مکانیک سازه‌ها و شاره‌ها/ سال ۱۴۰۰/ دوره ۱۱/ شماره ۵/ صفحه ۱۹۹-۲۱۰

نشریه علمی مکانیک سازه‌ها و شاره‌ها

دانشگاه صنعتی شاهرود

DOI: 10.22044/jsfm.2021.9753.3200

# بررسی تجربی تاثیر افزودن متیل هوموپلیمر به بنزین در جهت بهبود عملکرد موتور و کاهش آلاینده‌ها

**سجاد داوری[۱]، فتح اله امّی[۲،*] و زهیر صبوحی[۳]**

[۱] دانشجو، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

[۲] استاد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

[۳] استادیار، پژوهشگاه هوافضا، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، تهران، ایران

**مقاله مستقل**، تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۲۲؛ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۱/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۲۳

## چکیده

در این پژوهش اثرات افزودن متیل هوموپلیمر به بنزین بر روی عملکرد موتور احتراق داخلی و همچنین انتشار آلاینده‌ها مطالعه شده است. با اضافه کردن این افزودنی به بنزین پایه، عدد اکتان سوخت افزایش می‌یابد. در این تحقیق سوخت‌های مورد نظر که شامل یکی بنزین معمولی و دیگری بنزین همراه با متیل هوموپلیمر روی یک موتور احتراق داخلی تحت آزمون‌های عملکردی قرار گرفته‌اند؛ همچنین تغییرات مقادیر آلاینده‌های خروجی از موتور نیز اندازه‌گیری شد. نتایج بدست آمده از آزمون‌های تجربی نشان می‌دهد که با افزودن افزودنی به بنزین، میزان گشتاور ترمزی و توان ترمزی به ترتیب ۴/۲۸٪ و ۲/۳۱٪ در میانگین متوسط مقادیر (دورهای مختلف کارکرد موتور)، افزایش می‌یابند. لازم به توضیح است که با اختلاط بنزین و افزودنی آلاینده‌های دی‌اکسید کربن و اکسیدهای نیتروژن به ترتیب ۷/۴۱٪ و ۶/۲۱٪ در میانگین متوسط مقادیر، افزایش می‌یابند؛ درحالی که آلاینده‌های هیدروکربن‌های نسوخته و منواکسیدکربن خروجی از موتور به ترتیب ۱۸/۱۷٪ و ۹/۰۵٪ در میانگین متوسط مقادیر، کاهش می‌یابند.

**کلمات کلیدی:** متیل هوموپلیمر؛ انتشارآلاینده‌های خروجی؛ عملکرد موتور؛ موتور احتراق داخلی.

# Experimental Study of the Effects of Adding Methylated Homopolymer to Gasoline on the Engine Performance and Pollutant Emissions

**S. Davari [1], F. Ommi [2,*], Z. Saboohi[3]**

[1] Student, Department of Mechanical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

[2] Professor, Department of Mechanical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

[3] Assistant Professor, Aerospace Research Institute, ministry of science, research and technology, Tehran, Iran.

## Abstract

In this study, the effects of adding methylated homopolymer to gasoline on the performance of an internal combustion engine have been investigated. This additive increases the number of octane gasoline. In this research, these fuels which include ordinary gasoline and the other gasoline with the methylated homopolymer, were subjected to performance tests on the internal combustion engine. Also, the amount of exhaust emissions of the engine was measured. The results of experimental tests show that with the addition of additive to gasoline, the brake torque and braking power were increased by 4.28 % and 2.31 %, respectively, in the mean of average values (different engine operating speed). By combining gasoline and additive, carbon dioxide and nitrogen oxide contaminants increase by 7.41 % and 6.21 %, respectively. Also, contaminants of uncured hydrocarbons and carbon monoxide emissions from the engine are reduced by 18.17 % and 9.05 %, respectively, in the mean of average values.

**Keywords:** Methylated Homopolymer; Exhaust Emissions; Engine Performance; Internal Combustion Engine.

* نویسنده مسئول؛ تلفن: ۰۲۱۸۲۸۸۳۹۴۸؛ فکس: ۰۲۱۸۲۸۸۳۹۴۸

آدرس پست الکترونیک: fommi@modares.ac.ir

## ۱- مقدمه

امروزه موتورهای احتراق داخلی همچنان بعد از گذشت ده‌ها سال از تولید اولیه خود نقش مهمی را در زندگی بشر ایفا می‌کنند و به دلیل نقش غیر قابل انکار آن‌ها در ارتباطات و توسعه اجتماعی، روز به روز توجه به این بخش از صنعت بیشتر شده است. با وجود پیشرفت‌های چشم‌گیر در فناوری تولید موتورهای الکتریکی و هیبرید، همچنان موتورهای احتراق داخلی با مصرف سوخت‌های فسیلی سهم عمده‌ای در سیستم‌های تولید توان و انرژی دارند. کمبود ذخایر نفتی و استانداردهای زیست محیطی وضع شده توسط انجمن‌های بین‌المللی، محققان را بر آن داشته که در راستای کاهش مصرف سوخت، کاهش انتشار آلاینده‌های محیط زیستی، بهبود پارامترهای عملکردی موتور و همچنین بهبود بخشیدن به خواص منحصر به فرد سوخت، اصلاحات لازم را انجام دهند [۲-۱].

متیل ترشیاری بوتیل اتر (MTBE) از اواخر دهه‌ی ۱۹۷۰ در ایالات متحده آمریکا در مقادیر حجمی اندک به عنوان افزایش دهنده‌ی عدد اکتان مورد استفاده قرار گرفت. هدف از استفاده این ماده، حذف کامل سرب از بنزین بود. اکسیژن موجود در MTBE موجب می‌شود، سوخت کامل‌تر بسوزد؛ همچنین آلاینده‌های تولیدی از وسایل نقلیه کاهش می‌یابد. بیشتر پالایشگاه‌ها به دلیل ویژگی‌های ساختاری مطلوب MTBE و همچنین مقرون به صرفه بودن، از این ماده به عنوان افزودنی استفاده کرده‌اند. MTBE یک ماده سرطان‌زا برای انسان‌ها و حیوانات شناخته می‌شود که دلیل آن، حل شدن این ماده در آب‌های زیرزمینی است [۳].

پاتیل و همکاران [۴] تاثیر افزودن هیدروکربن‌های آروماتیک[1] بر روی بنزین را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که افزودن هیدروکربن‌های آروماتیک به بنزین باعث افزایش همزمان RON و MON می‌شود؛ درحالی که تاثیر آلکین بنزن[2] بر MON بیشتر از RON است؛ همچنین با افزودن الکل‌های آروماتیک[3] به بنزین عدد اکتان سوخت بیش از ۱۰٪ افزایش پیداکرد.

