

## بررسی تجربی اثرات شمع‌های چند الکترودی در جهت بهبود عملکرد موتور و کاهش آلاینده‌ها در موتور XU7JP/L3

دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران  
استاد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران  
استادیار، پژوهشگاه هوافضا، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، تهران، ایران

میثم صفر  
فتح‌اله امی\*  
زهیر صبوچی

### چکیده

در این پژوهش اثرات استفاده از شمع‌های چند الکترودی بر پارامترهای عملکردی یک موتور احتراق داخلی با استفاده از آزمون‌های تجربی مطالعه شده است. در این راستا آزمون‌های تجربی با استفاده از دو نوع سوخت بنزین بدون سرب و همچنین ترکیب بنزین بدون سرب و یک افزودنی تجاری به نام Keropur-G انجام شده است. نتایج بدست آمده از آزمون‌های تجربی نشان می‌دهد که با استفاده از شمع‌های چند الکترودی در سوخت معمولی و سوخت به همراه افزودنی، میزان گشتاور ترمزی و توان ترمزی افزایش یافته و در مقابل مصرف سوخت ویژه ترمزی کاهش می‌یابد. همچنین در بحث انتشار آلاینده‌های موتور استفاده از شمع‌های چند الکترودی سبب افزایش انتشار اکسیدهای نیتروژن و کاهش آلاینده‌های هیدروکربن‌های نسوخته، منواکسیدکربن و همچنین دی‌اکسیدکربن خروجی از موتور می‌گردد.

**واژه‌های کلیدی:** موتور احتراق داخلی، شمع‌های چند الکترودی، آلاینده‌های خروجی، عملکرد موتور، مصرف سوخت.

## Experimental study of the effects of multi-electrode spark plugs to improve engine performance and reduce pollutants of the XU7JP/L3 engine

M. Safar  
F. Ommi  
Z. Saboohi

Department of Mechanical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.  
Department of Mechanical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.  
Aerospace Research Institute (ARI), Ministry of Science, Research, and Technology, Tehran, Iran.

### Abstract

In this study, the effects of using multi-electrode spark plugs on the performance parameters of an internal combustion engine were investigated using experimental tests. In this regard, experimental tests have been carried out using two types of lead-free gasoline, as well as a combination of gasoline with commercial additive (Keropur-G). The results of experimental tests show that with the use of multi-electrode spark plugs in conventional fuel and fuel with additive, the braking torque and braking power are increased and in comparison the specific fuel consumption (SFC) is decreased. Also the use of multi-electrode spark plugs increases the emission of nitrogen oxides and reduces the emissions of unburnt hydrocarbons, carbon monoxide and carbon dioxide from the engine.

**Keywords:** Internal Combustion Engine, multi-electrode spark plugs, exhaust emissions, engine performance, fuel consumption.

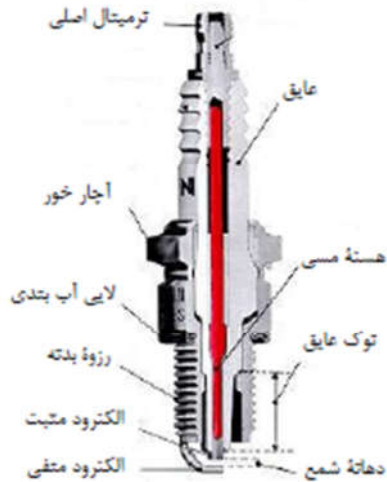
در یک موتور احتراق داخلی، وظیفه شمع محترق نمودن مخلوط هوا و سوخت در محفظه احتراق یا همان سیلندر موتور است. شمع انرژی الکتریکی را که توسط سامانه جرقه تامین می‌شود در زمان مشخصی به مخلوط هوا و سوخت منتقل کرده و سبب ایجاد جرقه و احتراق مخلوط هوا و سوخت می‌شود [۶]. جرقه شمع انرژی لازم جهت آغاز فرایند شیمیایی احتراق را به مخلوط هوا و سوخت وارد می‌کند و در نتیجه مخلوط محترق می‌شود. جرقه الکتریکی در شمع از سه مرحله اصلی شکست، تخلیه الکتریکی با شدت جریان زیاد و تخلیه الکتریکی شدت جریان کم تشکیل شده است [۷ و ۸].

هیرویا و همکاران [۳] به کمک تحلیل شدت میدان الکتریکی و رشد شعله مطالعاتی روی دمای عایق و رفتار شمع انجام دادند و موفق به تولید شمع هایی شدند که عملکردی برابر با شمع های مرسوم داشته، اما قطر پیچ شمع از ۱۴ میلی متر به ۱۰ میلی متر کاهش یافت. مشکل اساسی در این زمینه، افزایش کربن گیری شمع است. زیرا رسوبات کربنی روی عایق سبب می‌شود تا مقاومت بین الکتروود مرکزی

### ۱- مقدمه

موتورهای احتراق داخلی علاوه بر اینکه تأمین کننده قوای محرکه خودروها می‌باشند، کاربرد وسیعی در صنایع مختلف حوزه حمل و نقل و تولید انرژی دارند. از آغاز تولید این موتورها از سوخت‌های فسیلی به عنوان منبع تولید انرژی حرارتی استفاده شده است که این انرژی در موتور به انرژی مکانیکی تبدیل می‌گردد [۱]. با توجه به محدود بودن ذخایر مربوط به سوخت‌های فسیلی و قوانین سخت‌گیرانه مربوط به تعیین سطح مجاز انتشار آلاینده‌های موتورهای احتراق داخلی، در سال‌های اخیر تحقیقات وسیعی در جهت استفاده از فناوری‌های جدید در قوای محرکه و استفاده از سوخت‌های جایگزین صورت گرفته است [۲ و ۳]. به نظر می‌رسد در حال حاضر انتخاب جایگزینی برای موتورهای احتراق داخلی با توجه به حجم وسیع کاربردهای آن وجود ندارد و تنها به کمک پیشرفت فناوری‌های حاضر می‌توان اهدافی مانند کاهش میزان انتشار آلاینده‌ها، کاهش مصرف سوخت و همچنین افزایش بهره‌وری را فراهم کرد [۴ و ۵].

