

## تأثیر زمان آغاز پاشش بنزین روی تغییرات سیکلی، آلاینده‌های HC و CO در حالت نیم بار ترکیب سوز بنزین - گاز

### طبیعی

ابراهیم عبدی اقدم<sup>۱\*</sup>، مجید عطایی ترزنی<sup>۲</sup>، حسین کمالی گلولو<sup>۳</sup>

۱- استاد، مهندسی مکانیک، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، eaaahdam@uma.ac.ir

۲- دانشجوی دکتری، مهندسی مکانیک، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، Majidataie60@gmail.com

۳- کارشناس ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، andoo1367@gmail.com

\* نویسنده مخاطب

### چکیده

سیستم سوخت‌رسانی و اختلاط مناسب سوخت و هوا از چالش‌های مهم است که محققان موتورهای اشتعال جرقه‌ای با آن روبرو هستند. مصرف بهینه و کیفیت مناسب اختلاط به دلیل تمیز شدن سوخت پاششی توسط انژکتور باعث جایگزینی سیستم‌های انژکتوری با کاربراتوری شده است. تعیین بهترین موقعیت آغاز پاشش سوخت نقش مهمی را روی عملکرد موتور دارد. در کار حاضر از یک موتور تک سیلندر پژوهشی با قابلیت تنظیم زمان‌بندی جرقه که به یک سیستم سوخت‌رسانی پاشش راه‌گامی بنزین و گاز طبیعی با قابلیت تنظیم موقعیت آغاز پاشش و طول پاشش سوخت مجهز است. نسبت سوخت به هوا، سرعت موتور و درصد ترکیب دو سوخت بنزین و گاز طبیعی ثابت نگه داشته شده و زاویه شروع پاشش با گام ۴۵ درجه میل لنگ در همان سیکل تغییر داده شد. برای بررسی و مطالعه تأثیر زاویه شروع پاشش سوخت بر روی پارامترهای عملکردی موتور از جمله فشار مؤثر متوسط و آلاینده‌های HC و CO یک سری نتایج تجربی برای حالت نیم بار ترکیب سوز (۶۰٪ بنزین و ۴۰٪ گاز طبیعی) استخراج شد. استفاده گردید. نتایج حاکی از آن است که مقدار آلاینده‌های خروجی با تغییر زاویه شروع پاشش سوخت متفاوت بوده و مقدار حساسیت آلاینده‌ها در حالت تغییر زاویه پاشش بنزین نسبت به سوخت گاز طبیعی بیشتر است. همچنین آوانس بهینه جرقه در حالت تمام بار نسبت به نیم بار تفاوت ۹ درجه‌ای را نشان می‌دهد.

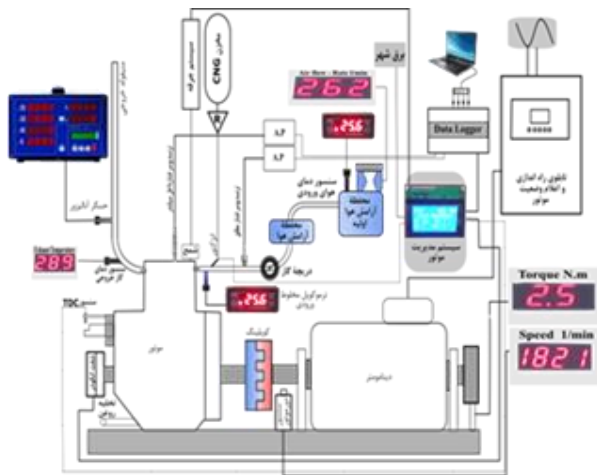
**کلمات کلیدی:** موتور اشتعال جرقه‌ای - زمان‌بندی پاشش سوخت - بنزین - گاز طبیعی - ترکیب سوز