پن و همکاران [۵] اثر افزودن ۲- فنیلتانول[4] بر بنزین را بررسی کردند. ۲- فنیلتانول یک افزودنی با عدد اکتان بالا (حدود ۱۱۰) است که از سوخت زیستی بدست می‌آید. آن‌ها مشاهده کردند که در صورت اضافه کردن این افزودنی زیستی، فشار داخل سیلندر و گرمای آزاد شده کاهش می‌یابد؛ همچنین افزودن این افزودنی باعث کاهش مدت زمان احتراق و تاخیر احتراق[5] شد. بر اساس آزمایش‌های صورت گرفته توسط آن‌ها ۲- فنیلتانول مقاومت بسیار خوبی در برابر کوبش دارد که دلیل آن یکی عدد اکتان بالای این ماده و دیگری ساختار شیمیایی آن است. آن‌ها نتیجه گرفتند که با اضافه کردن این افزودنی اکسیدهای نیتروژن کاهش می‌یابد، ولی هیدروکربن‌های نسوخته و دی‌اکسید کربن افزایش پیدا می‌کند.

در مطالعات والینایاگام و همکاران [۶] سه ترکیب متفاوت سوخت حاوی مقادیر ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی ترپینول[6] بر یک موتور اشتعال جرقه‌ای تک سیلندر چهار زمانه مورد بررسی قرار گرفت. ترپینول یک افزودنی سوختی به منظور افزایش عدد اکتان است که بر خلاف اتانول تراکم انرژی بالایی دارد. آن‌ها بیان کردند که با افزودن این افزودنی عدد اکتان سوخت بالاتر می‌رود و همچنین بازده حرارتی و مصرف سوخت بهبود پیدا می‌کند. نتایج آزمون‌های آن‌ها نشان می‌دهد که در حالت ۳۰ درصد حجمی ترپینول و در بار کامل، بازده حرارتی ۱۲/۱ درصد نسبت به استفاده از بنزین بدون خالص افزایش یافت. نتایج دیگر این آزمون‌های تجربی، حاکی از این واقعیت بود که مصرف سوخت در حالتی که ۳۰ درصد حجمی ترپینول استفاده می‌شود. برای بار جزئی ۶/۲ درصد و برای بار کامل ۹/۷ درصد نسبت به استفاده از بنزین خالص کاهش می‌یابد. علاوه بر این مشاهده شد، در حالت بار کامل و ۳۰ درصد حجمی ترپینول، مقادیر آلاینده‌های هیدروکربن‌های نسوخته و کربن مونو اکسید به ترتیب ۸ درصد و ۲۲/۷ درصد نسبت به استفاده از بنزین خالص کاهش یافته، درحالی که مقادیر آلاینده‌های اکسید نیتروژن و دوده افزایش یافت.

[1] Aromatic Hydrocarbon
[2] Alkylbenzene
[3] Aromatic Alcohol
[4] 2-Phenylethanol
[5] Ignition Delay
[6] Terpineol

دمداران و همکاران [۷] اثر افزودن n-butanol در درصدهای حجمی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد به بنزین خالص در یک موتور اشتعال جرقه‌ای چهار سیلندر را بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که با افزودن این افزودنی، آلاینده‌های مونواکسید کربن و هیدروکربن‌های نسوخته کاهش می‌یابد. درحالی که آلاینده اکسید نیتروژن برای تمامی ترکیبات نسبت به بنزین خالص افزایش یافت؛ همچنین مشخص گردید، در صورت اضافه شدن n-butanol به بنزین، نقطه بیشینه فشار و همچنین نرخ انتشار گرما نسبت به بنزین افزایش می‌یابد.

امی و همکاران [۸ و ۹] تاثیر استفاده از یک ترکیب سوختی جدید شامل بنزین، افزودنی‌های اکسیژندار و نانومواد را روی پارامترهای عملکردی موتور و همچنین انتشار آلاینده‌ها را بررسی کردند. آن‌ها از موتور XU7JP/L3 برای انجام آزمون‌های خود استفاده کردند. آن‌ها از این پژوهش نتیجه گرفتند که با استفاده از این افزودنی ترکیبی، پارامترهای عملکردی موتور بهبود یافت و همچنین مقادیر آلاینده‌ها کاهش پیدا کرد. آن‌ها بیان کردند که در صورت اضافه کردن نانومواد از قبیل اکسید منیزم، اکسید سریم و اکسید آهن به سوخت حاوی بنزین و اتانول، مقدار دمای محفظه افزایش یافته و به طبع آن مقدار توان موتور و گشتاور بهبود یافت؛ همچنین استفاده از این ترکیبات موجب کاهش آلاینده‌های کربن مونواکسید (۱۰ درصد) و هیدروکربن‌های نسوخته (۱۲ درصد) شد.

چنان‌چه بررسی گردید، استفاده از ترکیبات نوین در افزودنی‌های سوخت کاربرد فراوان و رو به توسعه‌ای دارد و به عنوان یکی از اصلی‌ترین راهکارهای بهبود عملکرد موتور، کاهش مصرف سوخت و همچنین کاهش انتشار گروهی از آلاینده‌ها مطرح است. از طرف دیگر هرکدام از افزودنی‌های اشاره شده نقاط ضعف خود را دارند که از جمله آن‌ها می‌توان به پایین بودن ارزش حرارتی سوخت نهایی و یا بالا بودن درصد حجمی افزودنی اشاره کرد. به همین منظور در این پژوهش اثربخشی افزودن متیل هوموپلیمر[1] به بنزین در نسبت حجمی ۵ درصد مطالعه شده است. هدف از انجام این تحقیق، مطالعه تغییرات پارامترهای عملکردی موتور و انتشار آلاینده‌ها است. در ادامه این نوشتار، پارامترهای مهم عملکردی موتور معرفی می‌گردد. این پارامترها شامل توان ترمزی و گشتاور ترمزی است. سپس در خصوص افزودنی و تجهیزات آزمایشگاهی و همچنین روش انجام آزمون‌ها، توضیحاتی ارائه می‌شود. در نهایت نتایج آزمون‌های تجربی این تحقیق ارائه شده و روی آن‌ها تحلیل و بررسی صورت می‌گیرد.

## ۲- پارامترهای مهم در تست موتورهای پیستونی

در این بخش پارامترهای اندازه‌گیری شده در این تحقیق معرفی شده و معادلات مربوط به آن‌ها ارائه می‌شود.

### ۲-۱- قدرت و گشتاور ترمزی

در آزمون‌های تست عملکرد موتور احتراق داخلی، قدرت و گشتاور موتور عموماً توسط یک دینامومتر اندازه‌گیری می‌شود. موتور روی یک میز آزمایش بسته می‌شود و محور آن به روتور دینامومتر متصل می‌شود. روتور به طریق اصطکاک الکترومغناطیسی، هیدرولیکی یا مکانیکی به استاتور متصل است. استاتور در یک یاتاقان کم اصطکاک محصور شده است. استاتور در تعادلی با روتور تثبیت شده و با حرکت روتور، کوپل لازم برای متعادل کردن استاتور با استفاده از وزنه، فنر یا به طریق پنوماتیکی ایجاد می‌شود [10]. کوپل وارده T بصورت زیر محاسبه می‌شود.

$$T = F.b \qquad (۱)$$

که F نیرو و b بازوی اعمال نیرو است. قدرت موتور P که توسط دینامومتر جذب می‌شود، برابر حاصل ضرب کوپل (T) و سرعت زاویه‌ای موتور است.