\* نویسنده مکاتبه کننده، آدرس پست الکترونیکی: fommi@modares.ac.ir



شکل ۱- قسمت‌های مختلف ساختمان شمع [۷]

انرژی الکتریکی تامین شده توسط سیم‌پیچ افروزش از طریق وایر شمع به ترمینال اصلی شمع منتقل شده و به کمک اختلاف پتانسیل اعمال شده بین دو الکترود جرقه ایجاد می‌شود. ولتاژ مورد نیاز برای جرقه، فرسایش الکترود و اتلاف حرارتی از الکترودها به طراحی الکترودها بستگی دارد [۷].

اندازه دهانه شمع، کمترین فاصله بین الکترود مثبت و الکترود منفی است. دهانه شمع مقاومت الکتریکی در مقابل حرکت الکترون‌ها ایجاد می‌کند و هرچه دهانه شمع افزایش یابد مقاومت آن نیز افزایش خواهد یافت. بنابراین ولتاژ مورد نیاز برای ایجاد جرقه با افزایش اندازه دهانه شمع افزایش خواهد یافت [۱۳]. برای احتراق مطمئن مخلوط آشفته هوا و سوخت، بهتر است که تا حد امکان اندازه دهانه شمع افزایش یابد اما یکی از محدودیت‌ها، قابلیت تامین ولتاژ توسط سامانه جرقه است. رفتگی ناشی از جرقه در اثر برخورد یون‌ها با سطح الکترودها اتفاق می‌افتد. یون‌ها دارای انرژی زیادی هستند و سبب کنده شدن اتم‌ها از سطح الکترودها می‌شوند [۷، ۱۵، ۱۶]. ساختار شمع‌های دو و چهار الکترودی مورد استفاده در این پژوهش در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- شمع‌های دو و چهار الکترودی مورد استفاده

و بدنه شمع کاهش یابد و جرقه بین الکترود مرکزی و بدنه شمع<sup>۱</sup> رخ دهد. این پدیده به عنوان جرقه جانبی<sup>۲</sup> شناخته می‌شود که می‌تواند سبب ناپایداری جرقه و احتراق ناپایدار شود.

با هدف تولید شمع‌هایی با عملکرد مناسب و ارزان قیمت، تحقیق دیگری توسط نیشیوکا و همکاران [۱۰] انجام شد. در این تحقیق به کمک آزمون‌های متعدد، سعی شد تا میزان مناسبی از ایتربیم<sup>۳</sup>، سیلیسیوم و تیتانیم به نیکل اضافه شود. در پایان شمع جدیدی با آلیاژ ترکیبی از مواد یاد شده تولید شد که مقاومت آن در مقابل رفتگی ناشی از جرقه ۴۰ درصد بیشتر و در برابر رفتگی ناشی از اکسید شدن ۸۰ درصد بیشتر بود. از مزایای شمع جدید می‌توان به احتراق بهتر، بهبود مصرف سوخت و کاهش انتشار آلاینده‌ها اشاره کرد.

امی و همکاران [۱۱] در یک تحقیقی که بر روی تاثیر رفتگی الکترود انجام شد به این نتیجه دست یافتند که رفتگی ناشی از تخلیه الکتریکی (جرقه) در الکترود مثبت ۹ برابر بیشتر از الکترود منفی است و همچنین تفاوت مشخصی بین رفتگی الکترود منفی در شمع‌های معمولی و شمع با الکترود ظریف وجود ندارد. نتایج آزمایش در موتور واقعی نشان داد که رفتگی الکترود مثبت و منفی در شمع‌های معمولی یکسان است زیرا دمای الکترود منفی بالاتر است و اکسید می‌شود. در شمع با الکترود ظریف، دمای موضعی الکترود منفی بالاتر است و رفتگی آن دو برابر بیشتر از الکترود مرکزی است.

چنانچه بررسی گردید، استفاده از ساختار نوین در شمع‌های موتور کاربرد فراوان و رو به توسعه‌ای دارد و به عنوان یکی از اصلی‌ترین راه-کارهای بهبود عملکرد موتور، کاهش مصرف سوخت و همچنین کاهش انتشار گروهی از آلاینده‌ها مطرح است. در این پژوهش عملکرد شمع، تاثیر هندسه الکترودها و همچنین تاثیر شمع‌های چندالکترودی مطالعه شده است. هدف از انجام این تحقیق، مطالعه تغییرات پارامترهای عملکردی موتور و انتشار آلاینده‌ها است. در ادامه این نوشتار، ساختمان شمع و همچنین پارامترهای مهم عملکردی موتور معرفی می‌گردد. این پارامترها شامل توان ترمزی، گشتاور ترمزی، مصرف سوخت و مصرف سوخت ویژه ترمزی می‌باشد. سپس در خصوص تجهیزات آزمایشگاهی و همچنین روش انجام آزمون‌ها، توضیحاتی ارائه می‌گردد. در نهایت نتایج آزمون‌های تجربی این تحقیق ارائه شده و بر روی آن‌ها تحلیل و بررسی صورت می‌گیرد.

## ۲- ساختمان شمع

در شکل ۱، نمای برش خورده شمع و اجزای آن نشان داده شده است. عملکرد مناسب شمع به طراحی و عملکرد صحیح اجزای مختلف آن بستگی دارد.

<sup>1</sup> Spark plug Housing

<sup>2</sup> Side Sparking

<sup>3</sup> Yttrium

#### ۴- مواد و تجهیزات آزمایشگاهی

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

##### ۴-۱- مواد استفاده شده در آزمون تجربی

سوخت‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل یکی بنزین بدون سرب و دیگری ترکیب بنزین با افزودنی می‌باشد. افزودنی مورد استفاده در این تحقیق ماده کروپور می‌باشد. این افزودنی، افزایش دهنده عدد اکتان بنزین و ساخت شرکت BASF آلمان می‌باشد. این ماده با حل کردن رسوبات داخل موتور، آن را پاک‌سازی کرده و همچنین از کل سیستم سوخت‌رسانی محافظت می‌کند. شکل ۳ نمایی از محصول تجاری افزودنی کروپور<sup>۲</sup> را نشان می‌دهد.



شکل ۳- افزودنی کروپور [۱۶]

##### ۴-۲- مشخصات موتور XU7JP/L3

جهت ارزیابی عملکرد افزودنی سوخت معرفی شده موتور احتراق داخلی XU7JP/L3 انتخاب شده است. این موتور در ایران به طور معمول بر روی گروهی از خودروهای ساخت شرکت ایران‌خودرو 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 امکان تولید داخل آن بوده است. مشخصات موتور XU7JP/L3 در جدول ۱ ارائه شده است [۱۷].