### مقدمه

با توجه به این که صنایع خودرو روز به روز پیشرفت چشمگیری دارد، حذف این تکنولوژی در جوامع بشری به این سادگی امکان‌پذیر نیست. از این رو شناخت فرایندهای داخلی موتورهای احتراق داخلی و تجزیه و تحلیل این فرایندها با استفاده از کدهای شبیه ساز و نتایج تجربی امری لازم و ضروری به نظر می‌رسد. یکی از عوامل مؤثر بر احتراق کامل و در نتیجه میزان آلاینده‌های خروجی و عملکرد موتور ایجاد مخلوط همگن یا مطابق با تعریف مناسب از سوخت و هوا در سیلندر است. به این منظور در سیستم پاشش PFI لازم است بیشترین حد ممکن از سوخت پاشیده شده همراه با هوا در مسیر ورودی به داخل سیلندر وارد شود. سیستم سوخت‌رسانی و کنترل اختلاط سوخت و هوا از چالش‌های اساسی محققان موتورهای اشتعال جرقه‌ای بوده است عبدی اقدم و باشی [۱] با استفاده از یک موتور تک سیلندر اشتعال جرقه‌ای پاشش راهگامی اقدام به مطالعه اثر زمان پاشش سوخت بر تغییرات سیکلی کردند. آن‌ها در مطالعه خود با ثابت گرفتن طول پاشش، آوانس جرقه و سرعت موتور شرایط تست‌های مختلف را یکسان قرار دادند و تنها اقدام به تغییر زاویه شروع پاشش کردند. آن‌ها زاویه شروع پاشش را از ۱۸۰ درجه قبل از ITDC تا ۱۸۰ درجه بعد از ITDC با گام ۳۰ درجه تغییر دادند و نتیجه گرفتند که تغییرات سیکلی در زوایای شروع پاشش قبل از ITDC کمتر از تغییرات سیکلی در زوایای شروع پاشش بعد از ITDC است.

در سیستم‌های انژکتوری موقعیت آغاز پاشش، طول و فشار پاشش نقش مهمی روی عملکرد موتور دارد. لی و هم‌کاران [۲] با مطالعه هم‌زمان موقعیت پاشش سوخت و آوانس جرقه به این نتیجه رسیدند که بهترین شرایط برای دستیابی به بازده گرمایی بالاتر و آلاینده‌های خروجی کمتر در موقعیت پاشش و آوانس بهینه جرقه رخ می‌دهد. رستم پور و هم‌کاران [۳] با استفاده از دو انژکتور به مقایسه استفاده از دو انژکتور و پاشش سوخت در زاویه‌های مختلف میل لنگ پرداختند و به این نتیجه رسیدند که استفاده از این طرح میزان لایه سوخت تشکیل شده در سامانه تنفس موتور نسبت به موتور PFI پایه را ۷۵ درصد کاهش می‌دهد. از طرفی، توزیع سوخت درون محفظه احتراق و در اطراف شمع کاملاً همگن می‌شود، که منجر به بهبود فرایند احتراق و افزایش بیشینه فشار محفظه احتراق می‌شود. بررسی‌ها نشان داد که عملکرد مطلوب موتور با استفاده از دو انژکتور در راهگاه ورودی به شدت وابسته به زمان شروع تزریق است. لذا، بهترین زمان تزریق سوخت را به عنوان نقطه بهینه کارکرد مشخص کردند. شیبانا و هم‌کارانش [۴] نتایج کار خود بر روی توسعه طرح مفهومی جدید از پاشش سوخت در سیستم‌های تزریق دوگانه را ارائه کردند. آنها سیستم پاشش چند نقطه‌ای دوگانه، که علاوه بر مزایای سیستم تزریق در راهگاه ورودی تا حدودی دارای مزایای سیستم تزریق مستقیم است، را معرفی کردند. در واقع، آنها در کار خود، با بهینه‌سازی عددی الگوی پاشش و بهبود پودر شدن سوخت در حالت دریاچه باز و بررسی جریان پاشش در مجرای ورودی و سیلندر، حالت بهینه پاشش و موقعیت انژکتور برای هر دریاچه را تعیین کردند و به این ترتیب مزایای پاشش در شرایط دریاچه باز را بررسی کردند. عبدی اقدم و قنبری [۵] در یک تحقیق برای حالت ترکیب سوز بنزین - گاز طبیعی در یک موتور تک سیلندر پاشش درون راهگامی موفق به تعیین زمان‌بندی بهینه سوخت در حالت ترکیب سوز شدند و به مقایسه آوانس بهینه جرقه در حالت ترکیب سوز با حالت بنزین سوز و گاز سوز پرداختند. عبدی اقدم و یاهک [۶] در یک پژوهش تجربی با استفاده از یک موتور تک سیلندر پژوهشی و به کارگیری تکنیک پرش پاشش تأثیر زمان پاشش سوخت روی مشخصه‌های عملکردی موتور و فشار مؤثر متوسط داخل سیلندر را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که زمانی که زاویه شروع پاشش سوخت در بازه ۱۸۰ تا ۵۷۰ درجه میل‌لنگ باشد، تقریباً تمام سوخت پاشش شده به منیفولد ورودی در سیکل بعد وارد محفظه احتراق می‌شود، همچنین زمانی که زاویه شروع پاشش سوخت در بازه ۱۲۰ درجه قبل از TDC تا ۱۸۰ درجه بعد از TDC باشد. سوخت پاشش شده بین دو سیکل تقسیم می‌شود. یانگ و هم‌کارانش [۷] تأثیر زمان‌بندی پاشش گاز طبیعی را در یک موتور دیزلی دو سوخته روی عملکرد موتور مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها پارامترهای پاشش سوخت دیزلی (زمان‌بندی و فشار پاشش) و فشار پاشش گاز طبیعی را ثابت نگه داشتند و تحت بار پایین و جزئی موتور مشاهده نمودند که با به تاخیر انداختن زمان‌بندی پاشش گاز طبیعی میزان انتشار گازهای CO و HC کاهش می‌یابد. شووان چوچونگ و ویلیامسون