$$P(KW) = 2\pi N(\frac{rev}{\min}).T(N.m).10^{-3}/60 \qquad (۲)$$

## ۳- مواد و تجهیزات آزمایشگاهی

در این قسمت مواد مورد استفاده در این تحقیق و تجهیزات آزمایشگاهی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

### ۳-۱- مواد استفاده شده در آزمون تجربی

سوخت‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل یکی بنزین بدون سرب و دیگری ترکیب بنزین با متیل هوموپلیمر است. پلیمرها از ترکیب اجزای تکراری بنام مونومرها تشکیل شده-

[1] Methylated Homopolymer

اند. مونومرها با پیوندهای شیمیایی به یکدیگر متصل شده و پلیمرها را تشکیل می‌دهند. اگر یک پلیمر فقط از یک نوع مونومر تشکیل شده باشد ، به آن یک هموپلیمر گفته می‌شود. اگر یک یا چند گروه متیل ($CH_3$) به ساختار شیمیایی هموپلیمر اضافه شود، به آن هوموپلیمر متیل گفته می‌شود. جدول ۱ مقادیر عدد اکتان و سایر پارامترهای سوخت‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل یکی بنزین معمولی و دیگری ترکیب بنزین با متیل هوموپلیمر را نشان می‌دهد.

### ۳-۲- مشخصات موتور XU7JP/L3

جهت ارزیابی عملکرد افزودنی سوخت معرفی شده در بخش قبل موتور احتراق داخلی XU7JP/L3 انتخاب شده است. لازم به توضیح است که مدل موتور XU7 مورد استفاده در این تحقیق در اروپا با نام LFZ و در ایران با نام L3 شناخته می‌شود. این موتور در ایران به طور معمول روی گروهی از خودروهای ساخت شرکت ایران خودرو مانند خودرو پژو GLX405 نصب شده است. موتور یاد شده در حال حاضر در داخل کشور نیز تولید می‌شود. علت انتخاب این موتور نیز در دسترس بودن آن و تولید داخل آن بوده است. مشخصات موتور XU7JP/L3 در جدول ۲ ارائه شده است [۱۱].

### ۳-۳- اندازه‌گیری توان و گشتاور

برای اندازه‌گیری توان و گشتاور موتور از دینامومتر جریان گردابی ساخته شده توسط شرکت مهندسی مبتکران پارس اندیش (MPA) استفاده می‌شود. این دینامومتر به وسیله محور گردان به سر میلنگ موتور وصل شده و با اعمال بار به موتور میزان توان و گشتاور موتور را در هر دور نمایش می‌دهد. دینامومتر درون یک محفظه‌ی فولادی قرار گرفته است تا ایمنی لازم هنگام کار فراهم شود. اعمال بار به موتور به صورت خودکار یا دستی و به کمک نرم‌افزار دینامومتر از طریق رایانه انجام می‌گیرد. بار اعمالی در این پژوهش از نوع ترمز ادی‌کارنت است؛ به این صورت که شفت دینامومتر با یک کوپلینگ به شفت چرخان موتور کوپل می‌شود و از طریق کنترل گشتاور سیستم دینامومتر امکان تست بارگیری از موتور در نقاط کار مختلف فراهم می‌شود. سیستم کنترل گشتاور دینامومتر دارای یک سیم پیچ در داخل دینامومتر است که با ایجاد جریان مختلف سرعت دورانی آن کنترل می‌شود. اپراتور با تحریک بار دینامومتر میزان گشتاور را کنترل می‌کند. مشخصات فنی دینامومتر در جدول ۳ نشان داده شده است.

**جدول ۱- مقادیر عدد اکتان برای سوخت‌های مورد استفاده**

| | Normal Gasoline | Gasoline with additive |
|---|---|---|
| Motor Octane Number (MON) | ۸۳/۶ | ۹۳/۱ |
| Research Octane Number (RON) | ۸۷/۳ | ۹۶/۷ |
| Antiknock Index (MON + RON)/2 | ۸۵/۴۵ | ۹۴/۴ |
| Lower Heating Value (MJ/kg) | ۴۳/۵ | ۵۱/۷ |
| Latent Heat of Vaporization (KJ/Kg) | 350 | 331 |

**جدول ۲- مشخصات موتور XU7 JP/L3 [۱۱]**

| | |
|---|---|
| مدل | LFZ |
| کارخانه سازنده | ایران خودرو |
| قطر در کورس سیلندر | 83×81.4 mm |
| حجم موتور | 1761 $cm^3$ |
| نسبت تراکم | 10.2 : 1 |
| تعداد سوپاپ | 8 |
| بیشینه توان در 6000 rpm | 100 hp |
| بیشینه گشتاور در 3000 rpm | 153 N.m |

**جدول ۳- مشخصات فنی دینامومتر**

| | |
|---|---|
| مدل | WE540 |
| شرکت سازنده | مبتکران پارس اندیش |
| توان | ۱۷۰ کیلووات |
| گشتاور | ۵۵۰ نیوتن متر |
| دور | ۷۰۰۰ دور بر دقیقه |

دستگاه کنترلر موتور ساخت مبتکران پارس اندیش دارای پنل نمایش ۷ اینچی و لمسی بوده و این پنل، دارای صفحات مخصوص نمایش و تنظیم ضرایب است. پنل نمایشی، دارای قسمت کالیبراسیون بوده و امکان کالیبره نمودن مقادیر وجود دارد. در پنل ورودی، امکان تعاریف نقاط کاری به‌صورت دستی وجود دارد؛ همچنین، امکان انجام بعضی از آزمون‌ها، به‌صورت دستی و بدون نیاز به نرم‌افزار نیز وجود دارد. این دستگاه برای کنترل دینامومتر ادی کارنت کاربرد دارد. در شکل ۱ کنترلر دینامومتر ساخت شرکت مبتکران پارس اندیش نشان داده شده است.

### ۳-۴- اندازه‌گیری آلاینده‌ها

به منظور اندازه‌گیری آلاینده‌های موتور از دستگاه آلاینده-سنج CAP3200 استفاده شد که ساخت شرکت Capelec فرانسه است. این دستگاه قابلیت اندازه‌گیری آلاینده‌های کربن دی اکسید، کربن مونواکسید، هیدروکربن‌های نسوخته و اکسیدهای نیتروژن را دارد. لازم به توضیح است که در این دستگاه آلاینده‌های کربن دی‌اکسید، کربن مونواکسید و هیدروکربن‌های نسوخته توسط حسگر فروسرخ غیرپاشنده (حسگر NDIR) و آلاینده اکسیدهای نیتروژن توسط حسگر الکتروشیمیایی اندازه‌گیری می‌شوند. برای دست‌یابی به مقادیر دقیق، سوراخی بر سر خروجی اگزوز تعبیه شده تا امکان تماس حس‌گر با دود قبل از خروج را فراهم کند. در جدول ۴ مشخصات فنی دستگاه آلاینده سنج ارائه شده است. در این جدول مدل و شرکت سازنده دستگاه آلاینده سنج و همچنین نوع آلاینده‌ها و بازه اندازه‌گیری آن‌ها نشان داده شده است.