جدول ۱- مشخصات موتور مورد آزمون [۱۷]

مدل	LFZ
کارخانه سازنده	ایران خودرو
قطر در کورس سیلندر	81.4 * 83 mm
حجم موتور	1761 cm <sup>3</sup>
نسبت تراکم	9.25 : 1
تعداد سوپاپ	8
بیشینه توان در 6000 rpm	100 hp (74.57 kw)
بیشینه گشتاور در 3500 rpm	153 N.m

#### ۳- پارامترهای مهم در آزمون عملکرد موتورهای پیستونی

دو پارامتر بسیار مهمی که در آزمون عملکرد موتورهای احتراق داخلی موثر است عبارتند از بار موتور و میزان باز بودن دریچه بنزین که گشتاور و توان خروجی موتور را تعیین می‌کنند [۱۴].

در آزمون‌های 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 شیوه 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، گشتاور لازم برای متعادل کردن استاتور با استفاده از وزنه، فنر یا به طریق پنوماتیکی ایجاد می‌شود [۵]. گشتاور وارده T بصورت زیر محاسبه می‌شود.

$$T = F \cdot b \quad (1)$$

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

$$P = 2\pi NT \quad (2)$$

در معادله فوق، N سرعت دورانی میل‌لنگ می‌باشد. بازنویسی معادله (۲) در سیستم بین‌المللی آحاد SI برابر است با:

$$P(KW) = 2\pi N \left(\frac{rev}{min}\right) T(N \cdot m) \cdot 10^{-3} \quad (3)$$

میزان جرم سوختی که در واحد زمان برای تولید توان در موتور سوزانده می‌شود، دبی جرمی سوخت نامیده می‌شود.

$$\dot{m}_f = \frac{m_f}{time} \quad (4)$$

در آزمون‌های ارزیابی عملکرد موتور، مصرف سوخت توسط دبی جرمی یعنی جرم عبوری بر واحد زمان اندازه‌گیری می‌شود. پارامتر مفیدتر در این حوزه مصرف سوخت ویژه (SFC) می‌باشد که برابر با دبی سوخت مصرفی ( $\dot{m}_f$ ) بر واحد قدرت خروجی (P) موتور است. این کمیت معیاری از راندمان موتور در استفاده از سوخت برای تولید کار است.

$$SFC = \frac{\dot{m}_f}{P} \quad (5)$$

در صورتی که توان مورد نظر در معادله (۵)، توان ترمزی اندازه‌گیری شده توسط دینامومتر باشد، مصرف سوخت ویژه ترمزی<sup>۱</sup> به صورت زیر معرفی می‌گردد.

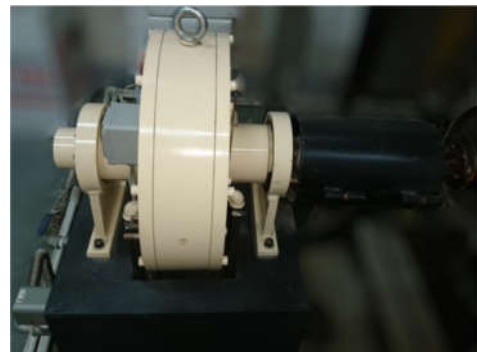
$$BSFC = \frac{\dot{m}_f}{P_b} \quad (6)$$

<sup>۲</sup> Keropur-G

<sup>۱</sup> Brake Specific Fuel Consumption

### ۳-۴- 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. شکل ۴ نمایی از دینامومتر نصب شده در آزمایشگاه را نشان می‌دهد. این دینامومتر به وسیله‌ی محور گردان به سر میل‌لنگ 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 یارانه انجام می‌گیرد.



شکل ۴- دینامومتر الکترومغناطیسی جهت اندازه‌گیری توان و گشتاور موتور

### ۴-۴- اندازه‌گیری گازهای آلاینده

برای سنجش آلاینده‌های گازی موتور XU7JP/L3 از دستگاه آلاینده سنجی ساخت شرکت CAPELLC استفاده گردید. برای دستیابی به مقادیر دقیق، سوراخی بر سر خروجی اگزوز تعبیه شده تا امکان تماس حسگر با دود قبل از خروج را فراهم کند. شکل ۵ دستگاه آنالیزر گازهای خروجی از موتور را نشان می‌دهد.



شکل ۵- دستگاه آنالیزر گازهای خروجی از موتور

### ۵- روش‌شناسی آزمون‌های تجربی

برای اندازه‌گیری پارامترهای عملکردی موتور و همچنین مقادیر آلاینده‌ها در کار حاضر، مراحل انجام آزمایش به صورت زیر می‌باشد. در ابتدا موتور روشن و راه‌اندازی می‌شود و به مدت ۱۰ دقیقه در حالت

دور ثابت کار می‌کند. در این آزمون تجربی از سه نوع شمع استفاده شد که این شمع‌ها شامل شمع‌های تک الکترود، دو الکترود و چهار الکترود می‌باشد. برای هر یک از انواع شمع، آزمون عملکرد موتور برای دورهای مختلف کاری موتور در چهار حالت ۱۵۰۰، ۲۰۰۰، ۲۵۰۰ و ۳۰۰۰ (دور بر دقیقه)، انجام پذیرفته است. در تمامی آزمون‌ها درجه هوا ۳۰٪ باشد و دور موتور به صورت خودکار و به وسیله نرم‌افزار خاصی به موتور اعمال می‌شود. 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. برای اندازه‌گیری مصرف سوخت، حسگری تعبیه شده است که میزان عبور جریان را به صورت سیگنال برای رایانه ارسال می‌کند. برای استفاده از مخلوط سوخت از یک مخزن قابل حمل استفاده می‌شود. سوخت برگشتی نیز به همان مخزن وصل شده است تا حسگر قادر باشد مصرف سوخت واقعی موتور را نشان دهد. حسگر دستگاه آلاینده‌سنج در مسیر دود قرار گرفته و میزان آلاینده‌ها در طول آزمایش و در دوره‌های مختلف به‌صورت 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، مصرف سوخت، انتشار آلاینده‌ها، دما و فشار خروجی اگزوز، دما و فشار روغن و غیره در رابطه با هر نوع شمع و در دوره‌های مختلف موتور، به عنوان پارامترهای عملکردی مورد مقایسه قرار می‌گیرند. لازم به توضیح است که 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.