طریق یک عدد دیتالاگر چهار کاناله مدل DAQ2005 ساخت ادلینک و نرم افزار مربوطه استفاده شد. حداکثر بسامد داده برداری این دیتالاگر ۵۰۰ kHz است و از چهار کانال ورودی آن برای ثبت فشار داخل سیلندر، فشار مطلق منیفولد ورودی و پالس‌های شفت انکودر استفاده شد. داده‌های خام اخذ شده به وسیله یک نرم افزار نوشته شده به زبان فرترن مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و مقدار فشار مؤثر متوسط هرسیکل و میانگین آنها و سایر داده‌های مرتبط به سیکل پردازش شد. در کار حاضر فرکانس استفاده شده برای اخذ داده‌ها ۲۰۰ kHz در نظر گرفته شد.



شکل ۱: شماتیک تجهیزات به کار رفته و چیدمان نسبی آنها

جدول ۱: مشخصات موتور استفاده شده در آزمایش

۹۰ mm	قطر سیلندر
۷۰ mm	کورس پیستون
۴۷۰ cm <sup>3</sup>	حجم جابجایی
قابل تغییر از ۵ تا ۱۹	نسبت تراکم
الکترونیکی با قابلیت تنظیم یک درجه میل لنگ	سیستم جرقه زنی
پاشش به مسیر ورودی موتور	سیستم سوخت رسانی
فشاری	سیستم روغن کاری
با آب	نوع خنک کاری

شفت انکودر استفاده شده از نوع کسپتیلر ۱۶۱۳ بی<sup>۲</sup> با گام یک درجه بود که برای اندازه‌گیری فشار داخل سیلندر بر حسب زاویه‌ی میل‌لنگ و همچنین تنظیم آوانس جرقه و زمان آغاز پاشش سوخت ضروری بود. سیستم مدیریت موتور استفاده شده در این مطالعه با دریافت پالس‌های TDC و زاویه میل‌لنگ از شفت انکودر و تنظیمات انجام شده توسط کاربر، شرایط آزمایش را با موتور اعمال کند. موارد قابل تنظیم حین کار موتور تنظیماتی از قبیل زاویه‌ی آغاز پاشش سوختها، طول پاشش آنها و آوانس جرقه است. فشار داخل سیلندر به وسیله یک ترانسدیوسر فشار دینامیک ساخت شرکت کیسلر مدل 6052C اندازه‌گیری شد. از ویژگی‌های این

