

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و پنجم، شماره هشت، آبان ماه ۱۴۰۲ (۱۴۲-۱۲۷)

## مطالعه تجربی تاثیر اختلاط سوخت دیزل و بیودیزل بر مشخصه های گشتاور ترمزی و مصرف ویژه سوخت در موتور دیزل

سوده شقاقی<sup>۱</sup>

محمد قهدریجانی\*

[Ghahderijani@srbiau.ac.ir](mailto:Ghahderijani@srbiau.ac.ir)

محمد هادی دهرویه<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۹۸/۸/۲۱

تاریخ پذیرش: ۹۹/۸/۲۴

**زمینه و هدف:** هر سال به طور مداوم تعداد موتورهای دیزل به دلیل داشتن بازده زیاد، اقتصاد سوخت و تولید گازهای گلخانه‌ای کم، افزایش می‌یابد. بیودیزل به عنوان سوخت‌های جایگزین مهم که از منابع تجدیدپذیر بدست می‌آید مورد توجه زیادی قرار گرفته‌اند. این سوخت‌ها میزان اکسیژن خوبی دارند بنابراین پتانسیل بسیار بالایی برای کاهش آلایندگی دارند.

**روش بررسی:** در این تحقیق به بررسی تاثیر بار و سرعت موتور و همچنین درصد‌های مختلف اختلاط سوخت‌های دیزل، بیودیزل بر روی مشخصه‌های عملکردی موتور دیزل پرداخته شد. طراحی آزمایش‌ها با استفاده از روش آماری سطح پاسخ و نقاط بهینه متغیرهای مستقل به منظور کمینه و یا بیشینه کردن سطوح پاسخ، به دست آمد.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که با افزایش میزان درصد بیودیزل در سوخت‌های اختلاط یافته، گشتاور ترمزی افزایش می‌یابد. از بین متغیرهای مستقل مشخصه‌های بار و سرعت موتور بیشترین میزان تاثیر را بر روی گشتاور موتور داشته است. بیشترین میزان گشتاور برای سوخت (D<sub>36</sub>B<sub>64</sub>) بدست آمد. میزان مصرف ویژه سوخت با افزایش درصد بیودیزل در سوخت‌های اختلاط یافته نسبت به سوخت دیزل افزایش یافت و کمترین میزان مصرف سوخت ویژه در سوخت دیزل خالص بدست آمد.

**بحث و نتیجه گیری:** با توجه به نتایج بیشترین میزان گشتاور ۳۱۵/۵۵ Nm برای سوخت (D<sub>36.12</sub>B<sub>63.88</sub>) و کمترین میزان گشتاور به میزان ۴۴ Nm مربوط به سوخت دیزل خالص (D<sub>100</sub>B<sub>0</sub>) بود. براساس نتایج مصرف ویژه سوخت کمترین میزان در حالت بار کامل و در سرعت دورانی ۲۳۲۳ دور بر دقیقه و برای سوخت دیزل خالص (D<sub>100</sub>B<sub>0</sub>) اتفاق می‌افتد، همچنین بیشترین میزان مصرف ویژه سوخت

۱- گروه مهندسی سیستم‌های کشاورزی، دانشکده علوم کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم تحقیقات تهران، ایران.

۲- استادیار گروه مهندسی سیستم‌های کشاورزی، دانشکده علوم کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.  
(مسئول مکاتبات)

۳- استادیار گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

در بار اعمالی ۶۷ درصد موتور و سرعت دورانی ۲۸۰۰ دور بر دقیقه برای سوخت بیودیزل خالص ( $D_{0}B_{100}$ ) و به مقدار ۳۰۴ گرم بر کیلو وات ساعت رخ می‌دهد. نتایج حاصل از بهینه‌سازی چند هدفه نشان داد که بیشترین میزان مشخصه‌های عملکردی در بار کامل (۱۰۰٪) و سرعت ۱۹۸۴ دور بر دقیقه و موتور و برای ترکیب سوختی  $D_{22}B_{78}$  درصد اتفاق می‌افتد (با مطلوبیت ۹۱ درصد) رخ داد.

**واژه‌های کلیدی:** بیودیزل، دیزل، گشتاور، مصرف سوخت، سطح پاسخ.

# **Experimental Investigation of the Effect of Diesel-Biodiesel Blends on Brake Torque Characteristics and Specific Fuel Consumption in Diesel Engines**

**Soodeh Shaghghi**<sup>1</sup>

**Mohammad Ghahderijani**<sup>2\*</sup>

[Ghahderijani@srbiau.ac.ir](mailto:Ghahderijani@srbiau.ac.ir)

**Mohammad hadi Dehrouyeh**<sup>3</sup>

Admission Date: November 14, 2020

Date Received: November 12, 2019

## **Abstract**

**Background and Objective:** The number of diesel engines is increasing every year due to high yield and fuel economy and low greenhouse gas emission. Especially biodiesel and ethanol have been considered as major alternative fuels as they are derived from renewable sources. These fuels are well oxygenated and therefore have a great potential to reduce emissions.

**Material and Methodology:** The effect of engine load and speed and different percentages of diesel-biodiesel fuel blends on the performance characteristics of a diesel engine was investigated. Experiments were designed by response surface method (RSM), and optimal levels for independent variables were obtained to minimize or maximize response levels.

**Findings:** According to the results, brake torque increased with increasing biodiesel level in fuel blends. Among independent variables, engine load and speed had the greatest impact on engine torque. The maximum torque was obtained for the fuel blend D<sub>36</sub>B<sub>64</sub>. Specific fuel consumption increased with increasing biodiesel level in fuel blends in comparison with the diesel fuel. The least specific fuel consumption was obtained for pure diesel fuel.

**Discussion and Conclusion:** According to the results, the highest torque was 315.55 Nm for fuel (D<sub>36-12</sub>B<sub>63.88</sub>) and the lowest torque was 44 Nm for pure diesel fuel (D<sub>100</sub>B<sub>0</sub>). According to fuel consumption results, the lowest fuel consumption occurs at 2323 rpm and for pure diesel fuel (D<sub>100</sub>B<sub>0</sub>). Also, the highest specific fuel consumption occurs at 67% engine load and 2800 revolutions per minute for pure biodiesel fuel (D<sub>0</sub>B<sub>100</sub>) at 304 g / kW. The results of multi-objective optimization indicated that the highest performance characteristics occurred at full load (100%) and engine speed of 1984 rpm for the fuel blend D<sub>22</sub>B<sub>78</sub> (with a desirability of 91%).

