنترل سرعت موتور را فراهم می‌آورد مقادیر دبی هوای ورودی (lit/min)، دبی آب ورودی (قابل تنظیم)، دمای هوا و آب ورودی و همچنین فشار و دمای روغن کاری و گشتاور خروجی را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که این موتور در حالت بنزین سوز با سوخت پاشی افشانه‌ای کار می‌کند و همچنین به واسطه یک رگلاتور فشارقوی در حالت گازسوز نیز سوخت را در داخل مانیفولد ورودی می‌پاشد و توسط واحد کنترل الکترونیکی کنترل می‌گردد.

برای افزایش دمای هوای ورودی از چند المنت که درون یک لوله جای گذاری شده‌اند استفاده شده و سپس این لوله در مسیر ورود هوا به داخل موتور قرار داده شد.

۳- نحوه انجام آزمایشات

برای انجام آزمایش‌ها ابتدا نسبت تراکم موتور به مقدار ۸ تنظیم و سپس در حالت استفاده از سوخت‌های بنزین و گاز طبیعی راه‌اندازی شد و با استفاده از آنالیزور گاز خروجی، میزان سوخت تزریق شده توسط سیستم کنترل الکترونیکی که قابلیت تغییر زمان پاشش بر پایه زاویه درجه میل‌لنگ و طول پاشش بر حسب میکرو ثانیه را دارد، در حالت‌هایی تنظیم شد که آنالیزور مقدار نسبت هم ارزی (Φ) را مطابق خواسته نشان دهد. این کار برای سرعت‌های ۱۰۰۰ تا ۲۴۰۰ دور در دقیقه موتور در حالت بار کامل انجام شد و در سرعت‌های ۱۸۰۰ RPM و ۲۲۰۰ RPM نیز آزمایشات در حالت‌های مختلف بار موتور (تغییر وضعیت دریچه گاز نسبت به حالت بار کامل) و دماهای مختلف مخلوط ورودی انجام شد.

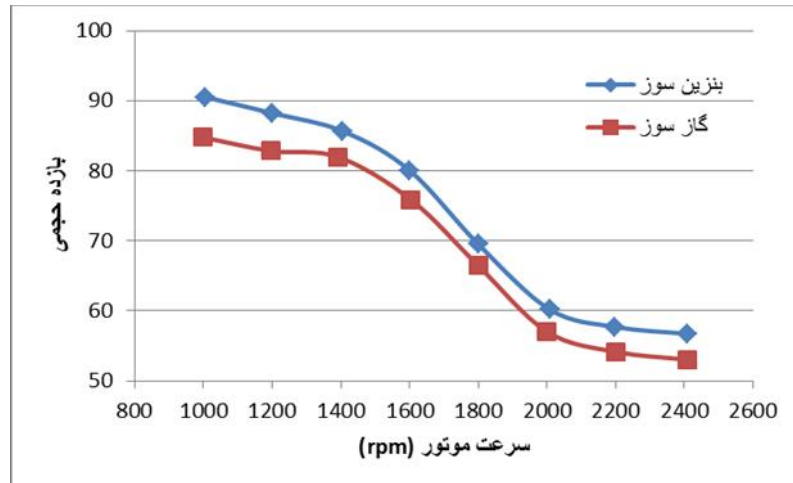
از برد کنترل موتور امکان اندازه‌گیری و ثبت دبی هوای ورودی، دمای هوا محیط، دمای گازهای خروجی، سرعت و گشتاور ترمزی در حالت‌های مختلف فراهم شد. در تمام این حالت‌ها از ترانسدیوسر فشار دینامیک کیسلر مدل 6052C که مخصوص موتورهای احتراق داخلی با حساسیت بالا و خطای شوک حرارتی پایین است استفاده شد و با آمپلی‌فایر مربوطه سیگنال الکترونیکی متناسب با تغییرات فشار درون سیلندر فراهم شد. همچنین از واحد کنترل الکترونیکی سیگنال‌های زاویه میل‌لنگ و نقطه مرگ بالا (TDC) نیز فراهم شد. برای تغییر سیگنال‌های آنالوگ به دیجیتال از سیستم اخذ داده چهار کاناله مدل ADLINK DAQ2005 و نرم‌افزار ذخیره مربوطه استفاده شد. داده‌های اخذ شده توسط این سیستم با فرکانس ۸۰ کیلو-هرتز و برای بیش از ۵۰۰ سیکل ثبت و ذخیره شد. سپس این داده‌های خام توسط برنامه تهیه شده به زبان فرترن پردازش شد که از این پردازش تغییرات فشار هر سیکل، قله فشار سیکل و موقعیت وقوع آن، کار بر سیکل و فشار موثر متوسط اندیکه خالص، برای هر سیکل به صورت مجرا محاسبه و ذخیره شد. با استفاده از داده‌های اخذ شده برای حالت‌های مختلف پارامترهای اساسی از قبیل بازده حجمی، مصرف سوخت ویژه ترمزی، بازده حرارتی و توان خروجی قابل محاسبه شد.