[۸] با استفاده از یک موتور تک سیلندر پاشش راهگامی اقدام به مطالعه اثر نسبت هم‌ارزی و زاویه شروع پاشش بر عملکرد و آلاینده‌های خروجی در حالت بنزین سوز کردند. آن‌ها با مطالعه زاویه شروع پاشش در بازه ۳۰ درجه قبل تا ۵۰ درجه بعد از ITDC نشان دادند که با ثابت بودن نسبت هم‌ارزی، عملکرد و آلاینده‌های خروجی متأثر از زاویه شروع پاشش نمی‌شود. شامو و همکاران [۹] به بررسی تأثیر زمانبندی پاشش سوخت بر روی احتراق و تغییرات فشار مؤثر متوسط در یک موتور احتراق داخلی با استفاده از دو سوخت بنزین و گاز طبیعی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که زمانبندی پاشش سوخت به مقدار زیادی بر روی کیفیت تشکیل مخلوط سوخت و هوای درون سیلندر و پایداری احتراق تأثیر گذاشته به طوری که این تغییرات در حالت بنزین سوز بیشتر از حالت گازسوز است. اس کی فرخ و وینای کومار [۱۰] در یک موتور احتراق داخلی با پاشش در راهگام ورودی با استفاده از سه سوخت (بنزین، اتانول و متانول) به بررسی عملکرد، انتشار آلاینده‌های خروجی و ویژگی‌های احتراق موتور پرداختند و به این نتیجه رسیدند بازده حرارتی، فشار درون سیلندر و گرمای خالص منتشر شده حالت ترکیب سوز، در مقایسه با بنزین خالص بهبود می‌یابند. مقادیر گازهای خروجی مانند مونوکسیدکربن (CO)، هیدروکربن‌های نسوخته (HC) کاهش یافته و افزایش میزان اکسید نیتروژن (NOx) برای سوخت‌های ترکیبی در مقایسه با بنزین خالص به دلیل ماهیت اکسیژن‌دار الکل نشان می‌دهد.

اغلب مطالعات انجام یافته در خصوص تغییر زمان آغاز پاشش تحت حالت بار کامل انجام شده است در کار حاضر زمان آغاز پاشش هر یک از سوختها با گام ۴۵° تحت نیم بار موتور تغییر داده شد و تغییرات سیکلی پاشش هر یک از سوختها روی غلظت گونه‌های خروجی CO، HC و O<sub>2</sub> مطالعه شد.

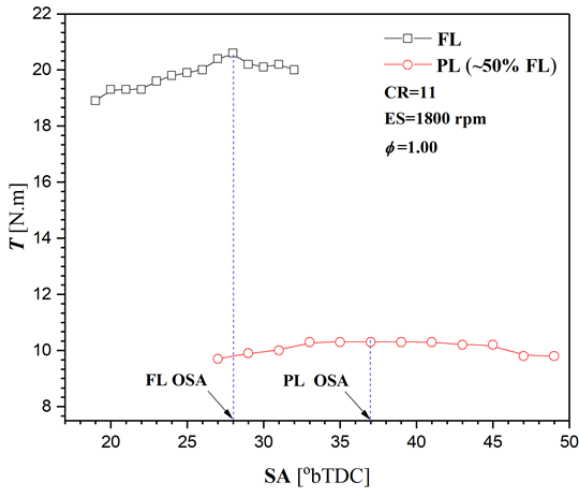
#### تجهیزات استفاده شده

موتور استفاده شده در این آزمایش یک موتور تک سیلندر پژوهشی با دینامومتر مربوطه متصل به آن ساخت شرکت گونت<sup>۱</sup> با شماره کد CT300 است که برای مطالعات تجربی انجام یافته سیستم کنترل پاشش و جرقه قابل تنظیم ارتقا یافته است، استفاده شده است. از ویژگی‌های بارز این موتور قابل تغییر بودن نسبت تراکم آن می‌باشد. تنظیم نسبت تراکم این موتور باید قبل از عملیات داده‌برداری صورت گیرد. این موتور به کمک ماشین آسنکرون که سرعت آن قابل تنظیم است، بارگذاری می‌شود بطوری که قدرت خروجی از موتور در حالت ژنراتور را می‌توان با یک واحد بازیاب به شبکه برق شهری بازگرداند. موتور و ماشین آسنکرون به وسیله یک کولپینگ که از نوع پنجه‌ای و الاستیک می‌باشد به یکدیگر متصل شده‌اند. شکل (۱) نمایی از تجهیزات به کار رفته و محل قرارگیری آنها را نشان می‌دهد. در محل مانیفولد خروجی آنالیزور قرار گرفته است. دستگاه آنالیزور گاز استفاده شده از نوع ساکسون مدل اینفرالیت سی ال<sup>۲</sup> می‌باشد. این آنالیزور نمونه گاز را به وسیله سیستم مکند خود از مانیفولد خروجی دریافت کرده و گونه‌های گاز خروجی را آنالیز می‌کند. این دستگاه غلظت گونه‌های CO، CO<sub>2</sub>، O<sub>2</sub> بر حسب درصد حجمی و HC (هیدروکربن نسوخته) را بر حسب P,P,M بهمراه λ را نیز نشان می‌دهد. با استفاده از مقدار λ می‌توان نسبت هم‌ارزی مورد نظر را با به کمک سیستم مدیریت موتور تنظیم و به موتور اعمال کرد. برای تبدیل داده‌های داده‌های آنالوگ به دیجیتال و ثبت آنها از