### ۶- نتایج و بحث

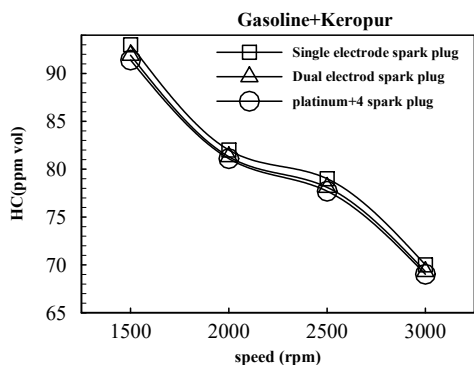
در این بخش نتایج حاصل از آزمون‌های تجربی ارائه می‌گردد. نتایج حاصله در دو بخش جداگانه ارائه شده است. بخش اول شامل مطالعه اثر تعویض شمع‌ها بر انتشار آلاینده‌های خروجی از موتور و بخش دیگر شامل بررسی تاثیر تعویض شمع‌ها بر پارامترهای عملکردی موتور است.

#### ۶-۱- تاثیر تعویض شمع بر آلاینده‌های خروجی از موتور

همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود افزایش دور موتور باعث کاهش انتشار هیدروکربن‌های نسوخته می‌گردد. چون با افزایش سرعت موتور، فرصت انتقال حرارت از موتور کاهش می‌یابد. در جدول‌های ۲ و ۳ به ترتیب میزان درصد کاهش تولید هیدروکربن‌های نسوخته در آزمون با بنزین معمولی در شمع‌های دو و چهار الکترودی نسبت به شمع تک الکترودی آمده است.

جدول ۲- میزان کاهش انتشار هیدروکربن‌های نسوخته در شمع دو الکترودی نسبت به تک الکترودی با استفاده از بنزین معمولی

دور موتور	۱۵۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۳۰۰۰
درصد بهبود	۵/۵۵	۲/۰۴	۳/۰۹	۳/۲۶



شكل ٧- تغييرات هيدرو كربين هاي نسوخته با استفاده از بنزين همراه با افزودني در دورهاي مختلف كاري موتور

اكسيد هاي نيتروژن كه فقط در آگروز موتور يافت مي شود تركيبی از اكسيد نيتريك (NO) و دي اكسيد نيتروژن (NO<sub>2</sub>) هستند. نيتروژن و اكسيژن به نسبت در دمای بالا واكنش نشان مي دهند. بنابراین دمای بالا و در دسترس بودن اكسيژن دو علت اصلي برای تشكيل NO<sub>x</sub> می باشد. به دليل احتراق كامل در محفظه احتراق ميزان تشكيل اين ماده نيز افزايش مي يابد. در دور هاي بالا به علت افزايش ميزان احتراق در يك بازه زمانی معين و کاهش ميزان انتقال گرما در سيلندر ميزان حرارت بالا رفته و بستر مناسبی برای تشكيل NO<sub>x</sub> بوجود می آيد. مطابق شكل ٨ در بنزين معمولی در دور هاي ١٥٠٠، ٢٠٠٠، ٢٥٠٠ و ٣٠٠٠ ميزان انتشار اكسيد هاي نيتروژن مشاهده می گردد. در جدول ٦ و ٧ ميزان درصد افزايش انتشار اكسيدهاي نيتروژن در شمع هاي دو الكترودی و چهار الكترودی نسبت به تك الكترودی با استفاده از بنزين معمولی مشاهده می گردد.

جدول ٦- ميزان افزايش انتشار اكسيد هاي نيتروژن در شمع دو الكترودی نسبت به تك الكترودی با استفاده از بنزين معمولی

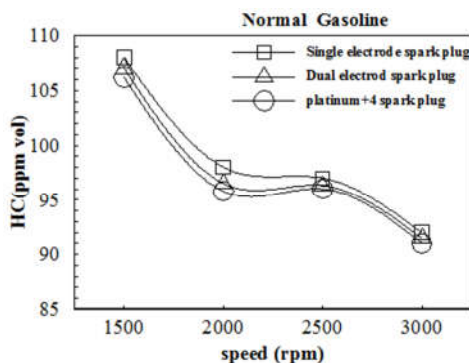
دور موتور	١٥٠٠	٢٠٠٠	٢٥٠٠	٣٠٠٠
درصد بهبود	١/٦٦	٢/١٥	٢/٨٣	٢/٢٤

جدول ٧- ميزان افزايش انتشار اكسيد هاي نيتروژن در شمع چهار الكترودی نسبت به تك الكترودی با استفاده از بنزين معمولی

دور موتور	١٥٠٠	٢٠٠٠	٢٥٠٠	٣٠٠٠
درصد افزايش	٢/٥	٢/٧٨	٤/٢٤	٣/٣٧

جدول ٣- ميزان کاهش انتشار هيدرو كربين هاي نسوخته در شمع چهار الكترودی نسبت به تك الكترودی با استفاده از بنزين معمولی

دور موتور	١٥٠٠	٢٠٠٠	٢٥٠٠	٣٠٠٠
درصد بهبود	٧/٠٤	٥/١٠	٧/٢١	٧/٦



شكل ٦- تغييرات هيدرو كربين هاي نسوخته با استفاده از بنزين معمولی در دورهاي مختلف كاري موتور

مطابق شكل ٧ ميزان انتشار هيدروكربن هاي نسوخته در دورهاي مختلف كاري موتور از ١٥٠٠ rpm تا ٣٠٠٠ rpm برای شمع دو الكترودی و چهار الكترودی با استفاده از بنزين همراه با افزودني مشاهده می گردد. همانطور كه انتظار می رفت استفاده از شمع هاي چند الكترودی باعث افزايش دمای احتراق و بالا رفتن فشار محفظه احتراق می گردد كه در اين پارامتر قابل مشاهده می باشد. در جدول ٤ و ٥ ميزان درصد کاهش انتشار هيدروكربن هاي نسوخته در آزمون بنزين همراه با افزودني با استفاده از شمع هاي دو و چهار الكترودی نسبت به شمع تك الكترودی آمده است.