**Keywords:** Biodiesel, diesel, torque, fuel consumption, response level.

---

1- Ph. D student, Department of Agricultural systems engineering, Science and Research branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2- Assistant professor, Department of Agricultural systems engineering, Science and Research branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. *\*(Corresponding Author)*

3- Assistant professor, Department of Agricultural machinery, Roud-e-hen branch, Islamic Azad University, Roud-e-hen, Iran.

## مقدمه

داد که میزان درصد بیودیزل، سرعت موتور و بار به ترتیب ۸۵/۶۳ درصد، ۲۲۰۸ دور در دقیقه، ۹۷ درصد است. در نقطه بهینه، مقادیر قدرت، گشتاور، BSFC، CO، HC و NOx به ترتیب برابر ۶۳ کیلو وات، ۲۹۸ نیوتن متر، ۲۰۲/۸۵ گرم بر کیلو وات ساعت، ۰/۱۲ درصد، ۸۸ پی پی ام و ۵۶۰ پی پی ام بدست آمد. این یافته ثابت می کند که این الگوریتم می تواند با دقت بالا نقطه بهینه در عملکرد موتور را تخمین بزند (۷).

با وفا و همکاران در تحقیقی که بر روی شاخص های عملکردی موتور تراکتور MF-399 و با استفاده از مخلوط های ۵ تا ۲۰ درصد بیودیزل و دیزل انجام دادند دریافتند که مصرف سوخت ویژه، به دلیل ارزش حرارتی و چگالی نزدیک بیودیزل و دیزل، کمترین افزایش را دارد. (۸)

در مطالعه های عملکردی و آلاینده های موتوری دیزل چهار زمانه با استفاده از سه ترکیب سوخت زیست دیزل و دیزل، زیست دیزل و دیزل افزودنی و نفت سفید و زیست دیزل با درصد حجم ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ در سرعت ثابت ۱۸۰۰ دور بر دقیقه تحت شرایط بارگذاری (ضعیف، متوسط و قوی) بررسی شده است. نتایج تحقیق نشان می دهد، با افزایش درصد سه ترکیب سوخت در بار کم، مصرف سوخت ویژه افزایش می یابد، در حالی که در بار متوسط و قوی، با افزایش درصد سوخت زیست دیزل و دیزل، زیست دیزل و دیزل افزودنی، مقدار مصرف سوخت ویژه افزایش، ولی با افزایش درصد سوخت نفت سفید و زیست دیزل، مصرف سوخت ویژه کاهش می یابد (۹).

سیواراما کریشنانان (۲۰۱۸) عملکرد یک موتور چهار زمانه تک سیلندر برای اختلاط های سوخت ۲۰٪، ۲۵٪ و ۳۰٪ از مخلوط Karanja با دیزل مورد بررسی قرار داد. این آزمایش با نسبت فشرده سازی ۱۵:۱، ۱۶:۱، ۱۷:۱ و ۱۸:۱ انجام شده است. تأثیر نسبت تراکم بر مصرف سوخت، راندمان حرارتی ترمز و انتشار گازهای خروجی بررسی و ارائه شد. تجزیه و تحلیل تجربی در مورد عملکرد اختلاط بیودیزل و دیزل با استفاده از روش سطح پاسخ برای یافتن وضعیت کار بهینه انجام شد. بهینه کلی ۲۵٪ مخلوط بیودیزل دیزل با نسبت فشرده سازی نسبت تراکم ۱۸ بود (۱۰).

بحران جهانی انرژی، بسیاری از کشورها را به جست و جو برای منابع انرژی تجدیدپذیر واداشته است. محققان اخیرا جایگزینی سوخت های فسیلی را با سوخت های زیستی و به منظور کاهش وابستگی به سوخت های فسیلی مورد توجه قرار داده اند. سوخت های زیستی به عنوان انرژی تجدیدپذیر طیف گسترده ای از سوخت ها هستند که از مواد زیست توده تولید می شوند. بیودیزل به عنوان سوخت زیستی مایع مشهور حاصل از فرآوری شیمیایی روغنهای گیاهی، در کوره و موتورهای دیزلی مورد استفاده قرار میگیرد (۱). مواد آلی موجود در بیودیزل دارای مولکولهای بالایی همچون الکل، کتون، فنل و اتر است. بیودیزل چگالی کمتری نسبت به آب دارد و می توان آن را برای مدت طولانی تر به صورت پایدار ذخیره کرد (۲). بیودیزل هیدروکربن های معطر ندارد و میزان گوگرد پایین تر از دیزل است. بنابراین، انتشار گازهای گلخانه ای از تولید بیودیزل سلامت انسان را به خطر نمی اندازد و همچنین از نظر محیط زیست سازگارتر است. علاوه بر این، بیودیزل مقدار کمتری سیتان نسبت به سوخت دیزل دارد که باعث افزایش عملکرد احتراق موتور می شود (۲) و بیودیزل ها می توانند تقاضای انرژی بشر را برآورده سازند و همچنین از محیط زیست محافظت کنند. سوخت های زیستی موجب کاهش نشر گازهای گلخانه ای و واردات نفت می گردد و به عنوان سوخت های زیستی مورد قبول و امید بخش مورد توجه قرار گرفته اند. هزینه بیودیزل برای موتور احتراق داخلی کمی بیشتر از دیزل نفتی است مصرف سوخت ویژه بیودیزل بالاتر از دیزل نفتی می باشد. نتایج آزمایش ها نشان داده است که متوسط مقدار SFC برای سوخت بیودیزل ۱۷ درصد بیشتر از دیزل نفتی است (۴،۵). از طرف دیگر افزایش انتشار آلاینده های سوخت های مبتنی بر نفت و اثرات آن بر محیط زیست منجر به تحقیقات زیادی در مورد سوخت های جایگزین شده است که می توانند در داخل کشور حاصل شوند (۶).

شیرنشان و همکاران (۲۰۱۶) در تحقیقی استفاده از روش الگوریتم کلونی زنبورهای مصنوعی برای بهینه سازی عملکرد موتور و ویژگی های مخلوط سوخت (بیودیزل و دیزل)، سرعت موتور و بار موتور مورد بررسی قرار دادند. نتایج بهینه سازی نشان

مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس خریداری شد. پس از اختلاط سوخت‌های مورد آزمایش، مشخصات فیزیکی و شیمیایی سوخت‌های اختلاط یافته در شرکت البرز تدبیرکاران تهران اندازه‌گیری شد. این مشخصات شامل عدد ستان، ارزش حرارتی پایین، چگالی، گرانیوی، نقطه اشتعال، نقطه ریزش و میزان سولفور بود که برای هر مشخصه بر اساس آزمون استاندارد، تعیین شد.