۴- نتایج و بحث

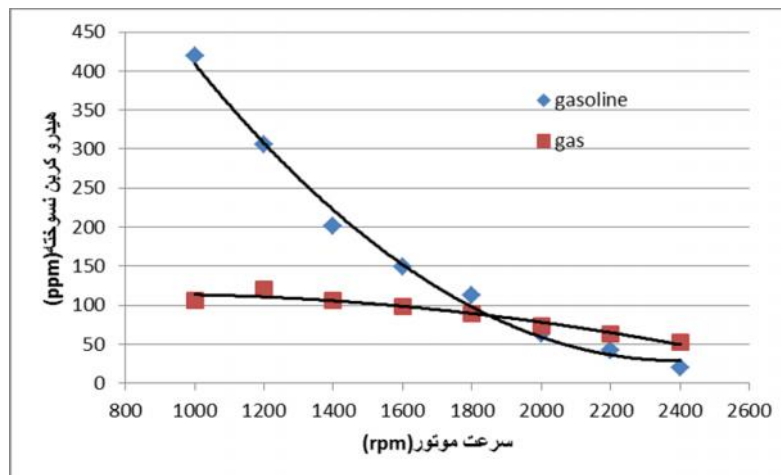
در پژوهش حاضر عملکرد یک موتور اشتعال جرقه‌ای تک سیلندر را با سوخت‌های بنزین و گاز طبیعی در یک نسبت هم ارزی معین و در سرعت‌های مختلف بررسی خواهیم کرد. سپس به بررسی تاثیر بار موتور و دمای مخلوط ورودی در یک سرعت و نسبت هم ارزی معین پرداخته می‌شود. لازم به ذکر است که تمامی آزمایش‌ها در زمان بندی مربوط به بیشینه گشتاور ترمزی و در نسبت تراکم ۸ انجام می‌پذیرد.

در شکل ۱ مشاهده می‌شود که در این موتور با افزایش سرعت، بازده حجمی در حالت‌های بنزین سوز و گازسوز کاهش می‌یابد. بازده حداقل که در بیشترین سرعت اتفاق می‌افتد، نسبت به حداکثر بازده قابل دستیابی که در کمترین سرعت موتور رخ می‌دهد، دارای افت ۳۴ درصدی برای حالت بنزین سوز می‌باشد. این افت برای حالت گازسوز، برابر با ۳۱٪ می‌باشد. به طوری که مشاهده می‌شود با تغییر سوخت از بنزین به گاز طبیعی کاهش در بازده حجمی قابل توجه است. کاهش بازده حجمی می‌تواند باعث کاهش در توان خروجی شود. افت در بازده حجمی در زمان استفاده از گاز طبیعی به عنوان یک سوخت جایگزین در موتوری که اساساً برای سوخت مایع طراحی شده، اجتناب ناپذیر است. زیرا سوخت‌های گازی مانند گاز طبیعی، در مقایسه

با بنزین (که می‌تواند به صورت جزئی در سیستم ورودی تبخیر شود) هوای ورودی بیشتری را پس می‌زنند. اما باید توجه داشت که مقدار این افت به اندازه کمی می‌تواند جبران شود، زیرا به تبخیر سوخت نیازی نیست و دمای مانیفولد ورودی می‌تواند، بسیار کمتر باشد. در حالت بنزینی هرچه تبخیر سوخت دیرتر صورت پذیرد، بازده حجمی بهتر است. در شکل دیده می‌شود که استفاده از گاز طبیعی به جای بنزین می‌تواند تا ۶ درصد افت را ایجاد کند. البته میزان این افت در سرعت‌های پایین موتور که موتور فرصت کافی برای دریافت هوا را دارد، بیش‌تر است. با افزایش سرعت موتور درصد افت بازده حجمی در مقایسه با سرعت‌های کمتر، کاهش یافته است.