جدول ٤- ميزان کاهش انتشار هيدروكربن هاي نسوخته در شمع دو الكترودی نسبت به تك الكترودی با استفاده از بنزين با افزودني

دور موتور	١٥٠٠	٢٠٠٠	٢٥٠٠	٣٠٠٠
درصد بهبود	١/١٨	٠/٨٥	١/١	١

جدول ٥- ميزان کاهش انتشار هيدروكربن هاي نسوخته در شمع چهار الكترودی نسبت به تك الكترودی با استفاده از بنزين با افزودني

دور موتور	١٥٠٠	٢٠٠٠	٢٥٠٠	٣٠٠٠
درصد بهبود	١/٧٢	٢/٣	٢/٢	١/٤

### ۶-۲- تاثیر تعویض بر پارامترهای عملکرد موتور

با افزایش دور موتور مقدار گشتاور نیز افزایش یافته که این امر به علت پر شدن سیلندر در مرحله تنفس می‌باشد. اما در سرعت‌های بالاتر از ۲۵۰۰ rpm به علت زمان تنفس کمتر، سیلندر به‌طور کامل پر نمی‌شود و در نتیجه گشتاور موتور کاهش می‌یابد.

همانطور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود گشتاور ترمزی در این دوره‌های مختلف کاری موتور قابل مشاهده می‌باشد در این آزمون‌ها از بنزین معمولی استفاده شده و در جدول ۱۱ و ۱۲ میزان درصد افزایش گشتاور ترمزی در شمع‌های دو و چهار الکترودی نسبت به شمع تک الکترودی با استفاده از بنزین معمولی قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۱۱-میزان افزایش گشتاور ترمزی در شمع دو الکترودی

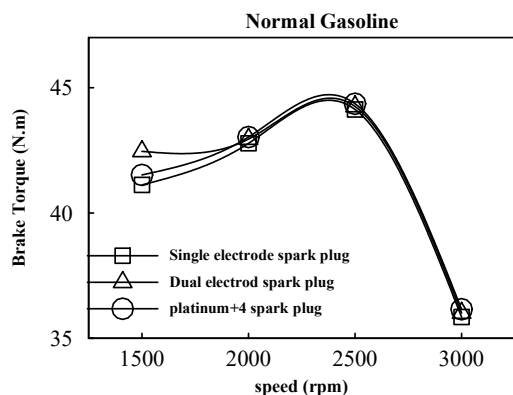
نسبت به تک الکترودی با استفاده از بنزین معمولی

دور موتور	۱۵۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۳۰۰۰
درصد بهبود	۲/۷	۱/۹۵	۳/۳۳	۱/۹۵

جدول ۱۲-میزان افزایش گشتاور ترمزی در شمع چهار الکترودی

نسبت به شمع تک الکترودی با استفاده از بنزین معمولی

دور موتور	۱۵۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۳۰۰۰
درصد بهبود	۲/۵۷	۲/۹۸	۳/۵۷	۲/۹۸



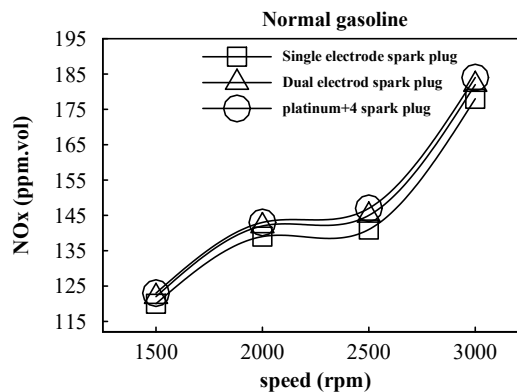
شکل ۱۰- تغییرات گشتاور ترمزی موتور با استفاده از بنزین معمولی در دوره‌های مختلف کاری موتور

مطابق شکل ۱۱ تغییرات گشتاور ترمزی موتور با استفاده از بنزین به همراه افزودنی در دوره‌های مختلف آزمون تجربی قابل مشاهده است. مطابق جدول ۱۳ و ۱۴ میزان درصد بهبود گشتاور ترمزی با استفاده از بنزین به همراه افزودنی با شمع‌های دو و چهار الکترودی نسبت به شمع تک الکترودی قابل مشاهده است.

جدول ۱۳- میزان افزایش گشتاور ترمزی در شمع دو الکترودی

نسبت به تک الکترودی با استفاده از بنزین با افزودنی

دور موتور	۱۵۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۳۰۰۰
درصد بهبود	۰/۳۶	۰/۲۴	۰/۱۳	۰/۸۷



شکل ۸- تغییرات اکسیدهای نیتروژن با استفاده از بنزین معمولی در دوره‌های مختلف کاری موتور

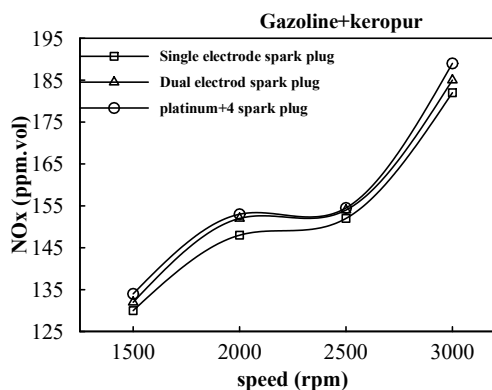
مطابق شکل ۹ در آزمون‌های با بنزین به همراه افزودنی در دوره‌های ۱۵۰۰، ۲۰۰۰، ۲۵۰۰، ۳۰۰۰ rpm میزان انتشار اکسیدهای نیتروژن مشاهده می‌گردد. همانطور که مشاهده می‌گردد استفاده از شمع‌های چند الکترودی باعث افزایش تولید اکسیدهای نیتروژن گردیده است. در جدول ۹ و ۱۰ میزان درصد افزایش انتشار اکسیدهای نیتروژن در شمع‌های دو الکترودی و چهار الکترودی نسبت به تک الکترودی با استفاده از بنزین همراه با افزودنی مشاهده می‌گردد.