در این تحقیق تاثیر اختلاط‌های مختلف، بار و سرعت موتور روی گشتاور ترمزی و مصرف ویژه سوخت بر روی موتور دیزل OM 314 مدل خواهند شد و نقاط بهینه متغیرهای مستقل به منظور بیشینه کردن یا کمینه کردن هر یک از مشخصه‌ها تعیین خواهد شد. در نهایت نقاط بهینه کلی که در آن مشخصه عملکردی بیشترین مقدار و مشخصه اقتصادی کمترین میزان را دارد مشخص خواهد شد. سوخت بیودیزل مورد آزمایش از گروه

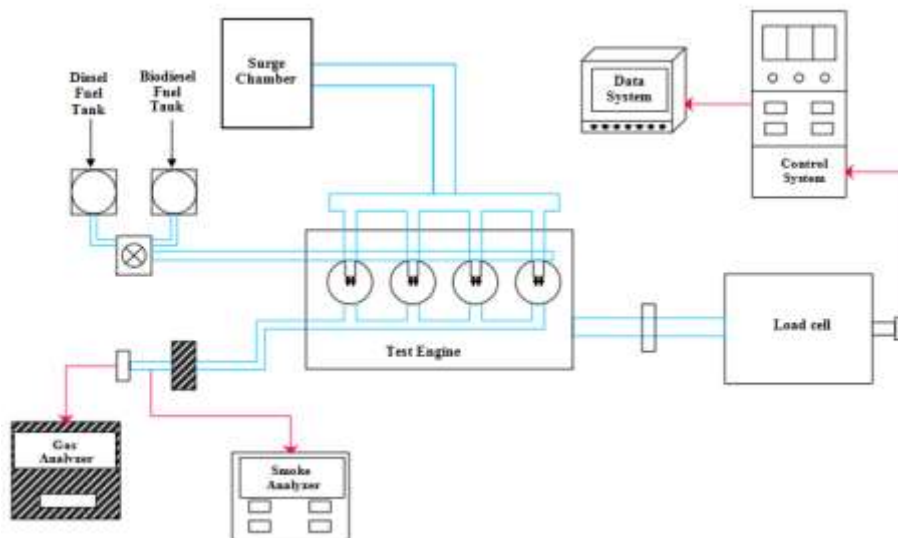
### جدول ۱- خصوصیات شیمیایی و فیزیکی سوخت‌های گازوییل، بیودیزل و اختلاط مورد آزمایش.

Table 1. Chemical and Physical Properties of Fuel, Biodiesel and Mixed Fuels..

ارزش گرمایی	درصد وزنی اکسیژن	درصد وزنی سولفور	چگالی (۱۵ °C)	گرانیوی (۴۰ °C)	نقطه ریزش	نقطه اشتعال	عدد ستان	خصوصیات
MJ/kg	%	%	kg/m <sup>3</sup>	cSt	°C	°C	-	واحد
-	-	D4294	D4052	D445	D97	D93	D976	استاندارد ASTM
۴۲/۷۲	۰	۰/۵۹۵	۸۳۷	۲/۵	-۹	۶۵	۵۲/۲	گازوییل
۳۹/۷۶	۱۰/۸۶	۰/۰۲۰۱	۸۹۴	۵/۵	۳	۱۵۵	۵۷/۲	بیودیزل
۴۰/۳۷	۸/۶۱۱	۰/۱۳۹۱	۸۸۲/۲۰	۴/۸۷۹	۰/۵۱۶	۱۳۶/۳۷	۵۶/۱۶	B <sub>79.7</sub> D <sub>20.3</sub>
۴۱/۲۴	۵/۴۳	۰/۳۰۷۵	۸۶۵/۵	۴	-۳	۱۱۰	۵۴/۷	B <sub>50</sub> D <sub>50</sub>
۴۲/۱۲	۲/۲	۰/۴۷۸۵	۸۴۸/۵۴	۳/۱۰	-۶/۵۶	۸۳/۲۳	۵۳/۲۱	B <sub>20.2</sub> D <sub>79.8</sub>

لیسانس شرکت دایلمر آلمان ساخته شده است. شکل ۲ نمایی از موتور مورد نظر را نشان می‌دهد. این موتور مجهز به یک پمپ انژکتور ردیفی ساخت کارخانه بوش آلمان می‌باشد. پمپ انژکتور مورد نظر دارای واحدهای پمپ کننده مجزا (به تعداد سیلندرهایی موتور) بوده که به صورت ردیفی کنار هم قرار گرفته‌اند. تعداد این واحدها با تعداد انژکتورها برابر می‌باشد. مشخصات موتور مورد استفاده در تحقیق حاضر در جدول ۲ آورده شده است.

شکل ۱، مجموعه تجهیزات استفاده شده در آزمایش کوتاه مدت موتور را نمایش می‌دهد. این مجموعه شامل موتور دیزل OM314، دینامومتر، دستگاه‌های آلاینده سنج، پانل کنترلی دینامومتر، صفحه نمایشگر متصل به پانل کنترلی دینامومتر و سامانه سوخت رسانی می‌باشد که به بررسی خصوصیات و نحوه کار هر کدام از این تجهیزات پرداخته خواهد شد. موتور تحت آزمایش در این تحقیق، موتور چهار سیلندر دیزلی پاشش مستقیم از تولیدات شرکت ایدم تبریز می‌باشد که تحت



شکل ۱- طرحواره سلول آزمون آزمایشیها.

Figure 1. Schemes of the test cell.

جدول ۲- مشخصات موتور مورد آزمایش.

Table 2. Specifications of the engine tested

مقدار	مشخصه
OM314	مدل
4	تعداد سیلندر
پمپ آبی	سامانه خنک کاری
81KW	بیشترین توان موتور
350 N.m	بیشترین گشتاور
2800 rpm	بیشترین سرعت
انژکتور ردیفی	سامانه پاشش سوخت



شکل ۲- موتور مورد آزمایش OM 314

Figure 2. Engine tested OM 314

(فرومغناطیسی) مدل E400 و ساخت شرکت توسعه صنایع ریز ابزار پویا استفاده شد. در شکل ۳ (الف) بستر آزمون موتور به همراه دینامومتر نشان داده شده است. همان طور که در این شکل مشاهده می شود، محور خروجی موتور از طریق یک کوبلینگ خارجی به محور دینامومتر متصل شده است. شکل ۳ (ب) در دینامومتر مورد نظر از یک دیسک پره دار استفاده شده است که دور تا دور این دیسک را یک سیم پیچ فرا گرفته است. این سیم پیچ متناسب با ولتاژی که به آن اعمال می شود میدان مغناطیسی ایجاد می کند. دیسک پره دار به محور دینامومتر متصل بوده و به وسیله موتور به گردش در می آید.