**جدول ۴- مشخصات فنی دستگاه آلاینده سنج**

| | | |
|---|---|---|
| شرکت سازنده | CAPELEC | |
| مدل | CAP3200-4GAZ | |
| محدوده اندازه‌گیری آلاینده | 0-15 % vol. | CO |
| | 0-20 % vol. | CO2 |
| | 0-20000 ppm | HC |
| | 0-21.7 % vol. | O2 |
| | 0.8-1.2 | λ |

### ۳-۵- اندازه‌گیری فشار داخل سیلندر

به منظور اندازه‌گیری فشار داخل سیلندر در زوایای مختلف میل‌لنگ از دستگاه اندازه‌گیری Cussons استفاده گردید. به همین منظور از یک مبدل فشار پیزو الکتریک با بلورهای کوارتز از نوع AVL GU 13G برای اندازه گیری فشار داخل سیلندر استفاده شد. این مبدل در بالای سیلندر موتور قرار دارد و اطلاعات از آن به دستگاه اندازه‌گیری ارسال می‌شود. در هر مرحله از حالت‌های مختلف زوایای میل‌لنگ، فشار داخل سیلندر ثبت می‌شود. بعد از استحصال نتایج حاصل از داده های تجربی در مورد فشار داخل سیلندر، نمودار فشار بر حسب زوایای مختلف میل‌لنگ با استفاده از نرم افزار Tecplot ترسیم شد. نمایی از دستگاه اندازه‌گیری Cussons در شکل ۲ نشان داده شده است.

در شکل ۳ نمایی از کلیه تجهیزات آزمایش شامل موتور، دینامومتر و دستگاه تست آلاینده‌ها نشان داده شده است. در این شکل تجهیزات شامل موارد ذیل است:

۱- دستگاه آلاینده سنج با رنگ آبی در سمت چپ تصویر

۲- دینامومتر با رنگ کرم در مرکز تصویر

**شکل ۱- کنترلر دینامومتر**

**شکل ۲- دستگاه اندازه‌گیری Cussons**

**شکل ۳- کلیه تجیهزات آزمایش شامل موتور، دینامومتر و دستگاه تست آلاینده‌ها**

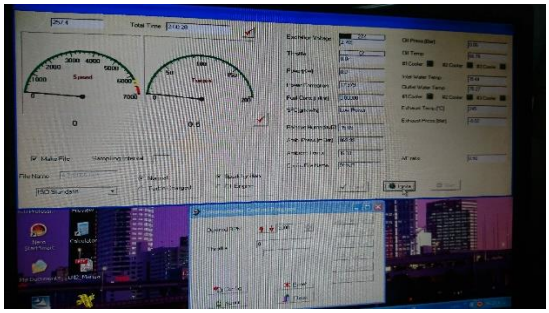
۳- موتور در سمت راست تصویر
۴- شافت متصل کننده موتور و دیتاموتر
۵- رادیاتور
۶- باک بنزین با رنگ قرمز
۷- دستگاه گیرنده اطلاعات از موتور و دینامومتر در بالای تصویر

## ۴- روش شناسی آزمون

آزمون‌های تجربی در آزمایشگاه موتور و پیشرانش دانشگاه تربیت مدرس انجام شد. برای اندازه‌گیری پارامترهای عملکردی موتور و همچنین مقادیر آلاینده‌ها در کار حاضر، مراحل انجام آزمایش به صورت زیر است. در ابتدا موتور روشن و راه‌اندازی می‌شود و به مدت ۱۰ دقیقه در حالت دور ثابت کار می‌کند. متیل هوموپلیمر در درصد حجمی ۵٪ با بنزین بدون سرب ترکیب گردید و سوخت حاصل و بنزین بدون افزودنی تحت آزمون‌های عملکردی قرار گرفتند. برای هریک از مخلوط‌های سوخت، آزمون عملکرد موتور برای سرعت‌های مختلف موتور در چهار حالت ۱۵۰۰، ۲۰۰۰، ۲۵۰۰ و ۳۰۰۰ (دور بر دقیقه)، انجام پذیرفته است. تمامی آزمون‌ها با بار موتور ۵۰ درصد انجام شده و سرعت موتور به صورت خودکار و به وسیله نرم‌افزار به موتور اعمال می‌شود. لازم به توضیح است که موتور معمولا در شرایط بار جزئی کار می‌کند و بر همین مبنا بیشترین مقدار آلاینده‌ها نیز در شرایط کار بار جزئی منتشر می‌شود. به همین دلیل در این پژوهش تمامی آزمون‌ها با بار جزئی موتور (۵۰ درصد) انجام گرفت. بار اعمال شده به مدت ۵ دقیقه وارد گردید تا عملکرد موتور به حالت پایدار برسد. توان و گشتاور موتور از طریق دینامومتر اندازه‌گیری شده و به صورت خودکار در یک پوشه ذخیره می‌شود. حسگر دستگاه آلاینده سنج در مسیر دود قرار گرفته و میزان آلاینده‌ها در طول آزمایش و در دورهای مختلف به صورت چاپ شده از دستگاه استخراج می‌شود. در پایان هر آزمون، حسگر از مسیر خارج شده و تمیز می‌شود تا دوده‌ای که روی آن نشسته است، دقت عملکرد دستگاه را پایین نیاورد. سپس مشخصه‌هایی نظیر توان، گشتاور، انتشار آلاینده‌ها، دما و فشار خروجی اگزوز، دما و فشار روغن و غیره در رابطه با هر نوع سوخت و در دورهای مختلف موتور، به عنوان پارامترهای عملکردی مورد مقایسه قرار می‌گیرند. در هر دور عملکردی موتور، آزمون‌های عملکردی موتور به منظور ارزیابی تکرارپذیری نتایج آزمون، سه مرتبه تکرار شدند و مقدار میانگین در انتها ثبت و گزارش شده است؛ همچنین در این آزمایش کالیبراسیون دستگاه بر اساس دور موتور ثابت است و مقایسه نتایج بین بنزین معمولی و بنزین همراه با افزودنی در یک دور ثابت انجام شده‌است. در شکل ۴ نمایی از نرم افزار دینامومتر نشان داده شده است. در قسمت پایین شکل مقدار بار موتور و همچنین مقدار دور موتور به عنوان پارامترهای تحت کنترل در نرم افزار مقداردهی می‌شود. قسمت بالای شکل اطلاعات اندازه‌گیری شده توسط دینامومتر را نمایش می‌دهد که شامل دور موتور، گشتاور ترمزی، توان ترمزی، دمای خروجی اگزوز و فشار و دمای روغن موتور است. ضمنا تمامی این اطلاعات از زمان استارت موتور تا لحظه خاموش شدن بصورت فایل ذخیره می‌شوند.