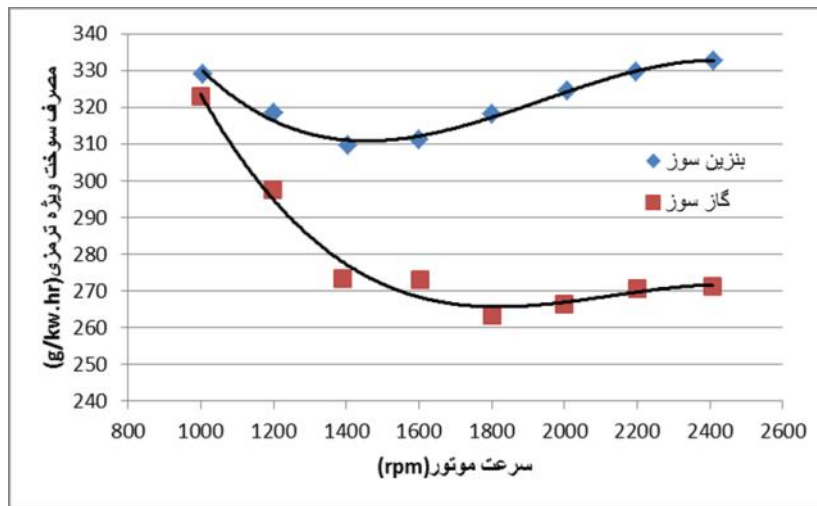
شکل ۱: تغییرات بازده حجمی نسبت به سرعت‌های مختلف در حالت بار کامل برای سوخت‌های بنزین و گاز طبیعی در نسبت هم ارزی ۰/۹۵



شکل ۲: منواکسید کربن خروجی نسبت به سرعت‌های مختلف در حالت بار کامل برای سوخت‌های بنزین و گاز طبیعی در نسبت هم ارزی ۰/۹۵

با افزایش سرعت موتور عمدتاً، مقدار هیدروکربن‌های نسوخته در حالت گازسوز کمتر از حالت بنزین‌سوز است (شکل ۲). با اینکه مقدار هیدروکربن‌های نسوخته در حالت گازسوز در مقایسه با حالت بنزین‌سوز کمتر است، اما در شرایط بنزین‌سوز،

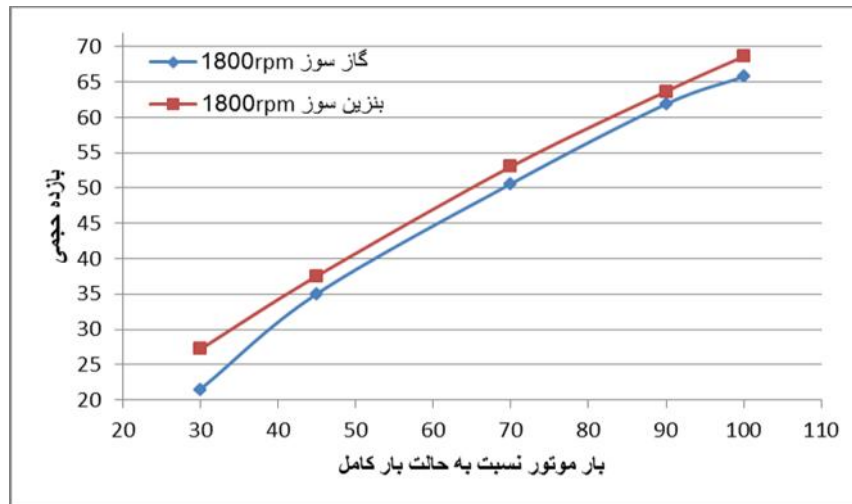
با افزایش سرعت موتور، مقدار هیدروکربن‌های نسوخته با شیب تندی کاهش می‌یابد تا جایی که در دوره‌های بالاتر، تولید آلاینده هیدروکربن نسوخته با حالت بنزین‌سوز کمتر از حالت گازسوز می‌شود. بروز چنین رفتاری احتمالاً ناشی از پایین بودن سرعت شعله گاز طبیعی نسبت به بنزین باشد. از آنجا که تمامی حالت‌های گزارش شده در زمان‌بندی بهینه جرعه (مربوط به بیشینه گشتاور ترمزی) انجام گرفته است، مشاهده شد که حالت گازسوز به آوانس جرعه بیشتری نیاز دارد.