(ب)

موتور مورد نظر در سال ۱۳۸۹ با انجام تغییراتی مطابق با استاندارد Euro II توسط واحد تحقیق و مهندسی شرکت ایدم بهبود و توسعه یافته است. این تغییرات شامل اضافه کردن توربوشارژر، افزایش ظرفیت و فشار پاشش پمپ انژکتور، بهبود زاویه پاشش نازل پمپ انژکتور، تغییر محفظه احتراق سر پیستون از حالت استوانه ای شکل به امگا شکل و افزایش توان موتور به میزان ۳۰٪ می باشد.

**بستر آزمون موتور و چگونگی اتصال دینامومتر به موتور.**  
در این تحقیق برای اندازه گیری گشتاور ترمزی موتور تحت بار و سرعت های مختلف موتور از دینامومتر جریان گردابی



(الف)

شکل ۳- بستر آزمون موتور و چگونگی اتصال دینامومتر به موتور (الف) و دینامومتر (ب)

Figure 3. Engine test test bed and how to connect the dynamometer to the engine (Fig.A) and Dynamometer (Fig.B)

سپس داده برداری می شود. شکل ۴ نمایی از پانل کنترلی دینامومتر (شکل الف) و نمایی از صفحه نمایشگر متصل به پانل کنترلی دینامومتر (شکل ب) مورد استفاده در این تحقیق را نشان می دهد.

در هنگام انجام آزمون های موتور، گشتاور (بار) اعمالی به موتور به وسیله پانل کنترلی دینامومتر و از طریق یک پتانسیومتر تغییر داده شد، همچنین کنترل دور موتور نیز از طریق این پانل صورت می گرفت. از طریق صفحه نمایشگر یک رایانه که متصل به پانل کنترلی دینامومتر بود، مقدار اندازه گیری شده نمایش داده و



(ب)



(الف)

شکل ۴- پانل کنترلی دینامومتر (شکل الف). صفحه نمایشگر متصل به پانل کنترلی دینامومتر (شکل ب).

Figure 4. Dynamometer control panel (Fig. A). Display connected to the dynamometer control panel (Fig. B).

مختلف سوخت دیزل با بیودیزل انجام می‌گیرد. متغیرهای تحت کنترل بار اعمالی از طرف دینامومتر به موتور، سرعت موتور و نوع سوخت (مخلوط‌های مختلف دیزل- بیودیزل) می‌باشد. کلیه آزمایش‌ها در شرایط استاندارد و بدون تغییر در ساختار فنی و ساختمانی موتور انجام شد. روش انجام آزمایش‌ها به این صورت بود که ابتدا موتور با سوخت مورد آزمایش به مدت ۱۵ دقیقه برای رسیدن به حالت پایدار و عادی به صورت درجا کار می‌کرد. سپس مطابق جدول آزمایش‌ها که طبق روش سطح پاسخ و با استفاده از طرح مرکب مرکزی تدوین گردیده است بار و سرعت مورد نظر به وسیله پانل کنترل دینامومتر اعمال گردید. به این صورت که ابتدا موتور در حالت تمام بار قرار داده شد. سپس توسط پتانسیومتر مربوط به اعمال بار موجود بر روی قسمت کنترلی دینامومتر، بار یا گشتاور اعمالی بر روی موتور آنقدر افزایش داده شد تا دور موتور به دور مد نظر برسد و به مدت ۵ دقیقه در این حالت برای ایجاد وضعیت پایا برای بار اعمالی و دور مورد نظر کار کرد. در این حالت گشتاور اعمالی به موتور یادداشت شد در همین شرایط کاری، توسط سامانه اندازه‌گیری مصرف سوخت، نرخ جرمی مصرف سوخت به صورت کیلوگرم بر ساعت اندازه‌گیری شد. در طراحی آزمایش، مطابق با رابطه (۱) که در آن  $X_1, X_2, X_3$  و ... پارامترهای مختلف،  $\varepsilon$  خطای آماری که از منابع دیگر به دست می‌آید و  $Y$  خروجی می‌باشد، سپس با

در سامانه اندازه‌گیری مصرفی از روش وزنی برای اندازه‌گیری مقادیر مصرف سوخت برای هر ردیف از پارامترهای دور و بار موتور و مخلوط سوخت استفاده شد. سامانه دارای چهار شیلنگ بود که همگی به مخزن سوخت متصل بودند. یکی از شیلنگ‌ها به ورودی موتور، یکی به هوای آزاد و شیلنگ دیگری به خروجی سوخت از موتور متصل شده بود. شیلنگ چهارم نیز به یک الکترو پمپ متصل بوده و از این طریق مخزن سوخت سامانه پر می‌گردید. خروجی این سامانه نیز به یک رایانه متصل بود که میزان مصرف سوخت موتور بر اساس کیلوگرم بر ساعت و وزن سوخت بر اساس کیلوگرم بر روی صفحه نمایشگر آن قابل مشاهده بود.

#### روش انجام آزمایش‌ها

در این تحقیق با توجه به اینکه آزمایش‌های مورد مطالعه هزینه بر و وقت‌گیر بوده است و همچنین داده‌های آزمون نیاز به بهینه‌سازی داشتند از روش سطح پاسخ که یکی از روش‌های طراحی آزمایش می‌باشد، استفاده شد. در روش سطح پاسخ برای هر متغیر مستقل حداقل سه سطح نیاز است تا بتوان تاثیرات متغیرها را بر پاسخ مدل کرد. طرح مورد استفاده در این تحقیق، طرح مرکب مرکزی می‌باشد که بیشترین کاربرد در میان طرح‌های روش سطح پاسخ را دارد. آزمون‌ها با هدف بررسی پارامترهای گشتاور و مصرف ویژه سوخت موتور بین مخلوط‌های



سازی انجام شود. برای هر کدام از شاخص‌ها که شامل گشتاور ترمزی و مصرف ویژه سوخت می‌باشد، مدلی ریاضی بر مبنای متغیرهای مستقل آزمایش (نسبت‌های حجمی مختلف بیودیزل در مخلوط سوخت، سرعت دورانی و بار موتور) و بر اساس روش اجرا شده توسط روش سطح پاسخ (سطح مرکب مرکزی) ارائه می‌گردد. سپس به بررسی اعتبار مدل به دست آمده بر اساس تجزیه واریانس پرداخته می‌شود و رابطه بین متغیرهای مستقل و وابسته به صورت نمودارهای سه بعدی نشان داده خواهد شد. در نهایت نقطه بهینه مطلوبیت برای هر یک از سطوح پاسخ به دست خواهد آمد.