جدول ۹- میزان افزایش انتشار اکسیدهای نیتروژن در شمع دو الکترودی نسبت به تک الکترودی با استفاده از بنزین با افزودنی

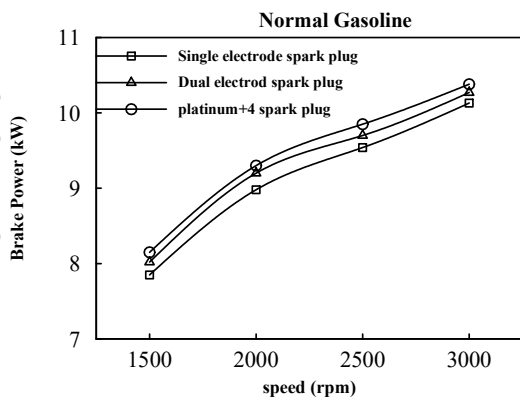
دور موتور	۱۵۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۳۰۰۰
درصد افزایش	۱/۰۷	۰/۶۷	۱/۰۵	۱/۶۴

جدول ۱۰- میزان افزایش انتشار اکسیدهای نیتروژن در شمع چهار الکترودی نسبت به تک الکترودی با استفاده از بنزین با افزودنی

دور موتور	۱۵۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۳۰۰۰
درصد بهبود	۱/۷۶	۲/۱۶	۱/۸۴	۱/۶۴



شکل ۹- تغییرات اکسیدهای نیتروژن با استفاده از بنزین همراه با افزودنی در دور های مختلف کاری موتور



شکل ۱۲- تغییرات توان ترمزی با استفاده از بنزین معمولی در دوره‌های مختلف کاری موتور

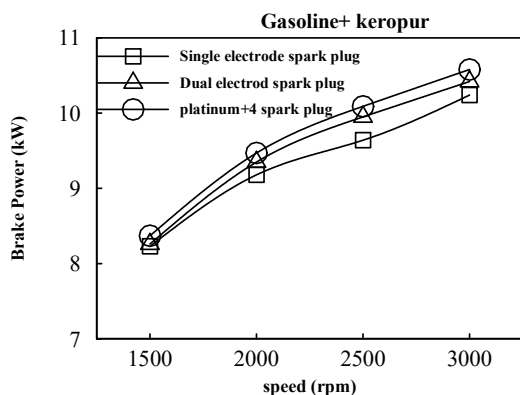
مطابق شکل ۱۳ میزان افزایش توان ترمزی با استفاده از بنزین به همراه افزودنی قابل مشاهده می‌باشد. در جدول‌های ۱۷ و ۱۸ میزان درصد افزایش توان ترمزی با استفاده از بنزین به همراه افزودنی با شمع‌های دو و چهار الکترودی نسبت به شمع تک الکترودی آورده شده است.

جدول ۱۷- میزان افزایش توان ترمزی در شمع دو الکترودی نسبت به تک الکترودی با استفاده از بنزین با افزودنی

دور موتور	۱۵۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۳۰۰۰
درصد بهبود	۰/۷	۱/۲	۰/۹	۰/۷۵

جدول ۱۸- میزان افزایش توان ترمزی در شمع چهار الکترودی نسبت به تک الکترودی با استفاده از بنزین با افزودنی

دور موتور	۱۵۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۳۰۰۰
درصد بهبود	۱/۷	۲/۱۵	۱/۱	۱/۳

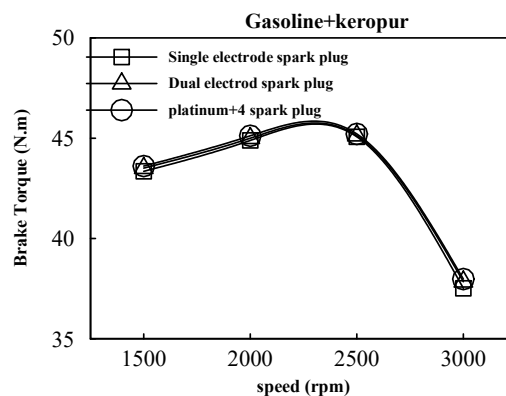


شکل ۱۳- تغییرات توان ترمزی با استفاده از بنزین همراه با افزودنی در دوره‌های مختلف کاری موتور

در شکل ۱۴ تغییرات دبی جرمی سوخت با استفاده از بنزین معمولی نشان داده شده است. با افزایش دور موتور و به دنبال آن افزایش سرعت میل لنگ، سرعت هوای ورودی به محفظه احتراق افزایش یافته و برای

جدول ۱۴- میزان کاهش افزایش گشتاور ترمزی در شمع چهار الکترودی نسبت به تک الکترودی با استفاده از بنزین با افزودنی

دور موتور	۱۵۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۳۰۰۰
درصد بهبود	۰/۵۹	۰/۵۱	۰/۳۱	۰/۹۸



شکل ۱۱- تغییرات گشتاور ترمزی موتور با استفاده از بنزین همراه با افزودنی در دوره‌های مختلف کاری موتور

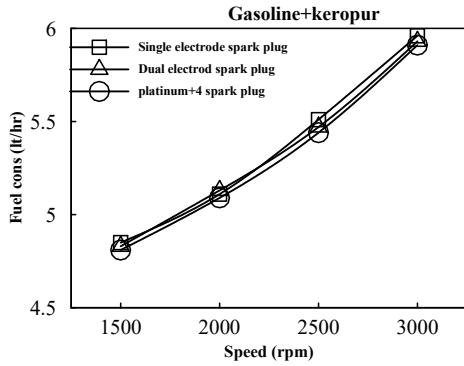
همانطور که در شکل ۱۲ مشاهده می‌گردد توان ترمزی با افزایش دور موتور رابطه مستقیم دارد، در اینجا با افزایش دور موتور توان ترمزی افزایش می‌یابد. از طرفی با افزایش دور موتور، تلفات اصطکاکی افزایش می‌یابد. اختلاف بین توان ترمزی در دوره‌های پایین با استفاده از شمع دو و چهار الکترودی بسیار مشهود می‌باشد و با افزایش دور موتور این اختلاف کاهش یافته و نمودارها به یکدیگر نزدیک‌تر می‌شوند. مطابق جدول‌های ۱۵ و ۱۶ میزان درصد افزایش توان ترمزی با استفاده از بنزین معمولی با شمع‌های دو الکترودی و چهار الکترودی نسبت به شمع تک الکترودی قابل مشاهده است.