شکل ۳: مصرف سوخت ویژه ترمزی نسبت به سرعت‌های مختلف در حالت بار کامل برای سوخت‌های بنزین و گاز طبیعی در نسبت هم ارزی ۰/۹۵

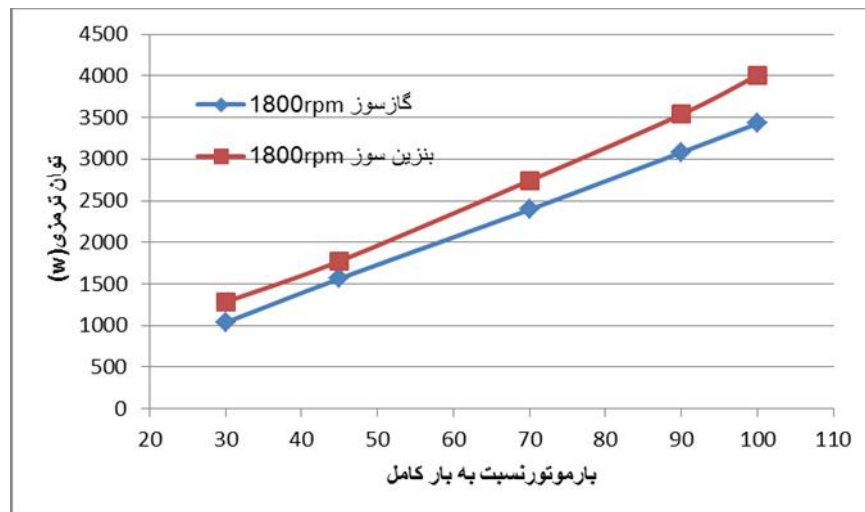
شکل ۳ میزان مصرف سوخت ویژه ترمزی را برای حالت‌های گازسوز و بنزین سوز در نسبت هم ارزی ۰/۹۵ و بار کامل نشان می‌دهند. بازده حرارتی با مصرف سوخت ویژه ترمزی نسبت عکس دارد [۲] و هرچه بازده حرارتی بیشتر شود، مصرف ویژه سوخت کاهش می‌یابد. با افزایش سرعت موتور توان اصطکاکی افزایش می‌یابد و باعث افت در بازده حرارتی و افزایش در مصرف سوخت ویژه ترمزی می‌گردد. زیرا انرژی بیشتری از احتراق باید صرف جبران توان اصطکاکی موتور شود. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش در سرعت موتور، مصرف سوخت ویژه ترمزی (bsfc)، کاهش یافته و به حداقل مقدار خود می‌رسد و سپس با افزایش بیشتر در سرعت موتور، مصرف سوخت ویژه ترمزی افزایش می‌یابد. این امر به دلیل تلفات اصطکاکی بیشتر در سرعت‌های بالاتر می‌باشد. در سرعت‌های پایین‌تر موتور، طول زمانی هر سیکل طولانی‌تر می‌گردد، که این امر تلفات حرارتی بیشتر را ممکن می‌سازد و مصرف سوخت را افزایش می‌دهد. در سرعت‌های بالاتر، طول مدت احتراق تا مرحله انبساط ادامه می‌یابد که باعث بیشتر شدن احتمال احتراق ناقص می‌شود و نتیجه آن افزایش مصرف سوخت ویژه ترمزی خواهد بود.

شکل ۴ تغییرات بازده حجمی را نسبت به بار موتور در نسبت هم ارزی ۰/۹۵ و سرعت ۱۸۰۰ rpm برای حالت‌های گازسوز و بنزین سوز نشان می‌دهد. با افزایش بار موتور، بازده حجمی افزایش خواهد یافت و به طور کلی کمترین بازده حجمی مربوط به زمانی است که بار موتور حداقل مقدار را دارد. همانطور که مشاهده می‌شود کاهش بار موتور در سرعت نشان داده شده می‌تواند بازده حجمی را تا ۴۵ درصد کاهش دهد. از اثرات کاهش بازده حجمی، کاهش توان ترمزی می‌باشد. همانطور که دیده می‌شود توان ترمزی حالت‌های گاز سوز و بنزین سوز، با کاهش بار موتور، به ترتیب ۷۰ و ۶۸ درصد کاهش یافته‌اند. کاملاً مشخص است که توان ترمزی حالت بنزین سوز بیشتر از حالت گاز سوز است (تقریباً ۱۳ درصد) که عمده دلیل آن بیشتر بودن بازده حجمی حالت بنزین سوز در مقایسه با حالت گاز سوز می‌باشد (شکل ۵).



شکل ۴: تغییرات بازده حجمی نسبت به بار موتور برای حالت‌های گازسوز و بنزین سوز در نسبت هم ارزی ۰/۹۵ و سرعت