### گشتاور ترمزی

جدول تجزیه واریانس برای مدل ارائه شده توسط نرم-افزار Design Expert11 برای مشخصه گشتاور ترمزی موتور در جدول زیر ارائه شده است. مقادیر  $P$ -value برای مدل‌های پیش‌بینی کمتر از ۰/۰۱ می‌باشد و این نشان می‌دهد که این مدل‌ها از لحاظ آماری قابلیت پیش‌بینی تاثیرات متغیرهای مستقل را با خطای کمتر از یک درصد روی گشتاور دارند. عبارات خطی و درجه دوم متغیرهای وابسته نیز با  $P$ -value کمتر از ۰/۰۵ از لحاظ آماری اعتبار لازم در مدل را دارد. تجزیه واریانس عبارات مدل گشتاور ترمزی و ضرایب مدل کد شده در جدول ۳ نشان داده شده است. مقادیر  $P$ -value برای عبارات مدل به تفکیک پارامترهای بیودیزل، سرعت و بار موتور در این جدول ارائه شده است. عبارتهایی که مقدار  $P$ -value آنها کمتر از ۰/۰۵ باشد وارد مدل می‌شوند. علامت مثبت برای ضرایب عبارتها یک تاثیر مستقیم و هم‌جهت، و همچنین علامت منفی یک رابطه عکس را بین عبارت نشان می‌دهد. ضرایب ارائه شده برای هر یک از عبارات معنی‌دار شده در جدول بر اساس مقادیر کد شده می‌باشد. مقدار ثابت مدل پیش‌بینی بر اساس طرح کد شده برای گشتاور ۲۰۲/۸۱ می‌باشد.

استفاده از روش‌های تحلیل داده‌های آزمایش، میزان تأثیر هر یک از پارامترها را بررسی کرده و برای مقادیر جدید پارامترها، خروجی پیش‌بینی شود و در صورت نیاز فرآیند بهینه‌سازی گردد (۱۱).

$$y = f(x_1, x_2, x_3, \dots) + \varepsilon \quad (1)$$

در این تحقیق، از نرم‌افزار Design Expert11 جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها، بهینه‌سازی نتایج، رسم نمودارها و شکل‌های گرافیکی استفاده گردید. متغیرهای مستقل در این تحقیق عبارتند از نسبت‌های مختلف سوخت‌های بیودیزل و دیزل، بار و سرعت موتور و پاسخ‌های مورد نظر نیز شامل گشتاور ترمزی و مصرف ویژه سوخت ترمزی موتور می‌باشد. بر اساس طرح مرکب مرکزی سطوح متغیرهای مستقل بر اساس مقادیر کد شده ۰،  $\pm 1$  و  $\pm \alpha$  انتخاب می‌شود.  $\alpha$  برابر مجذور تعداد متغیرهای مستقل می‌باشد (۱۲). مقادیر کمینه و بیشینه مورد نظر در آزمایش برای هر متغیر مطابق با کدهای  $\pm 1$  قرار داده می‌شود و با استفاده از معادله (۲) سه مقدار کد شده دیگر (۰ و  $\pm \alpha$ ) به دست خواهد آمد که در آن  $x$  متغیر مستقل کد نشده و  $X$  متغیر مستقل کد شده می‌باشد.

$$X = \frac{x - x_{ave}}{\Delta x} \quad (2)$$

معادله مدلی که از طرح مورد اجرا به دست خواهد آمد برای هر یک از پاسخ‌ها به شکل زیر است (۱۲).

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^4 a_i x_i + \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 a_{ij} x_i x_j \quad (3)$$

### نتایج و بحث

در تحقیقات دیگر انجام شده چند درصد مشخص از اختلاط ارائه شده است به طور مثال درصدهای مورد بررسی شامل: ۱۰ - ۲۰ - ۵۰ - ۸۰ - ۱۰۰ می‌باشد ولی هدف از این تحقیق، اختلاط به صورت پیوسته بین ۰ تا ۱۰۰ بررسی شود و در نهایت مدل

## جدول ۳- تجزیه واریانس عبارات مدل گشتاور ترمزی موتور.

Table 3. Analysis of variance expressions of engine braking torque model.

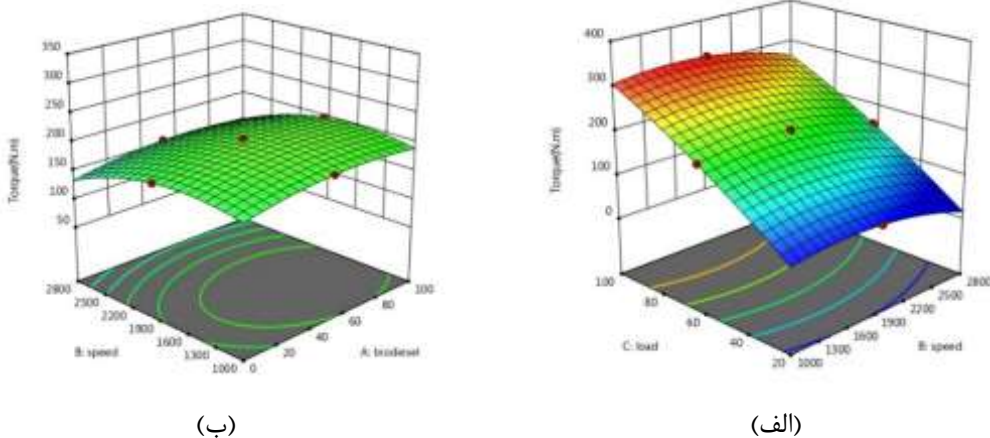
<i>P-value</i>	F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	ضریب	درجه آزادی	منبع
۰/۰۰۰۱	۳۰۲/۸۷	۱۳۳۵۰/۹	۸۰۱۰۵/۳۸	-	۶	مدل
۰/۰۰۰۱	۶۷۹/۷۱	۱۵۹۵۵/۳۵	۷۹۷۷۶/۷۵	-	۳	عبارت خطی
۰/۰۰۰۱	۸۱/۳۷	۱۹۱۰/۱۷	۱۹۱۰/۱۷	-۱۹/۸۹	۱	سرعت
۰/۰۰۰۱	۱۷۱۶/۷۳	۷۵۹۵۶/۳۲	۷۵۹۵۶/۳۲	۱۲۵/۴۲	۱	بار
۰/۰۱۷	۷/۴۳	۳۲۸/۶۳	۳۲۸/۶۳	۱۶/۵۱	۱	بیودیزل
۰/۰۰۱	۳۳/۴۶	۶۳۶/۷۵	۱۹۱۰/۲۵	-	۳	عبارت درجه دوم
۰/۰۰۰۱	۵۰/۵۲	۱۳۱۹/۹۲	۱۳۱۹/۹۲	-۲۸/۳۵	۱	سرعت × سرعت
۰/۰۱	۱۲/۶۸	۳۳۱/۴۳	۳۳۱/۴۳	-۱۴/۹۵	۱	بار × بار
۰/۰۱۳	۸/۲۸	۳۶۶/۳	۳۶۶/۳	-۲۸/۵۲	۱	بیودیزل × بیودیزل
-	-	۴۴/۲	۵۷۵/۲	-	۱۳	خطا
-	-	-	۸۰۱۰۵/۳۸	-	۱۹	کل