جدول ۱۵- میزان افزایش توان ترمزی در شمع دو الکترودی نسبت به تک الکترودی با استفاده از بنزین معمولی

دور موتور	۱۵۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۳۰۰۰
درصد بهبود	۱/۱۶	۲/۴۴	۱/۶۷	۱/۳۸

جدول ۱۶- میزان افزایش توان ترمزی در شمع چهار الکترودی نسبت به تک الکترودی با استفاده از بنزین معمولی

دور موتور	۱۵۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۳۰۰۰
درصد بهبود	۳/۸۲	۳/۵۷	۱/۲۴	۲/۴۷



شکل ۱۵- تغییرات دبی جرمی سوخت با استفاده از بنزین همراه با افزودنی در دور های مختلف کاری موتور

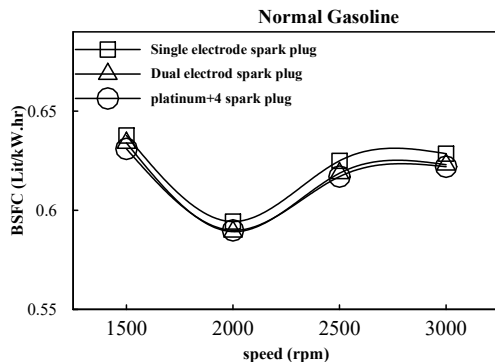
همان‌طور که در شکل ۱۶ مشاهده می‌شود مصرف سوخت ویژه ترمزی با افزایش سرعت دورانی موتور به دلیل کوتاه شدن زمان تلفات حرارت در طی چرخه کاهش می‌یابد اما در سرعت های بالاتر موتور به دلیل تلفات اصطکاکی زیاد، مصرف سوخت افزایش می‌یابد. از طرفی مصرف سوخت ویژه ترمزی با دبی جرمی سوخت رابطه مستقیم و با توان ترمزی رابطه عکس دارد. در جدول‌های ۲۳ و ۲۴ میزان کاهش مصرف سوخت ویژه ترمزی در شمع‌های دو و چهار الکترونی نسبت به شمع تک الکترونی با استفاده از بنزین معمولی آمده است.

جدول ۲۳- میزان کاهش مصرف سوخت ویژه ترمزی در شمع دو الکترونی نسبت به تک الکترونی با استفاده از بنزین معمولی

دور موتور	۱۵۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۳۰۰۰
درصد بهبود	۰/۵۸	۰/۸۵	۱/۲	۰/۸۸

جدول ۲۴- میزان کاهش مصرف سوخت ویژه ترمزی در شمع چهار الکترونی نسبت به تک الکترونی با استفاده از بنزین معمولی

دور موتور	۱۵۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۳۰۰۰
درصد بهبود	۱/۰۵	۰/۷۴	۱/۲	۱/۰۴



شکل ۱۶- تغییرات مصرف سوخت ویژه ترمزی با استفاده از بنزین معمولی در دور های مختلف کاری موتور

درآزمون بنزین به همراه افزودنی با شمع‌های مختلف تغییرات مصرف سوخت ویژه ترمزی مطابق با شکل ۱۷ می‌باشد. درصد کاهش مصرف

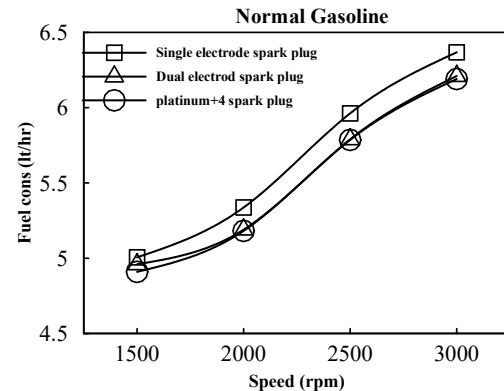
آن که موازنه نسبت هوا به سوخت دچار اختلال نگردد، دبی جرمی سوخت می‌بایست افزایش یابد. در جدول ۱۹ و ۲۰ میزان کاهش دبی جرمی سوخت در شمع دو و چهار الکترونی نسبت به شمع تک الکترونی با استفاده از بنزین معمولی قابل مشاهده است.

جدول ۱۹- میزان کاهش دبی جرمی سوخت در شمع دو الکترونی نسبت به تک الکترونی با استفاده از بنزین معمولی

دور موتور	۱۵۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۳۰۰۰
درصد بهبود	۰/۴۲	۰/۳۹	۰/۴۵	۰/۶۳

جدول ۲۰- میزان کاهش دبی جرمی سوخت در شمع چهار الکترونی نسبت به تک الکترونی با استفاده از بنزین معمولی

دور موتور	۱۵۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۳۰۰۰
درصد بهبود	۰/۹۴	۰/۷۳	۰/۳۵	۰/۵



شکل ۱۴- تغییرات دبی جرمی سوخت با استفاده از بنزین معمولی در دور های مختلف کاری موتور

درآزمون بنزین به همراه افزودنی با شمع‌های مختلف تغییرات دبی جرمی سوخت مطابق با شکل ۱۵ می‌باشد. مطابق جدول‌های ۲۱ و ۲۲ میزان کاهش دبی جرمی سوخت در شمع‌های دو و چهار الکترونی نسبت به شمع تک الکترونی با استفاده از بنزین به همراه افزودنی آمده است.

جدول ۲۱- میزان کاهش دبی جرمی سوخت در شمع دو الکترونی نسبت به تک الکترونی با استفاده از بنزین معمولی

دور موتور	۱۵۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۳۰۰۰
درصد بهبود	۰/۴۱	۰/۳۹	۰/۷۲	۰/۵

جدول ۲۲- میزان کاهش دبی جرمی سوخت در شمع چهار الکترونی نسبت به تک الکترونی با استفاده از بنزین همراه با افزودنی

دور موتور	۱۵۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۳۰۰۰
درصد بهبود	۰/۸۲	۰/۴۲	۱/۲۷	۰/۵۳



در بررسی میزان تولید آلاینده‌ها، برای انتشار اکسیدهای نیتروژن در حالت استفاده از بنزین معمولی و شمع دو الکترودی ۲/۲۳٪ و برای شمع چهار الکترودی ۳/۲۳٪ افزایش انتشار آلاینده اکسیدهای نیتروژن مشاهده می‌شود. در آزمون‌های بنزین به همراه افزودنی برای شمع دو الکترودی به طور میانگین ۱/۱٪ و برای شمع چهار الکترودی ۱/۸۵٪ اکسیدهای نیتروژن افزایش می‌یابد. به طور کلی انتشار هیدروکربن‌های نسوخته نیز کاهش می‌یابد بطوری که در حالت استفاده از بنزین معمولی و شمع های دو الکترودی ۳/۴۶٪ و برای شمع‌های چهار الکترودی ۶/۶۷٪ و در حالت استفاده از بنزین به همراه افزودنی و شمع‌های دو الکترودی ۱/۰۲٪ و برای شمع‌های چهار الکترودی ۱/۷۵٪ کاهش هیدرو کربن‌های نسوخته مشاهده می‌گردد.