لازم به توضیح است که امّی و همکاران [۱۲] از موتور XU7JP/L3 موجود در شرکت ایپکو برای انجام پژوهش خود استفاده کردند و به همین منظور از این مرجع به منظور بررسی درستی نتایج استفاده شد. برای بررسی درستی نتایج،

موتور موجود در آزمایشگاه در حالت دریچه گاز کاملا باز و با بنزین سوپر و بدون اضافه کردن هیچ نوع افزودنی، مورد آزمایش قرار گرفت و نتایج حاصل شده با نتایج ارائه شده توسط آن‌ها مقایسه شدند. به همین منظور قبل از اضافه کردن متیل هوموپلیمر، کالیبراسیون دینامومتر و دستگاه اندازه‌گیری آلاینده‌ها بررسی شد. مقایسه نتایج و درصد خطا آزمایش در جدول ۵ ارائه شده است.



**شکل ۴- نمایی از نرم افزار دینامومتر**

**جدول ۵- بررسی دقت اندازه‌گیری دستگاه‌ها قبل از اضافه کردن افزودنی**

| پارامتر | دور موتور | مقدار اندازه‌گیری شده | مقدار ارائه شده در مرجع [۱۲] | درصد خطا (٪) |
|---|---|---|---|---|
| گشتاور ترمزی [N.m] | ۱۵۰۰ | ۱۲۵ | ۱۲۸ | ۲/۳۴ |
| | ۲۰۰۰ | ۱۲۸ | ۱۳۰ | ۱/۵۴ |
| | ۲۵۰۰ | ۱۳۵ | ۱۳۸ | ۲/۱۷ |
| | ۳۰۰۰ | ۱۴۰ | ۱۴۲ | ۱/۴۱ |
| توان ترمزی [kW] | ۱۵۰۰ | ۱۹.۵ | ۲۰ | ۲/۵ |
| | ۲۰۰۰ | ۲۶.۵ | ۲۷ | ۱/۸۵ |
| | ۲۵۰۰ | ۳۵ | ۳۶ | ۲/۷۸ |
| | ۳۰۰۰ | ۴۲ | ۴۴ | ۴/۵۴ |
| کربن مونواکسید [%V] | ۱۵۰۰ | ۳/۵ | ۳/۴ | ۲/۹۴ |
| | ۲۰۰۰ | ۳/۴ | ۳/۳ | ۳/۰۳ |
| | ۲۵۰۰ | ۳/۳۵ | ۳/۲۵ | ۳/۰۸ |
| | ۳۰۰۰ | ۳/۵۵ | ۳/۴ | ۴/۴۱ |
| اکسیدهای نیتروژن [ppm] | ۱۵۰۰ | ۸۵۰ | ۸۸۰ | ۳/۴۱ |
| | ۲۰۰۰ | ۱۰۲۵ | ۱۰۲۵ | ۲/۳۸ |
| | ۲۵۰۰ | ۱۰۳۰ | ۱۰۷۵ | ۴/۱۹ |
| | ۳۰۰۰ | ۱۱۰۰ | ۱۱۵۰ | ۴/۳۵ |
| هیدروکربن‌های نسوخته [ppm] | ۱۵۰۰ | ۱۸۵۰ | ۱۸۰۰ | ۲/۷۸ |
| | ۲۰۰۰ | ۱۹۷۰ | ۱۹۰۰ | ۳/۶۸ |
| | ۲۵۰۰ | ۲۴۰۰ | ۲۳۰۰ | ۴/۳۵ |
| | ۳۰۰۰ | ۲۴۵۰ | ۲۴۰۰ | ۲/۰۸ |

## ۵- نتایج و بحث

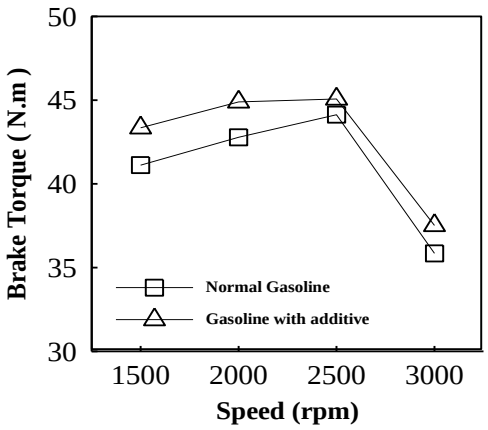
در این قسمت نتایج حاصل از آزمون‌های تجربی ارائه می‌گردد. نتایج حاصله در دو بخش جداگانه ارائه شده است. بخش اول شامل تاثیر افزودن متیل هوموپلیمر بر پارامترهای عملکردی موتور و بخش دیگر شامل مطالعه اثر افزودنی بر انتشار آلاینده‌های خروجی از موتور است.

### ۵-۱- تاثیر افزودنی بر پارامترهای عملکردی موتور

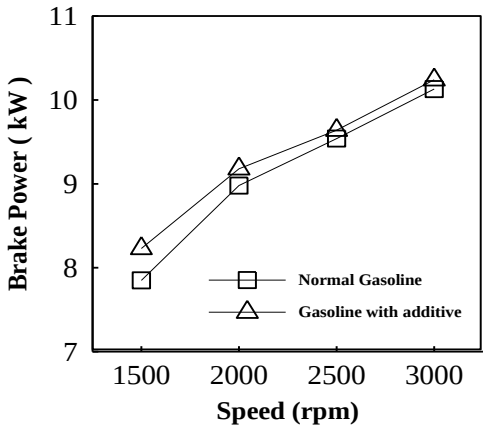
همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌گردد با افزودن متیل هوموپلیمر به سوخت، گشتاور ترمزی افزایش می‌یابد و علت این امر وجود هیدروکربن‌های آروماتیک در ساختار متیل هوموپلیمر است. هیدروکربن‌های آروماتیک به دلیل ساختار حلقوی خود تمایلی به خوداشتعالی ندارند و موجب می‌شوند که اثر خوداشتعالی سوخت کمتر شود. درنتیجه فرآیند و سیکل احتراق کامل می‌شود و انرژی شیمیایی سوخت به صورت کامل‌تری به کار مکانیکی تبدیل خواهد شد؛ همچنین لازم به توضیح است که با افزایش دور موتور تا ۲۵۰۰ دور بر دقیقه گشتاور افزایش پیدا می‌کند. این امر ناشی از پر شدن کامل سیلندر در مرحله تنفس است؛ اما در سرعت‌های بالاتر به علت زمان تنفس کمتر، سیلندر به طور کامل پر نمی‌گردد در نتیجه گشتاور موتور کاهش پیدا می‌کند.

همان‌گونه که در شکل ۶ ملاحظه می‌گردد، توان ترمزی با افزودن متیل هوموپلیمر به سوخت افزایش می‌یابد و این پدیده در تمامی دورهای موتور به طور مشهود ملاحظه می‌شود. این امر را می‌توان به دلیل افزایش عدد اکتان در پی اختلاط سوخت با افزودنی‌ها دانست؛ زیرا افزایش عدد اکتان سبب تاخیر در وقوع اشتعال گردیده و به طبع آن، فشار در فرآیند تراکم کاهش و در فرآیند انبساط افزایش می‌یابد. از این رو سطح محصور منحنی P-V افزایش یافته و توان ترمزی افزایش می‌یابد. بر اساس فرمول توان ترمزی که در فصل قبل ارائه شد، توان ترمزی با دور موتور ارتباط مستقیم دارد، به همین علت با افزایش دور موتور، توان ترمزی نیز افزایش می‌یابد.