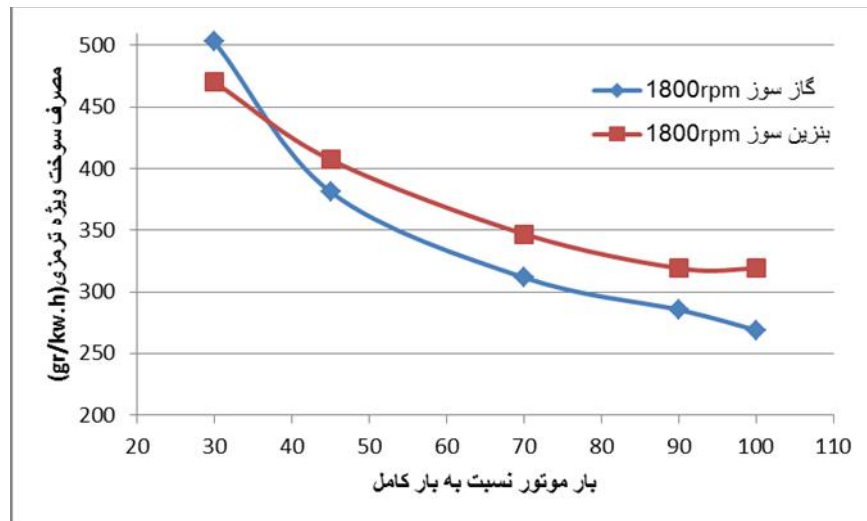
۱۸۰۰rpm



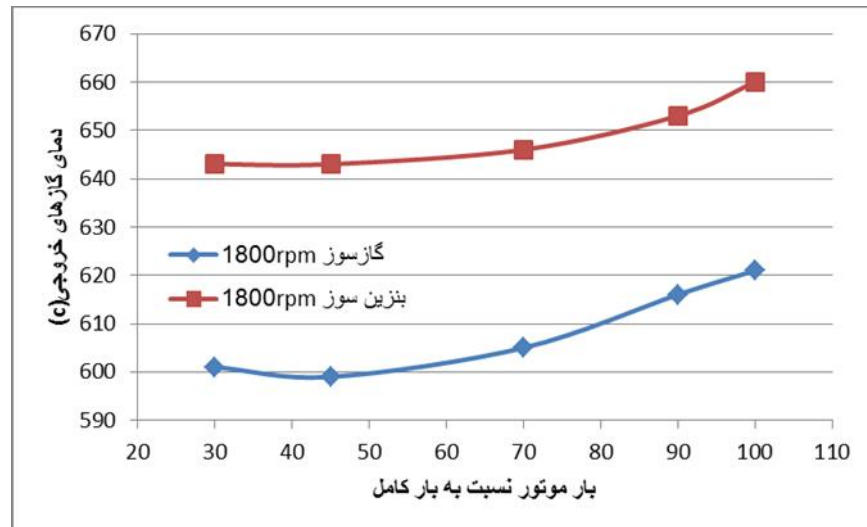
شکل ۵: تغییرات توان ترمزی نسبت به بار موتور برای حالت‌های گازسوز و بنزین سوز در نسبت هم ارزی ۰/۹۵ و سرعت

۱۸۰۰rpm

به طور کلی میزان مصرف سوخت ویژه ترمزی حالت گازسوز در مقایسه با حالت بنزین سوز کمتر بوده و در نتیجه دارای بازده حرارتی بیشتری نسبت به حالت بنزین سوز می‌باشد. دلیل این امر می‌تواند مربوط به بهتر مخلوط شدن گاز طبیعی با هوای ورودی باشد که باعث آزاد شدن بهتر انرژی سوخت در حالت گاز سوز نسبت به حالت بنزین سوز می‌شود. همانطور که در شکل ۶ دیده می‌شود در حالت تمام بار، مصرف سوخت ویژه ترمزی حالت گازسوز به مقدار ۱۵ درصد کمتر از حالت بنزین سوز می‌باشد. اما با کاهش بار موتور (تا ۳۰ درصد بار کامل) بازده حرارتی حالت گازسوز افت کرده و از حالت بنزین سوز کمتر می‌شود که نتیجه آن، مصرف سوخت ویژه ترمزی بزرگتر، برای حالت گاز سوز است. عمده دلیل می‌تواند، کاهش بیشتر بازده-حجمی حالت گازسوز نسبت به بنزین سوز در این وضعیت از بار موتور باشد.