<sup>3</sup> Kistler 2613B

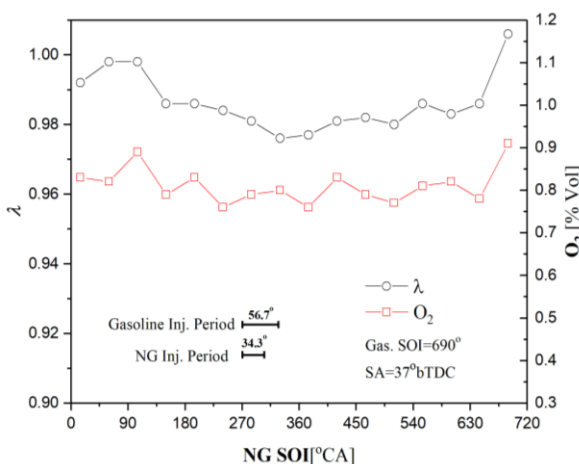
<sup>1</sup> Gunt

<sup>2</sup> infralyt cl



شکل ۲: تغییرات گشتاور خروجی موتور با آوانس جرعه در دو حالت بار کامل و نیم بار

شکل (۳) تغییرات  $\lambda$  و غلظت  $O_2$  در گازهای خروجی را برحسب زمان آغاز پاشش گاز طبیعی نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که در بخش عمده‌ی سیکل که سوپاپ ورودی بسته است وقتی گاز طبیعی به ورودی پاشیده می‌شود مومنتوم آن کمک چندانی به جریان ورودی نمی‌کند و پس از پاشش، عرصه را برای هوای ورودی تنگ می‌کند و در نتیجه کیفیت مخلوط حالت غنی‌تر نسبت به زمان پاشش‌هایی که سوپاپ ورودی باز است و جریان به سمت سیلندر صورت می‌گیرد پیدا می‌کند. در محدوده‌ی زاویه‌ی آغاز پاشش از ۱۵۰ تا ۶۴۵°C تغییرات  $\lambda$  اندک است و در داخل این گستره در موقعیت‌های نزدیک به نقطه‌ی مرگ بالای تراکمی که دورتر از طول باز بودن سوپاپ ورودی است مقدار  $\lambda$  به حداقل رسیده است. غلظت  $O_2$  نیز در زمان آغاز پاشش ۶۹۰°C بخاطر زیادتر شدن مقدار هوای ورودی ناشی از مومنتم گاز بالاتر ظاهر شده است.



شکل ۳: تغییرات  $\lambda$  و غلظت  $O_2$  در گازهای خروجی را برحسب زمان آغاز پاشش گاز طبیعی

شکل (۴) تغییرات غلظت گونه‌های CO و HC محصولات خروجی را برحسب زاویه‌ی آغاز پاشش گاز طبیعی نشان می‌دهد. روند تغییرات این دو

سنسور حساسیت بالا و پایین بودن خطای شوک حرارتی است. سیگنالهای ارسالی از این ترنسدیوسر توسط یک آمپلی‌فایر از نوع کیسلر مدل 5011، تقویت شده و به دیتالاگر مذکور ارسال شد. دبی هوای مورد نیاز بعد از عبور از فیلتر که در قسمت ابتدایی سیستم مکش تعبیه شده اندازه‌گیری شد. مقدار هوای ورودی برحسب گرادیان فشار موجود بین قسمت داخلی فیلتر و باریکترین برش عرضی اتاقک آرامش اندازه‌گیری می‌شود. گرادیان فشار موجود به وسیله یک ابزار اندازه‌گیری که مجهز به یک نمایشگر دیجیتالی است به دبی حجمی بر حسب  $litr/min$  تبدیل می‌شود. اندازه‌گیری دمای ورودی به وسیله یک ترموکوپل PT100 که روی محفظه آرامش اولیه هوای ورودی نصب شده محاسبه شد. سنسور دمای گازهای خروجی در مسیر مانیفولد خروجی نصب شد. این سنسور از نوع NiCr-Ni با دقت یک درجه سانتیگراد می‌باشد و رنج دمایی ۰ تا ۹۰۰ درجه سانتیگراد را تحت پوشش قرار می‌دهد.