شکل ۷ تغییرات فشار داخل سیلندر را بر حسب زاویه میل لنگ را برای دو نوع سوخت مورد استفاده در دورهای مختلف نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل نشان داده شده است، مقدار فشار داخل سیلندر در صورت استفاده از بنزین




**شکل ۵- تغییرات گشتاور ترمزی سوخت‌های مورد استفاده**



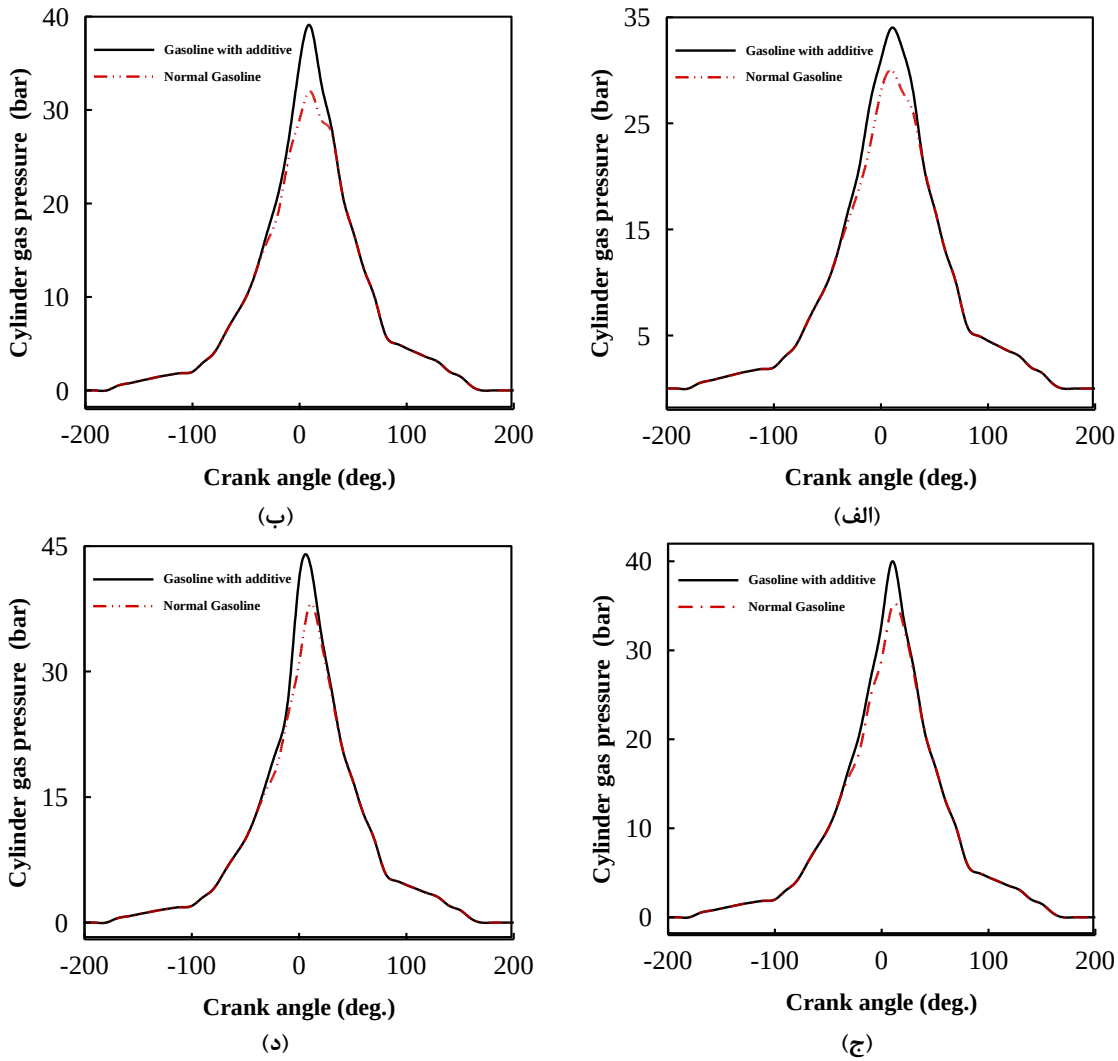

**شکل ۶- تغییرات توان ترمزی سوخت‌های مورد استفاده**

همراه با افزودنی بیشتر است. علت این امر این است که ارزش حرارتی سوخت بنزین همراه با افزودنی بیشتر از ارزش حرارتی بنزین معمولی است (براساس جدول ۱). به همین علت مقدار گرمای بیشتری در طی فرآیند احتراق آزاد می شود.

درصد افزایش پارامترهای عملکردی موتور درصورت استفاده از بنزین همراه با افزودنی نسبت به استفاده از بنزین معمولی در دورهای مختلف در جدول ۶ گزارش شده است.

### ۵-۲- تاثیر افزودنی بر آلاینده‌های خروجی از موتور

در این بخش نتایج بررسی اثر افزودن متیل هوموپلیمر بر میزان انتشار آلاینده‌های موتور بررسی می‌شود. همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود با افزودن افزودنی به بنزین،




**شکل ۷- تغییرات فشار داخل سیلندر بر حسب زاویه میل لنگ در دور موتور**
**الف)۱۵۰۰، ب)۲۰۰۰، ج)۲۵۰۰ و د)۳۰۰۰ دور بر دقیقه**

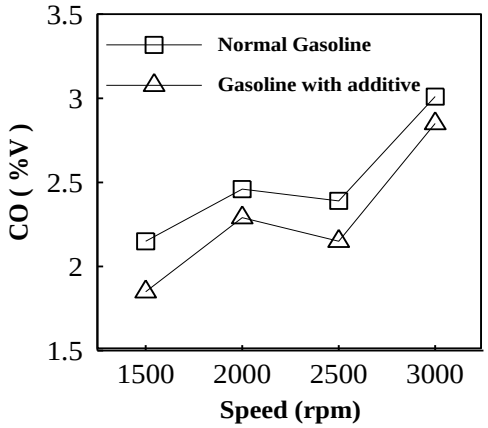
**جدول ۶- مقدار و درصد افزایش پارامترهای عملکردی موتور درصورت استفاده از بنزین همراه با افزودنی نسبت به استفاده از بنزین معمولی**

| دور موتور (rpm) | ۱۵۰۰ | ۲۰۰۰ | ۲۵۰۰ | ۳۰۰۰ | میانگین |
|---|---|---|---|---|---|
| مقدار افزایش گشتاور ترمزی (نیوتن متر) | ۳ | ۳ | ۱ | ۲ | ۲/۲۵ |
| درصد افزایش گشتاور ترمزی (٪) | ۵/۴۲ | ۴/۹۳ | ۲/۱۳ | ۴/۶۶ | ۴/۲۸ |
| مقدار افزایش توان ترمزی (کیلووات) | ۰/۳۸ | ۰/۲۰ | ۰/۱۵ | ۰/۱۱ | ۰/۲۱ |
| درصد افزایش توان ترمزی (٪) | ۴/۸۴ | ۲/۲۳ | ۱/۰۵ | ۱/۰۸ | ۲/۳۱ |