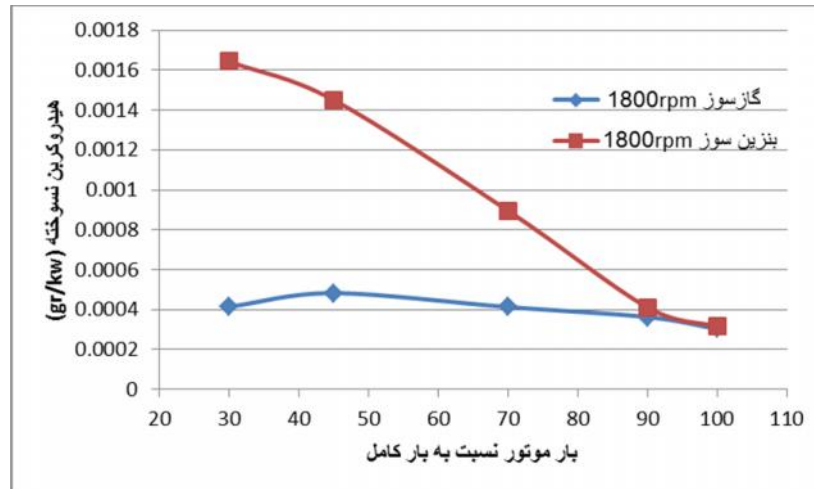
شکل ۶: مصرف سوخت ویژه ترمزی نسبت به بار موتور برای حالت‌های گازسوز و بنزین سوز در نسبت هم ارزی ۰/۹۵ و سرعت ۱۸۰۰rpm



شکل ۷: تغییرات دمای گازهای خروجی نسبت به بار موتور برای حالت‌های گازسوز و بنزین سوز در نسبت هم ارزی ۰/۹۵ و سرعت ۱۸۰۰rpm

دمای گاز خروجی موتور در وضعیت گازسوز پایین تر از حالت بنزین سوز است. این امر به دلیل پایین بودن بازده احتراق، کوتاه بودن زمان انتقال گرما در طی فرایند احتراق و بالا بودن دمای احتراق برای موتور در وضعیت مصرف بنزین در مقایسه با وضعیت مصرف گاز طبیعی است. باید اشاره شود که بالا بودن دمای گاز خروجی به معنی آن است که انرژی سوخت به طور مناسب به کار تبدیل نشده است. همانطور که در شکل ۷ دیده می‌شود با افزایش بار موتور دمای گازهای خروجی برای هر دو

حالت گازسوز و بنزین سوز افزایش می‌یابد و به طور کلی در سرعت نشان داده شده دمای گازهای خروجی حالت گازسوز تقریباً ۷ درصد (۴۵ درجه سانتی گراد) کمتر از حالت بنزین سوز می‌باشد.

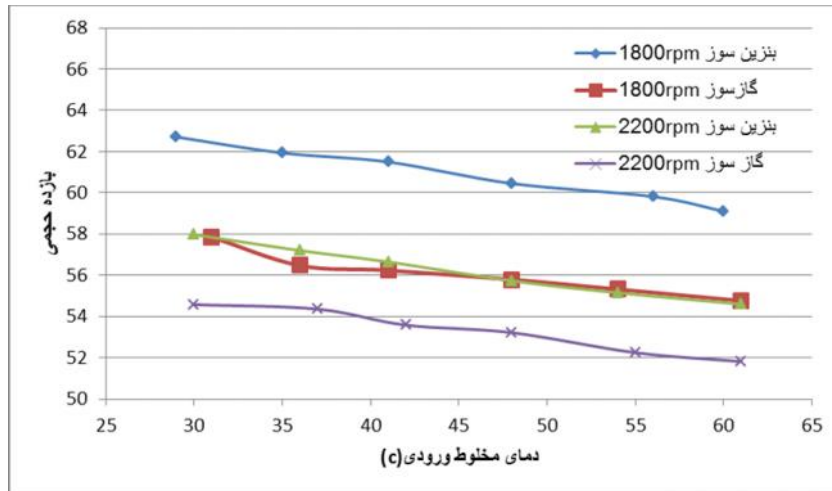


شکل ۸: هیدروکربن نسوخته خروجی نسبت به بار موتور برای حالت‌های گازسوز و بنزین سوز در نسبت هم ارزی ۰/۹۵ و سرعت ۱۸۰۰rpm