### روش داده برداری

ابتدا موتور در حالت موتور گردانی بوسیله دینامومتر راه‌اندازی شد. پس از رسیدن دور موتور به مقدار مورد نظر با استفاده از سیستم مدیریت و توسط کاربر، موتور از حالت موتور گردانی خارج شده و احتراق در موتور آغاز شد. پس از پایدار شدن شرایط موتور با توجه به دمای روغن و آب خروجی، انژکتور بنزین همزمان با انژکتور گاز فعال شده و مقدار پاشش هر کدام با توجه به (۶۰٪ بنزین و ۴۰٪ گاز طبیعی) با استفاده از یک کد نوشته شده به زبان فرترن طوری تنظیم شد که حالت استوکیومتری در آنالیزور گاز قابل رویت شده سپس در ۱۰ آوانس جرعه مختلف گشتاور خروجی بهره داده‌های دیگر ثبت شد تا بتوان مقدار آوانس بهینه جرعه را برای حالت تمام بار بدست آورد. به همراه استخراج گشتاور نیم بار در ادامه فرایند استخراج آوانس بهینه برای حالت نیم بار نیز تکرار و آوانس بهینه بدست آمد. سپس با ثابت نگه داشتن آوانس جرعه در حالت بهینه و نیم بار مرحله اول زمان آغاز پاشش بنزین ثابت مانده و زمان آغاز پاشش گاز (از ۱۵ تا ۶۹۰ درجه میل لنگ با گام ۴۵ درجه) تغییر داده شد و داده‌های مربوطه ثبت گردید. در مرحله دوم زمان آغاز پاشش انژکتور گاز ثابت و زمان آغاز پاشش انژکتور بنزین در زوایای مذکور تنظیم و داده‌های این دسته آزمایش نیز ثبت شد.

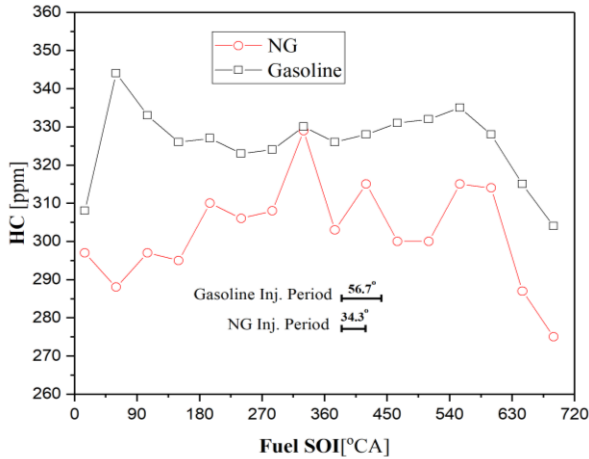
### فراهم کردن شرایط نیم بار موتور

در این پژوهش مبنای اصلی برای بار موتور، گشتاور خروجی در نظر گرفته شد. با باز بودن کامل پروانه گاز تست بار کامل در نسبت هم‌ارزی استوکیومتری و تغییر آوانس جرعه با گام دو درجه انجام گرفت تا بیشترین مقدار گشتاور ( $FL^1$ ) حاصل شود. سپس از روی گشتاور حاصله مقدار نیم بار موتور ( $PL^2$ ) از روی حداکثر گشتاور موتور تعریف شد. در نهایت با تغییر وضعیت پروانه به همراه کنترل طول پاشش سوخت‌ها و نسبت هم‌ارزی، شرایط نزدیک به نیم بار حاصل شد و با تثبیت وضعیت پروانه‌ی گاز تغییرات گشتاور خروجی برحسب آوانس جرعه مورد بررسی قرار گرفت. شکل (۲) تغییرات گشتاور خروجی برحسب آوانس جرعه را در حالت‌های بار کامل و نیم بار نشان می‌دهد.

<sup>2</sup> Part load

<sup>1</sup> Full load

احتراق باشد. اولی به کیفیت مخلوط مربوط می‌شود بطوری که هرچه غنی‌تر باشد غلظت HC نسوخته بیشتر می‌شود، دومی علاوه بر کیفیت مخلوط به قله‌ی فشار و موقعیت وقوع آن وابسته است چون پس از وقوع قله‌ی فشار، گازهای نسوخته در شکاف‌ها که شعله امکان نفوذ به آنها را ندارد فرصت بازگشت به داخل سیلندر را پیدا می‌کند و احتمال نسوختن بخشی از آنها در مرحله‌ی انبساط سریع و عدم حضور شعله در صحنه وجود دارد.