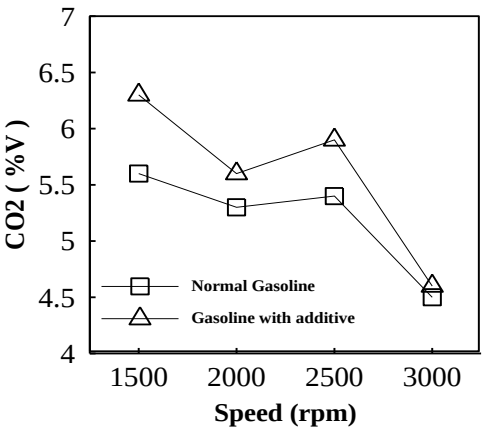
میزان مونواکسید کربن خارج شده از موتور کاهش می‌یابد. عامل اصلی در کنترل آلاینده مونواکسید کربن، نسبت هوای اضافی است. در این آزمایش نسبت هوای اضافی تغییری اعمال نشد. همان‌طور که بیان شد در صورت استفاده از متیل هوموپلیمر، فرآیند احتراق بهبود پیدا می‌کند و همچنین فرآیند و سیکل احتراق کامل‌تر می‌شود. این بدان معنا است که سوخت آرام‌تر می‌سوزد (زمان تاخیر احتراق افزایش می‌یابد) و فرصت بیشتری برای کامل شدن واکنش‌های احتراقی مهیا است. نتیجه این امر کاهش مقادیر آلاینده مونواکسید کربن است. از سویی دیگر، با افزایش سرعت موتور، به علت اینکه واکنش‌های احتراقی فرصت شکل‌گیری کامل را نخواهند داشت، احتراق ناقص در موتور شکل گرفته و در نتیجه آن، میزان تولید مونواکسید کربن افزایش می‌یابد.

تاثیر افزودن متیل هوموپلیمر به بنزین بر میزان دی‌اکسید کربن انتشار یافته از موتور به محیط اطراف در شکل ۹ مشاهده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که با افزودن متیل هوموپلیمر به بنزین، میزان انتشار دی‌اکسید کربن افزایش می‌یابد. همان‌گونه که پیش از این نیز ذکر گردید به علت بهبود احتراق و کامل شدن فرآیند احتراقی، میزان دی‌اکسید کربن افزایش و میزان مونواکسید کربن کاهش می‌یابد؛ همچنین مشاهده می‌شود که با افزایش دور موتور، به علت ایجاد احتراق ناقص، انتشار گونه دی‌اکسید کربن کاهش می‌یابد. علت این امر فرصت کوتاه‌تر برای انجام واکنش‌های احتراقی در موتور است.

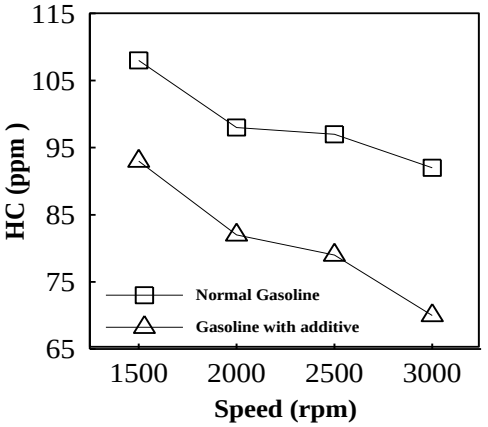
تاثیر افزودن متیل هوموپلیمر به بنزین بر میزان هیدروکربن‌های نسوخته حاصل شده از احتراق، در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود. همان‌گونه که از نتایج بر می‌آید، افزایش دور موتور باعث کاهش هیدروکربن‌های نسوخته می‌شود. چون با افزایش سرعت موتور، فرصت انتقال حرارت از موتور کاهش یافته و بنابراین دمای دیواره محفظه احتراق افزایش می‌یابد و در نتیجه ضخامت لایه خاموشی کاهش می‌یابد. با افزودن این افزودنی به سوخت، مقدار هیدروکربن‌های نسوخته کاهش می‌یابد. دلایل این کاهش عبارتند از: ۱- افزایش دمای محفظه احتراق، که این افزایش باعث به تاخیر افتادن خاموشی شعله در هنگام رسیدن به دیواره سیلندر می‌شود. زیرا یکی از علل اصلی تشکیل هیدروکربن‌های




**شکل ۸- تغییرات آلاینده مونواکسید کربن سوخت‌های مورد استفاده**




**شکل ۹- تغییرات آلاینده دی اکسید کربن سوخت‌های مورد استفاده**

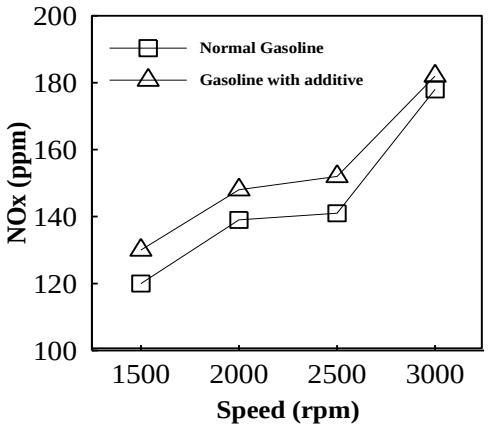



**شکل ۱۰- تغییرات آلاینده هیدروکربن‌های نسوخته سوخت‌های مورد استفاده**

نسوخته، خاموشی شعله در مجاورت دیواره سیلندر است.
۲- افزایش دمای گازهای حاصل از احتراق که باعث به وجود آمدن پس‌واکنش در گازهای خروجی می‌شود و در دماهای زیاد، این هیدروکربن‌ها اکسید می‌شوند. سوخت حاوی افزودنی، دارای عدد اکتان بالاتری نسبت به بنزین معمولی است و عدد اکتان بالا، حداقل به عنوان یکی از عوامل ناشی از سرعت زیاد شعله سوخت حاوی متیل هوموپلیمر است که در نتیجه شعله در هنگام رسیدن به شیارها موجود داخل سیلندر خاموش نشده و یا حداقل دیرتر خاموش می‌شود که نتیجه آن کاهش هیدروکربن‌های نسوخته خواهد بود.

تاثیر افزودن متیل هوموپلیمر به بنزین بر میزان اکسیدهای نیتروژن حاصل شده از احتراق، در شکل ۱۱ ارائه شده است. با افزایش دور موتور و استفاده از این افزودنی، مقادیر آلاینده اکسید نیتروژن افزایش می‌یابد، زیرا در سرعت‌های زیاد، تعداد سیکل‌های کاری در طول یک زمان معین، افزایش می‌یابد که نتیجه آن کاهش انتقال حرارت و افزایش دمای بیشینه احتراق در سیلندر است. لازم به توضیح است که بیشترین میزان تولید آلاینده اکسیدهای نیتروژن در موتورهای احتراق داخلی از مسیر حرارتی (زلدویچ[1]) است و لذا میزان انتشار این آلاینده با بیشترین دمای محلی مخلوط مشتعل در دوره کاری موتور نسبت مستقیم دارد. عملکرد مسیر حرارتی تولید اکسیدهای نیتروژن به نحوی است که با افزایش دما به صورت نمایی افزایش می‌یابد و بسیار حساس به دما است. به عبارت دیگر، نیتروژن و اکسیژن در دمای بالا واکنش می‌دهند بنابراین دمای بالا علت اصلی برای تشکیل اکسیدهای نیتروژن است. با استفاده از سوخت حاوی متیل هوموپلیمر، احتراق کامل‌تری داخل سیلندر صورت می‌پذیرد که با انجام احتراق کامل، دمای داخل سیلندر افزایش پیدا می‌کند؛ لذا با توجه به افزایش دما مقدار اکسیدهای نیتروژن نیز افزایش می‌یابد.