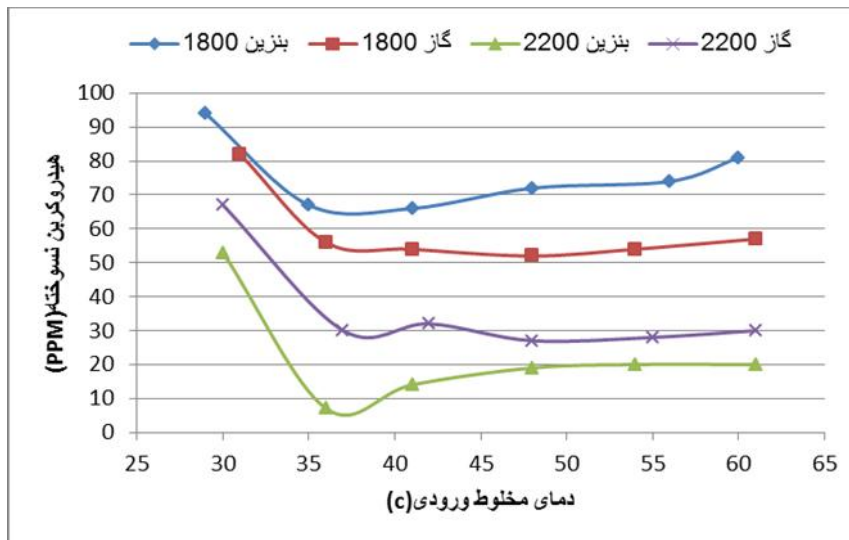
با توجه به اینکه حدود ۹۰ درصد از گاز طبیعی فشرده را متان تشکیل می‌دهد، در نتیجه نسبت کربن به هیدروژن در گاز طبیعی فشرده در مقایسه با این نسبت در سوخت بنزین کمتر می‌باشد. بنابراین احتراق گاز طبیعی نسبت به بنزین با بازده بزرگتری صورت می‌گیرد و این امر باعث کاهش قابل توجه این آلاینده‌ها در حالت گازسوز نسبت به بنزین سوز می‌شود. شکل ۸ مقدار هیدروکربن‌های نسوخته حالت‌های بنزین سوز و گاز سوز را در سرعت ۱۸۰۰rpm نشان می‌دهد. با توجه به اینکه مقدار هیدروکربن نسوخته حالت بنزین سوز در بارهای کمتر از بار کامل، بسیار بیشتر از حالت گازسوز می‌باشد، اما با افزایش در بار موتور و با توجه به توان خروجی، میزان هیدروکربن‌های نسوخته حالت بنزین سوز با شیب بیشتری نسبت به حالت گاز سوز افت پیدا می‌کند. تا جایی که در حالت بار کامل این میزان برای حالت بنزین سوز، برابر با حالت گاز سوز می‌شود.

شکل ۹ نشان می‌دهد که با افزایش دمای ورودی بازده حجمی کاهش می‌یابد و این افت چه در حالت گاز سوز و چه در حالت بنزین سوز مشاهده می‌شود. کاهش بازده حجمی کاهش توان خروجی را در پی خواهد داشت. بطور کلی درصد افت بازده حجمی برای حالت‌های بنزین سوز و گاز سوز در دوره‌های نشان داده شده، به ترتیب، ۳/۵ و ۴ درصد می‌باشد. باید توجه شود که وجود گرمکن هوای ورودی حتی به حالت خاموش در مسیر ورودی باعث افزایش اصطکاک و کاهش بازده حجمی می‌شود که این افت به دلیل شرایط یکسان، نمی‌تواند تاثیری در نتایج شکل ۹ داشته باشد.

شکل ۱۰ بیانگر این موضوع است که اولاً با افزایش سرعت موتور از ۱۸۰۰rpm تا ۲۲۰۰ rpm مقدار هیدروکربن نسوخته حالت گاز سوز نسبت به حالت بنزین سوز بیشتر می‌شود (شکل ۲ و ۱۰). همچنین با افزایش دمای مخلوط ورودی به موتور از ۳۰ تا ۳۵ درجه سانتی گراد، ابتدا مقدار هیدروکربن نسوخته کاهش چشم‌گیری داشته (تا ۹۰ درصد) و سپس با افزایش بیشتر دمای مخلوط ورودی، هیدروکربن نسوخته به مقدار کمی افزایش می‌یابد.



شکل ۹: تغییرات بازده حجمی نسبت به دمای مخلوط ورودی در دورهای ۱۸۰۰ و ۲۲۰۰ rpm و نسبت هم ارزی ۰/۹۵



شکل ۱۰: مقدار هیدروکربن نسوخته خروجی از موتور نسبت به دمای مخلوط ورودی در دورهای ۱۸۰۰ و ۲۲۰۰ rpm و نسبت هم ارزی ۰/۹۵

۵- نتیجه‌گیری

- تجزیه و تحلیل داده‌های حاصله یک سری مشاهدات و نتیجه‌گیری‌هایی را نشان می‌دهد که به شرح زیر است.
- استفاده از گاز طبیعی به جای بنزین می‌تواند تا ۶ درصد افت در بازده حجمی ایجاد کند.
- از آنجا که تمامی حالت‌های گزارش شده در زمان بندی بهینه جرقه (مربوط به بیشینه گشتاور ترمزی) انجام گرفته است، مشاهده شد که حالت گازسوز به آوانس جرقه بیشتری نیاز دارد.