شکل ۶: تغییرات غلظت گونه‌ی HC در گازهای خروجی موتور با تغییر زمان آغاز پاشش هریک از سوخت‌های بنزین و گاز طبیعی

**نتیجه‌گیری**

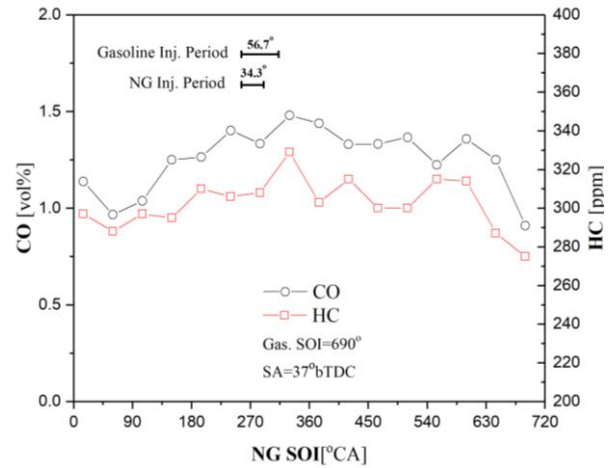
موتور پژوهشی مورد استفاده در کار حاضر یک موتور تک استوانه اشتعال جرقه‌ای است که توانایی کار با دو نوع سوخت بنزین و گاز طبیعی یا ترکیبی از دو سوخت فوق را دارد. داده‌های تجربی مورد نیاز برای کار حاضر با استفاده از نسبت ترکیب (۶۰٪ بنزین و ۴۰٪ گاز طبیعی) استخراج شد و از تحلیل داده‌های به دست آمده نتایج زیر حاصل گردید.

- ۱- حداکثر گشتاور در حالت سوخت ترکیبی بار کامل (۶۰٪ بنزین و ۴۰٪ گاز طبیعی) ۲۰٫۶ N.m در ۲۸ درجه و حداکثر گشتاور نیم بار ۱۰٫۳ N.m در ۳۷ درجه حاصل شد.
- ۲- روند تغییرات CO, HC, ارتباط مستقیم با معکوس  $\lambda$  ( $\phi$ ) دارد بیشترین مقدار آلاینده HC و CO در ۳۳۰°CA و کمترین مقدار آلاینده‌های مذکور در ۶۶۰°CA مشاهده شد. یعنی غنی‌تر بودن مخلوط داخل سیلندر در شکل‌گیری این دو گونه نقش مهمی دارد
- ۳- حساسیت مقدار آلاینده‌ها به تغییرات زاویه شروع پاشش انژکتور بنزین بیشتر از انژکتور گاز طبیعی است.

**فهرست علائم**

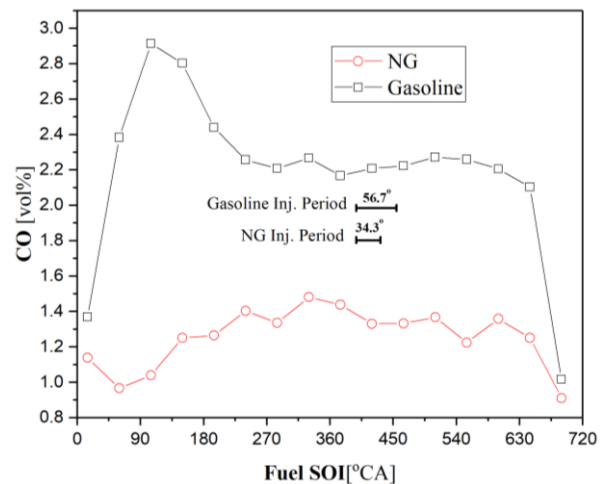
CA	زاویه میل لنگ
SOI	شروع پاشش انژکتور
PFI	پاشش درون راهگامی
NG	گاز طبیعی فشرده
SA	آوانس جرقه
FL	بار کامل
PL	نیم بار
CO	مونواکسید کربن

گونه تقریباً ارتباط مستقیم با معکوس  $\lambda$  ( $\phi$ ) دارد به طوری که این نکته در بیشترین و کمترین مقادیر این دو گونه مشهود است (به ترتیب در ۳۳۰°CA و ۶۶۰°CA). یعنی غنی‌تر بودن مخلوط داخل سیلندر در شکل‌گیری این دو گونه نقش مهمی دارد. با توجه به اینکه گاز طبیعی در فاز گازی به مسیر ورودی پاشیده می‌شود از اندازه‌گیری فشار این مسیر تغییراتی در طول پاشش گاز در فشار استاتیک مسیر مشاهده شد.