که در آن  $T$  بیانگر گشتاور ترمزی موتور بر حسب نیوتن متر  $(N.m)$ ،  $B$  نشان دهنده درصد بیودیزل در مخلوط سوخت،  $S$  سرعت موتور بر حسب دور در دقیقه و  $L$  بار موتور بر حسب درصد می باشد.

با مشاهده شکل ۵، می توان نتیجه گرفت که با افزایش بار اعمالی به موتور، به علت بالاتر رفتن دمای محفظه سیلندر اختلاط مخلوط سوخت و هوا بیشتر شده و بنابراین گشتاور ترمزی ایجاد شده موتور افزایش می یابد. با افزایش درصد حجمی بیودیزل در سوخت ترکیبی گشتاور ترمزی موتور نسبت به سوخت دیزل در تمام شرایط کاری موتور افزایش می یابد. علت این افزایش بهبود شرایط احتراق به دلیل افزایش میزان اکسیژن در سوخت ترکیبی می باشد.

مقادیر  $R^2$  و  $R^2$  تعدیل شده برای مدل پیش بینی به ترتیب ۹۹/۲۹ و ۹۸/۹۶ درصد می باشد که نشان می دهد یک همبستگی بسیار بالایی بین مقادیر تجربی و پیش بینی گشتاور ترمزی وجود دارد بطوریکه مدل پیش بینی قادر است ۹۹/۲۹ درصد کل تغییرات گشتاور ترمزی را در شرایط مورد آزمایش تشریح و پیش بینی کند. مدل بدست آمده بر اساس داده های کد نشده عبارت است از:

$$T = -124.3 + 0.1109S + 4.254L + 0.735B - 0.000035S^2 - 0.00932L^2 - 0.00570B^2 \quad (4)$$



شکل ۵- نقشه سه بعدی (شکل الف) تاثیر متغیرهای بار و سرعت موتور و نقشه سه بعدی (شکل ب) تاثیر متغیرهای درصد

### بیودیزل و سرعت بر روی گشتاور ترمزی برای سوخت D50B50

Figure 5. Three-dimensional map (Fig. A) Impact of load variables and engine speed and 3D map (Fig. B) Impact of biodiesel percent and speed variables on braking torque for fuel D50B50

#### بهینه‌سازی میزان گشتاور ترمزی

گردید و سپس تاثیر هر کدام از جملات (مرتبه اول و دوم و اثر متقابل) بر روی مصرف ویژه سوخت ترمزی موتور مورد بررسی قرار گرفت. جدول تجزیه واریانس ارائه شده توسط نرم‌افزار برای مشخصه مصرف ویژه سوخت به صورت جدول ۴ می‌باشد. با توجه به جدول مقدار p-value برای مدل پیش‌بینی مصرف ویژه سوخت ۰/۰۰۰۱ می‌باشد و این نشان می‌دهد که این مدل می‌تواند داده‌های تجربی را با خطای کمتر از یک درصد پیش‌بینی کند. عبارت‌های خطی، درجه دو و متقابل مربوط به مدل رگرسیونی درجه دوم مصرف ویژه سوخت، از لحاظ آماری در سطح یک درصد معنی‌دار می‌باشند، که نشان می‌دهد این عبارات از لحاظ آماری اعتبار ورود به داخل معادله را دارند به گونه‌ای که این معادلات توانایی پیش‌بینی تاثیرات مرتبه اول و دوم و اثرات متقابل متغیرهای مستقل بر روی مصرف ویژه سوخت را دارند.

با توجه به نتایج بیشترین میزان گشتاور ۳۱۵/۵۵ نیوتن‌متر بدست آمد که برای سوخت (D36.12B63.88) و در سرعت ۱۶۸۳/۶۳ دور بر دقیقه بار کامل (۱۰۰ درصد) اتفاق افتاد. همچنین کمترین میزان گشتاور به میزان ۴۴ نیوتن متر مربوط به سوخت دیزل خالص (D100B0) بود که در بار اعمالی ۲۰ درصد و سرعت دورانی ۲۷۸۳ دور بر دقیقه به دست آمد. همان‌طور که در شکل (۴-۶) مشاهده می‌شود از بین متغیرهای مستقل مشخصه بار موتور بیشترین تاثیر را بر روی گشتاور موتور دارد.

#### مصرف ویژه سوخت ترمزی موتور

بر اساس روش سطح پاسخ، برای مشخصه مصرف ویژه سوخت ترمزی موتور مدلی ریاضی از مرتبه دوم و براساس سه متغیر (درصد بیودیزل، بار و سرعت موتور) به صورت رابطه ۵ ارائه می‌گردد. ابتدا اعتبار مدل مورد نظر به وسیله تجزیه واریانس بررسی

## جدول ۴- تجزیه واریانس عبارات مدل مصرف ویژه سوخت ترمزی موتور

Table 4. Analysis of variance expressions of the engine specific brake fuel consumption model