- در بازه سرعت مورد بحث، مقدار هیدروکربن‌های نسوخته در حالت گازسوز در مقایسه با حالت بنزین‌سوز کمتر است، اما در شرایط بنزین‌سوز، با افزایش سرعت موتور، مقدار هیدروکربن‌های نسوخته با شیب تندی کاهش می‌یابد تا جایی که در دورهای بالاتر، تولید آلاینده هیدروکربن نسوخته با حالت بنزین‌سوز کمتر از حالت گازسوز می‌شود.
- با افزایش در سرعت موتور، مصرف سوخت ویژه ترمزی (bsfc)، کاهش یافته و به حداقل مقدار خود می‌رسد و سپس با افزایش بیشتر در سرعت موتور، مصرف سوخت ویژه ترمزی افزایش می‌یابد. این امر به دلیل تلفات اصطکاکی بیشتر در سرعت‌های بالاتر می‌باشد.
- با کاهش بار موتور (تا ۳۰ درصد بار کامل) بازده حرارتی حالت گازسوز افت کرده و از حالت بنزین‌سوز کمتر می‌شود که نتیجه آن مصرف سوخت ویژه ترمزی بزرگتر است.
- با افزایش در بار موتور، میزان هیدروکربن‌های نسوخته حالت بنزین‌سوز با شیب بیشتری نسبت به حالت گاز سوز کاهش می‌یابد.
- با افزایش دمای ورودی بازده حجمی، ۳/۵ تا ۴ درصد کاهش یافته است.
- با افزایش کمی در دمای مخلوط ورودی هیدرو کربن نسوخته کاهش چشم‌گیری خواهد داشت.

مراجع

- 1- Hsieh, W.D., Chen, R.H., Wu, T.L., and Lin, T.H. "Engine Performance and Pollutant Emission of an SI Engine Using Ethanol – Gasoline Blended Fuels", Atmos. Environ. : 36(3) 403-410, 2002.
 - 2- J.B.Heywood, Internal Combustion Engine Fundamentals, Mcgraw-hill Inc., new york, 1988.
 - 3- Mousavian S. A., "Thermodynamic combustion modeling of CNG SI engine by chemical kinetic approach", MS Thesis, Department of Mechanical Engineering, K. N. Toosi University of Technology, February, 2004.
 - 4- Bauer C. G. and Forest T. W. "Effect of Hydrogen Addition on the Performance of Methane-Fueled Vehicles. Part I: Effect on S.I. Engine Performance." International Journal of Hydrogen Energy 26 (2001): 55- 70.
- وطنی، ع.، حبیبی، م.، ناجی، م.، "بررسی مقایسه‌ای CNG با سایر سوخت‌ها و آلاینده‌های خودروهای CNG سوز"، مجموعه مقالات دومین کنفرانس CNG، تهران، مرداد ۱۳۸۸.
- 6- Energy Balance, Iranian Power Ministry, 1387.
 - 7- Fanhua, Ma, Wang Yu, Haiquan, Liu Yong Li, Wang Junjun and Ding Shangfen. "Effects of Hydrogen Addition on Cycle-by-Cycle Variations in a Lean Burn Natural Gas Spark-Ignition Engine." International Journal of Hydrogen Energy 33 (2008): 823–831.
 - 8- Shamekhi A., Khtibzade N., Shamekhi A. H., "Performance and emissions characteristics of a bifuel SI engine fueled by CNG and gasoline", ASME paper ICES20061387, 2006.
- نگین مفتونی، رضا ابراهیمی، سیامک حسین‌پور، "شبیه‌سازی سه‌بعدی منیفولد ورودی موتور XU70 در حالت غیر دائم و بررسی تأثیر پارامترهای دور موتور و طول شاخه‌های منیفولد بر بازده حجمی"، چهاردهمین کنفرانس سالانه مهندسی مکانیک، اردیبهشت ۱۳۸۵، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- 10- M. Gumus, "Effects of volumetric efficiency on the performance and emissions characteristics of a dual fueled (gasoline and LPG) spark ignition engine", Fuel Processing Technology 92 (2011) 1862–1867.
 - 11- Aslam, M. U., Masjuki, H. H., Kalam, M. A., Abdesselam, H., Mahlia, T. M. I., and Amalina, M. A., "An Experimental Investigation of CNG as an Alternative Fuel for a Retrofitted Gasoline Vehicle," Fuel, 85, pp. 717-724, 2006.
 - 12- Gupta, M., Bell, S. R., and Tillman, S. T., "An Investigation of Lean Combustion in a Natural Gas-Fueled Spark Ignited Engine," Journal of Energy Resource Technology, 118, pp. 145-165, 1996.
 - 13- Rahim Ebrahimi, Ghanbarian, "Performance of an otto engine with volumetric efficiency", Journal of American Science 2010.