شکل ۴: تغییرات غلظت گونه‌های CO و HC محصولات خروجی برحسب زاویه‌ی آغاز پاشش گاز طبیعی

شکل (۵) تغییرات غلظت گونه CO در محصولات خروجی را برحسب زاویه‌ی آغاز پاشش در دو حالتی که فقط زمان آغاز پاشش یکی از سوختها تغییر می‌کند نشان می‌دهد. وقتی  $\phi > 0$  باشد، در مخلوط اولیه اکسیژن کمتری برای اکسید کردن کامل سوخت وجود دارد لذا افزایش غلظت CO با افزایش  $\phi$  قابل توجیه است.



شکل ۵: تغییرات غلظت گونه CO در محصولات خروجی برحسب زاویه آغاز پاشش در دو حالتی که فقط زمان آغاز پاشش یکی از سوختها تغییر می‌کند.

شکل (۶) تغییرات غلظت گونه‌ی HC در گازهای خروجی موتور را با تغییر زمان آغاز پاشش هریک از سوخت‌های بنزین و گاز طبیعی نشان می‌دهد. هیدروکربن نسوخته می‌تواند از کمبود اکسیژن در مخلوط اولیه و جریان مخلوط نسوخته به شکاف‌های مرتبط با محفظه‌ی سیلندر در طول مرحله‌ی

سیلندر پژوهشی، دهمین همایش بین المللی موتورهای درونسوز، تهران، ۱۳۹۶

۶- ابراهیم عبدی اقدم، محمد یاهک، مجید عطایی ترزنگ، بررسی تأثیر ورود کامل مخلوط به هر سیکل با استفاده از فن پرش پاشش بر روی پارامترهای موتور تک سیلندر در حالت گاز سوز، دهمین همایش بین المللی موتورهای درونسوز، تهران، ۱۳۹۶

7- Yang, B., Wei, X., Xi, C., Liu, Y., Zeng, K., & Lai, M. C., 2014, "Experimental study of the effects of natural gas injection timing on the combustion performance and emissions of a turbocharged common rail dual-fuel engine". *Energy conversion and management*, 87, 297-304.

8- Suwanchotchoung, N., & Williamson, J. W., 2003. "The effect of fuel manifold injection and injection timing on performance and emissions for a spark ignition engine" , *SAE Technical Paper*.

9- Sahoo, S., & Srivastava, D. K., 2021, "Effect of injection timing on combustion and IMEP variation of a bi-fuel compressed natural gas SI engine". *Environmental Progress & Sustainable Energy*.

10- Farooq, S., & Kumar, D. V., 2020, "Experimental Study on Performance, Emissions and Combustion Characteristics of PFI Spark Ignition Engine Fueled with E30 Equivalent Binary and Ternary GEM Blends", *INCAS Bulletin*, 12(3), 101-112.

HC

هیدرو کربن نسوخته

CR

نسبت تراکم

RPM

دور بر دقیقه

## مراجع و منابع

۱- ابراهیم عبدی اقدم، محسن باشی، بررسی تجربی تأثیر موقعیت آغاز پاشش بنزین روی تغییرات سیکلی یک موتور پژوهشی تک سیلندر اشتعال جرقه‌ای، مهندسی مکانیک مدرس، ۱۳۹۳

2- Li, J., Gong, C. M., Su, Y., Dou, H. L., & Liu, X. J., 2010, "Effect of injection and ignition timings on performance and emissions from a spark-ignition engine fueled with methanol", *Fuel*, 89(12), 3919-3925.

۳- آرمان رستم پور، عطیه صفائی عرشى. بررسی عددی تأثیر استفاده از دو انژکتور در راهگاه ورودی بر برخی مشخصه‌های احتراقی یک موتور احتراق جرقه‌ای پرخوران، نشریه علمی و پژوهشی سوخت و احتراق، ۱۳۹۷

4- Shibata, H., Mizobuchi, T., Iwamuro, M., Koda, A., & Omura, H. 2017. "New spray concept development for dual injection system", *SAE Technical Paper*.

۵- ابراهیم عبدی اقدم، ایوب قنبری، مجید عطایی ترزنگ، تعیین زمانبندی بهینه جرقه در یک حالت ترکیب سوز (بنزین -گازطبیعی) در یک موتور تک