منبع	درجه آزادی	ضریب	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	P-value
مدل	۴	-	۱۴۳۸/۳۲	۳۵۹۵/۳۳	۳۶/۱۰	۰/۰۰۰۱
عبارت خطی	۳	-	۱۲۷۳۸/۸	۴۲۴۶/۲۵	۵۵/۳	۰/۰۰۰۱
سرعت	۱	۲۵/۳۶	۳۰۴۲/۷	۳۰۴۲/۷	۳۹/۶۲	۰/۰۰۰۱
بار	۱	-۷۰/۱۷	۵۹۴۴/۰	۵۹۴۴/۰	۷۷/۴	۰/۰۰۰۱
بیودیزل	۱	۵۵/۷۵	۳۷۵۲/۱	۳۷۵۲/۱	۴۸/۸۶	۰/۰۰۰۱
عبارت درجه دوم	۲	-	۱۴۸۸/۹	۷۴۴/۴۴	۹/۶۹	۰/۰۰۳
سرعت × سرعت	۱	۴۳/۶	۸۶۴/۵	۸۶۴/۵	۱۱/۲۶	۰/۰۰۵
بار × بار	۱	۴۰/۸۴	۷۵۸/۵	۷۵۸/۵	۹/۸۸	۰/۰۰۸
اثر متقابل	۱		۱۵۷۳/۳	۱۵۷۳/۳	۲۰/۴۹	۰/۰۰۱
سرعت × بار	۱	-۷۹/۳۳	۱۵۷۳/۳	۱۵۷۳/۳	۲۰/۴۹	۰/۰۴۵
خطا	۱۳	-	۹۹۸/۳	۷۶/۷۹	-	-
کل	۱۹	-	۱۶۷۹۹/۲	-	-	-

جدول ۴ نشان می‌دهد که از میان فاکتورهای خطی، بار، بیودیزل و سپس سرعت موتور به ترتیب بیشترین تاثیر را بر روی مصرف ویژه سوخت داشتند و بجز بار که یک رابطه عکس بر روی متغیر وابسته دارد بقیه متغیرهای خطی رابطه مستقیم بر روی مصرف ویژه سوخت دارند به طوری که با افزایش هر کدام از این متغیرهای خطی (بیودیزل، سرعت و بار موتور) میزان مصرف ویژه سوخت افزایش می‌یابد. جملات مرتبه دوم بجز بیودیزل از لحاظ آماری در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار بوده به طوری که بار و سرعت موتور با یک تاثیر هم جهت و هم سو بر روی میزان مصرف ویژه سوخت وارد مدل شده‌اند. از میان عبارات متقابل p-value سرعت × بار کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد، بنابراین از لحاظ آماری در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار می‌باشد در نتیجه اعتبار لازم برای ورود به معادله پیش-بینی را دارند. بقیه عبارات تاثیر معنی‌داری بر روی مصرف ویژه سوخت ندارند بنابراین وارد مدل پیش‌بینی نمی‌شوند. مقدار ثابت مدل پیش‌بینی بر اساس طرح کد شده برای میزان مصرف ویژه سوخت ۲۳۴/۰۵ می‌باشد. مقادیر  $R^2$  و  $R^2$  تعدیل شده برای مدل پیش‌بینی به ترتیب ۸۷/۳۱٪ و ۹۱/۳۱٪ می‌باشد که نشان

می‌دهد مدل ارائه شده می‌تواند ۸۷/۳۱ درصد کل تغییرات مصرف ویژه سوخت را در شرایط مورد آزمایش تشریح و پیش-بینی کند.

$$SFC \quad (5)$$

$$= 223.3 - 0.0083S$$

$$- 0.315L + 0.5575B$$

$$+ 0.000027S^2$$

$$+ 0.01276L^2 - 0.001102SL$$

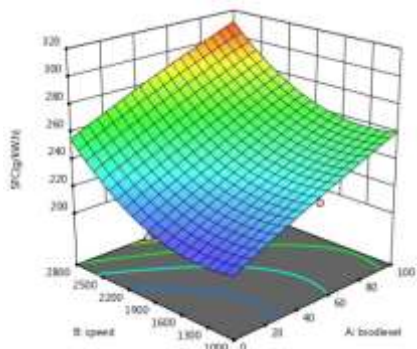
SFC بیانگر مصرف ویژه سوخت بر حسب (g/Kw.h)، B، نشان دهنده نسبت حجمی بیودیزل در مخلوط سوخت، S سرعت موتور بر حسب دور بر دقیقه و L بار موتور بر حسب درصد می‌باشد.

تاثیر بار موتور بر روی مصرف ویژه سوخت در شکل ۶ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، با افزایش بار اعمالی به موتور مصرف ویژه سوخت در سرعت‌های بالا و میانه کاهش می‌یابد. زمانی که بار موتور افزایش می‌یابد میزان افزایش توان ترمزی بسیار بالاتر از مصرف سوخت می‌باشد. همچنین افزایش دمای سیلندر (افزایش فشار) با افزایش بار اعمالی به

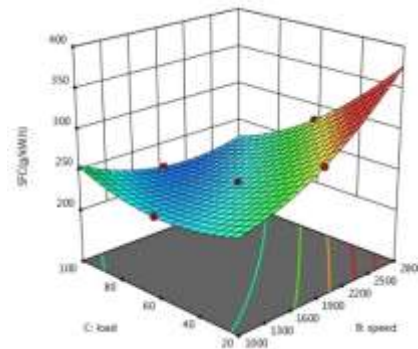
بالا با افزایش سرعت موتور به دلیل افزایش نسبت هوا به سوخت مصرف سوخت تا سرعت‌های میانه کاهش می‌یابد، اما در سرعت‌های بالا به دلیل کاهش بازده حجمی مصرف سوخت افزایش می‌یابد (۱۵).

با توجه به شکل ۶ (ب) با افزایش درصد حجمی بیودیزل در سوخت اختلاط یافته، میزان مصرف ویژه سوخت ترمزی به دلیل پایین بودن ارزش گرمایی این سوخت نسبت به سوخت دیزل و همچنین بالا بودن گرانشی و چگالی این سوخت نسبت به سوخت دیزل موجب افزایش مصرف ویژه سوخت می‌گردد (۱۶).

موتور به‌ویژه در بارهای بالا از عوامل کاهش مصرف ویژه سوخت با افزایش بار موتور می‌باشند. تبدیل انرژی گرمایی به کار مکانیکی با افزایش دمای احتراق افزایش می‌یابد، بنابراین منجر به کاهش مصرف ویژه سوخت با افزایش بار می‌گردد (۱۳، ۱۴). با افزایش سرعت موتور میزان مصرف ویژه سوخت در بارهای پایین افزایش و در بارهای میانه و بالا (با افزایش بار) ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد. علت این امر ممکن است به این خاطر باشد که در بارهای پایین با افزایش سرعت موتور میزان مصرف سوخت بیشتر از توان ترمزی موتور می‌باشد و در بارهای میانه و



(ب)



(الف)

شکل ۶- نقشه سه بعدی (شکل الف) تاثیر متغیرهای بار و سرعت موتور و نقشه سه بعدی (شکل ب) تاثیر متغیرهای

#### درصد بیودیزل و سرعت بر روی مصرف سوخت ویژه برای سوخت D50B50

Figure 6. Three-dimensional map (Fig. A) Impact of load variables and engine speed and 3D map (Fig.B) Impact of biodiesel percent and speed variables on specific fuel consumption for fuel D50B50

#### بهینه‌سازی مصرف ویژه سوخت

بر اساس نتایج بدست آمده کمترین میزان مصرف ویژه سوخت ترمزی موتور در حالت بار کامل و در سرعت دورانی ۲۳۲۳ دور بر دقیقه و برای سوخت دیزل خالص (D100B0) اتفاق می‌افتد. همچنین بیشترین میزان مصرف ویژه سوخت در بار اعمالی ۶۷ درصد موتور و سرعت دورانی ۲۸۰۰ دور بر دقیقه برای سوخت بیودیزل خالص (D0B100) و به مقدار ۳۰۴ گرم بر کیلو وات ساعت رخ می‌دهد.