## ۸-مراجع

- [1] Amer A. A. and Reddy T. N., Multidimensional Optimization of In-Cylinder Tumble Motion for the New Chrysler Hemi, No. 724, 2018.
- [2] Fenimore C. p., *symposium (international) on combustion, the combustion institute.* pittsburgh, 1991.
- [3] Hiroya I. and Keiji K., Super Carbon Fouling Resistant Small Size Spark Plug, *SAE Tech. Pap. Ser.*, 2005.
- [4] Hori T. and Shibata M., Super Ignition Spark Plug with Fine Center & Ground Electrodes Reprinted From: New SI Engine and Component Design, No. 724, 2018.
- [5] Pulkrabek W. W., *Engineering fundamentals of the internal combustion engine.* McGraw Hill, 1988.
- [6] Kamiński T., Wendeker M., Urbanowicz K., and Litak G., Combustion process in a spark ignition engine: Dynamics and noise level estimation Combustion process in a spark ignition engine: Dynamics and noise level estimation, Vol. 461, No. 2004, 2013.
- [7] R. Van Basshuysen and F. Schafer, Modern engine technology from A to Z, SAE international (2006).
- [8] Lee Y. G. and Boehler J. T., Flame Kernel Development and its Effects on Engine Performance with Various Spark Plug Electrode Configurations, Vol. 2005, No. 724, 2018.
- [9] Taylor C. F., *The Internal Combustion Engine in Theory and Practice.* M.I.T, 1966.
- [10] Nishioka S. and Hanashi K., Super Ignition Spark Plug with Wear Resistant Electrode, Vol. 2008, No. 724, 2018.
- [11] Hori T. and Shibata M., Super Ignition Spark Plug with Fine Center & Ground Electrodes Reprinted From: New SI Engine and Component Design, No. 724, 2018.
- [12] Lee M. J., Hall M., Ezekoye O. A., and Matthews R., Voltage, and Energy Deposition Characteristics of Spark Ignition Systems Reprinted From: SI Combustion and Direct Injection SI Engine Technology, No. 724, 2018.
- [13] W. W. Pulkrabek, *Engineering fundamentals of the internal combustion engine.* McGraw Hill, 1988.
- [14] Cussons Educational technology, *Dynamometer, Catalogue of Multi-Cylinder Engine test bed with Hydraulic,* 1998.
- [15] Fenimore C. p., *symposium (international) on combustion, the combustion institute.* pittsburgh, 1991.
- [16] BASF's KEROPUR® G. [Online]. Available: <https://products.basf.com/en/Keropur-G.html>.
- [17] XU7JP/L3. [Online]. Available: <http://ip-co.com/contents/view/45>.

سوخت ویژه ترمزی با شمع‌های چند الکترودی مطابق جدول ۲۵ و ۲۶ می‌باشد.

جدول ۲۵- میزان کاهش مصرف سوخت ویژه ترمزی در شمع دو

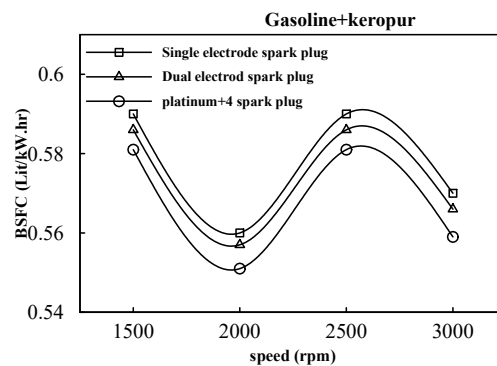
الکترودی نسبت به تک الکترودی با استفاده از بنزین با افزودنی

دور موتور	۱۵۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۳۰۰۰
درصد بهبود	۰/۶۷	۰/۵۳	۰/۶۷	۰/۷

جدول ۲۶- میزان کاهش مصرف سوخت ویژه ترمزی در شمع چهار

الکترودی نسبت به تک الکترودی با استفاده از بنزین با افزودنی

دور موتور	۱۵۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۳۰۰۰
درصد بهبود	۰/۵۲	۰/۶	۰/۵۲	۰/۸



شکل ۱۷- تغییرات مصرف سوخت ویژه ترمزی با استفاده از بنزین همراه با افزودنی در دور های مختلف کاری موتور

## ۷- نتیجه گیری

استفاده از شمع‌های دو و چهار الکترودی باعث بهبود عملکرد موتور با بنزین معمولی و نیز بنزین به همراه افزودنی گردیده است. با بررسی گشتاور ترمزی، به طور میانگین در دورهای ۱۵۰۰ تا ۳۰۰۰ rpm میزان افزایش گشتاور ترمزی در حالت استفاده از بنزین معمولی و شمع دو الکترودی ۲/۴۸٪ و شمع چهار الکترودی ۳/۲۴٪ افزایش یافته است همچنین در حالت استفاده از بنزین با افزودنی و شمع دو الکترودی به میزان ۰/۴٪ و شمع چهار الکترودی به میزان ۰/۶٪ افزایش گشتاور ترمزی مشاهده می‌گردد. در بررسی پارامتر توان ترمزی برای بنزین معمولی و شمع دو الکترودی در دور های ۱۵۰۰ تا ۳۰۰۰ rpm به طور میانگین ۱/۶۳٪ و برای شمع چهار الکترودی ۳/۰۹٪ افزایش توان مشاهده می‌شود و در بنزین به همراه افزودنی و شمع دو الکترودی ۱/۸۶٪ و برای شمع چهار الکترودی ۱/۵۶٪ توان ترمزی افزایش می‌یابد. در مورد مصرف سوخت ویژه ترمزی در حالت استفاده از شمع دو الکترودی و بنزین معمولی به طور میانگین ۰/۴۴٪ و برای شمع چهار الکترودی ۰/۶۲٪ مصرف سوخت ویژه ترمزی کاهش می‌یابد. در آزمون‌های با بنزین به همراه افزودنی برای شمع دو الکترودی به طور میانگین ۰/۵۵٪ و برای شمع چهار الکترودی ۰/۵۷٪ کاهش این پارامتر مشاهده می‌شود.