درصد افزایش یا کاهش مقادیر آلاینده‌ها درصورت استفاده از بنزین همراه با متیل هوموپلیمر نسبت به استفاده از بنزین معمولی در دورهای مختلف در جدول ۷ گزارش شده است.




**شکل ۱۱- تغییرات آلاینده اکسیدهای نیتروژن سوخت‌های مورد استفاده**

## ۶- نتیجه گیری

استفاده از افزودنی‌های سوخت یکی از اصلی‌ترین راهکارهای بهبود عملکرد موتور و کاهش مصرف سوخت شناخته شده است. در این مقاله تاثیر استفاده از متیل هوموپلیمر بر عملکرد یکی از موتورهای احتراق داخلی خودروهای سواری ارزیابی گردید. نتایج آزمون‌های تجربی انجام شده نشان داد که:

- با افزودن متیل هوموپلیمر به بنزین مقادیر گشتاور ترمزی و توان ترمزی به ترتیب ۴/۲۸٪ و ۲/۳۱٪ در میانگین متوسط مقادیر، افزایش می‌یابند؛ همچنین با افزایش دور موتور تا ۲۵۰۰ دور بر دقیقه گشتاور ترمزی افزایش یافته ولی بعد از دور ۲۵۰۰ دور بر دقیقه، کاهش می‌یابد. از سوی دیگر توان ترمزی با افزایش دور موتور، افزایش می‌یابد.
- با استفاده از متیل هوموپلیمر مقادیر آلاینده‌های مونواکسید کربن و هیدروکربن‌های نسوخته به ترتیب ۹/۰۵٪ و ۱۸/۱۷٪ در میانگین متوسط مقادیر، کاهش می‌یابند. علاوه بر این با افزایش دور موتور مقادیر آلاینده مونواکسید کربن افزایش می‌یابد، ولی از سوی دیگر با افزایش دور موتور مقادیر آلاینده هیدروکربن‌های نسوخته کاهش می‌یابد.

[1] Zeldovich

**جدول ۷- درصد افزایش یا کاهش مقادیر آلاینده‌ها در صورت استفاده از بنزین همراه با افزودنی نسبت به استفاده از بنزین معمولی**

| دور موتور (rpm) | ۱۵۰۰ | ۲۰۰۰ | ۲۵۰۰ | ۳۰۰۰ | میانگین |
|---|---|---|---|---|---|
| درصد تغییرات مونواکسید کربن | -۱۳/۹۵ | -۶/۹۱ | -۱۰/۰۴ | -۵/۳۱ | ۹/۰۵ |
| درصد تغییرات دی‌اکسید کربن | +۱۲/۵ | +۵/۶۶ | +۹/۲۶ | +۲/۲۲ | +۷/۴۱ |
| درصد تغییرات هیدروکربن‌های نسوخته | -۱۳/۸۸ | -۱۶/۳۲ | -۱۸/۵۶ | -۲۳/۹۱ | -۱۸/۱۷ |
| درصد تغییرات اکسیدهای نیتروژن | +۸/۳۳ | +۶/۴۷ | +۷/۸۰ | +۲/۲۵ | +۶/۲۱ |

- با اضافه کردن متیل هوموپلیمر به سوخت، مقادیر آلاینده‌های دی اکسید کربن و اکسیدهای نیتروژن به ترتیب ۷/۴۱٪ و ۶/۲۱٪ در میانگین متوسط مقادیر، افزایش می‌یابند؛ همچنین با افزایش دور موتور مقادیر آلاینده دی‌اکسید کربن کاهش می‌یابد، ولی در نقطه مقابل با افزایش دور موتور مقادیر آلاینده اکسیدهای نیتروژن افزایش می‌یابد.

## ۷- مراجع


[1] Jhang S, Lin Y, Chen K, Lin S, Batterman S (2020) Evaluation of fuel consumption, pollutant emissions and well-to- wheel GHGs assessment from a vehicle operation fueled with bioethanol, gasoline and hydrogen. Energy 209: 118436.

[2] Prasad BSN, Pandey JK, Kumar GN (2019) Impact of changing compression ratio on engine characteristics of an SI engine fueled with equi-volume blend of methanol and gasoline. Energy 116605.

[3] Demirbas A, Balubaid MA, Basahel AM, Ahmad W, Sheikh MH (2015) Octane rating of gasoline and octane booster additives. Pet Sci Technol 33(11): 1190-1197.

[4] Amit R Patil, Yerrawar RN, ANigade S, BChavan O, SRathod H, KHiran B (2014) Literature Review on need of Composite Additives for S.I Engine. Int J Res Dev Technol 4(2): 2349-3585.

[5] Pan M, Wei H, Feng D, Pan J, Huang R, Liao J (2018) Experimental study on combustion characteristics and emission performance of 2-phenylethanol addition in a downsized gasoline engine. Energy 163: 894-904.

[6] Vallinayagam R, Vedharaj S, Roberts WL, Dibble RW, Sarathy SM (2017) Performance and emissions of gasoline blended with terpineol as an octane booster. Renew Energy 101: 1087-1093.

[7] Dhamodaran G, Esakkimuthu GS, Pochareddy YK, Sivasubramanian H (2017) Investigation of n-butanol as fuel in a four-cylinder MPFI SI engine. Energy 125: 726-735.

[8] Valihesari M, Pirouzfar V, Ommi F, Zamankhan F (2019) Investigating the effect of $Fe_2O_3$ and $TiO_2$ nanoparticle and engine variables on the gasoline engine performance through statistical analysis. Fuel 254(June): 115618.

[9] Zamankhan F, Pirouzfar V, Ommi F, Valihesari M (2018) Investigating the effect of MgO and $CeO_2$ metal nanoparticle on the gasoline fuel properties : Empirical modeling and process optimization by surface methodology.

[10] Heywood BJ (1988) Internal Combustion engine fundamentals. McGraw Hill.

[11] Specification of peugeot 405 engine. [Online]. Available: https://www.ikco.ir/en/Product.aspx?ID=43&Section=2&Series=Peugeot+405.

[۱۲] امی ف، فرهنگ خ، شفیعی ا (۱۳۸۸) بررسی تجربی احتراق موتور اشتعال جرقه‌ای با سوخت ترکیبی بنزین-اتانول و MTBE برای کاهش مصرف سوخت و آلاینده ها. فصل‌نامه علمی-پژوهشی تحقیقات موتور ۵(۶): ۲۲-۲۸.