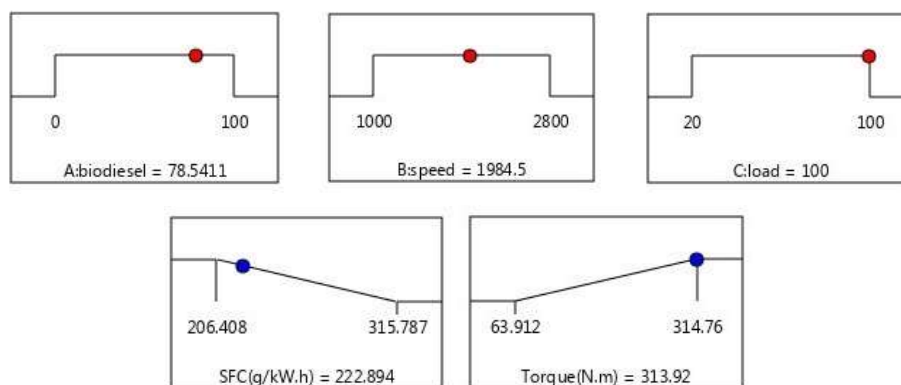
#### بیشینه‌کردن پارامتر عملکردی و کمینه‌کردن مشخصه اقتصادی

شکل (۷) بهینه‌سازی به روش سطح پاسخ را برای پیدا کردن نقاط بهینه متغیرهای مستقل به منظور بیشینه کردن مشخصه‌های گشتاور موتور و همچنین کمینه کردن مصرف ویژه سوخت را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل (۷) مشاهده می‌شود در سرعت دورانی ۱۹۸۴ دور بر دقیقه و بار اعمالی ۱۰۰ درصد موتور و برای ترکیب سوختی D22 B78، حالت بهینه مورد نظر و با مطلوبیت ۹۱ درصد اتفاق می‌افتد که در این شرایط بهینه میزان توان ترمزی ۶۶/۱۹ کیلووات، گشتاور ۳۱۳/۹۲ نیوتن متر، مصرف ویژه سوخت ۲۲۲/۸ گرم بر کیلووات و درصد می‌باشد.

## جدول ۵ - مشخصات بهینه سازی پارامترهای عملکردی و اقتصادی

Table 5. Optimization of performance and economic parameters specifications

Optimal		Biodiesel	Speed (%)	Load (%)
D : ۰/۹۶	High	۱۰۰	۲۸۰۰	۱۰۰
	Cur	۷۸/۵۴	۱۹۸۴/۵	۱۰۰
	Low	۰	۱۰۰۰	۲۰



## شکل ۷- بهینه سازی پارامترهای عملکردی و اقتصادی

Figure 7. Optimization of performance and economic parameters

## نتایج

درصد) اتفاق افتاد. از بین متغیرهای مستقل مشخصه بار موتور بیشترین میزان تاثیر را بر روی گشتاور موتور داشت. با افزایش بار اعمالی به موتور مصرف ویژه سوخت در تمام اختلاطهای سوختی کاهش یافت. با افزایش میزان بیودیزل در سوخت اختلاط یافته، مصرف ویژه سوخت ترمزی نسبت به سوخت دیزل افزایش پیدا کرد به طوری که کمترین میزان مصرف ویژه سوخت ترمزی موتور در حالت بار کامل و در سرعت دورانی ۲۳۲۳ دور بر دقیقه و برای سوخت گازوئیل خالص رخ داد. نتایج حاصل از بهینه‌سازی چند هدفه به منظور بهینه‌سازی کردن مشخصه‌گشتاور موتور و همچنین کمینه کردن مصرف ویژه سوخت نشان داد که در سرعت دورانی ۱۹۸۴ دور بر دقیقه و بار اعمالی ۱۰۰ درصد موتور و برای ترکیب سوختی D<sub>22</sub>B<sub>78</sub>، حالت بهینه مورد نظر و با مطلوبیت ۹۱ درصد اتفاق افتاد. در سرعت دورانی ۲۰۰۰ دور بر دقیقه و بار اعمالی ۱۰۰ درصد موتور و برای ترکیب سوختی D<sub>30</sub>B<sub>60</sub>، مشخصه‌های عملکردی بیشترین مقدار و مشخصه مصرف سوخت ویژه کمترین میزان را به خود اختصاص دادند.

در این تحقیق به بررسی امکان استفاده از اختلاط مختلف سوخت‌های دیزل-بیودیزل در موتور دیزل پرداخته شد و تاثیر بار و سرعت موتور و همچنین نسبت‌های حجمی مختلف اختلاط سوخت‌های دیزل، بیودیزل بر روی مشخصه‌های عملکردی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج ذیل به دست آمد؛

مدل‌های درجه دوم پیش‌بینی، برای تمام مشخصه‌های عملکردی از نظر آماری در سطح یک درصد معنی‌دار شناخته شد، به طوری که متغیرهای مستقل بار، سرعت موتور و نسبت‌های حجمی مختلف بیودیزل در سوخت اختلاط یافته به خوبی توانستند تغییرات متغیرهای وابسته (سطوح پاسخ) را پیش‌بینی کنند. با افزایش بار اعمالی به موتور، گشتاور ترمزی ایجاد شده موتور افزایش یافت همچنین با افزایش درصد حجمی بیودیزل در سوخت ترکیبی گشتاور ترمزی موتور نسبت به سوخت دیزل در تمام شرایط کاری موتور کاهش یافت. بیشترین میزان گشتاور ۳۱۵/۵۵ نیوتن متر بدست آمد که برای سوخت D<sub>36</sub>B<sub>64</sub> و در سرعت ۱۶۸۳ دور بر دقیقه بار کامل (۱۰۰

8. Bavafa, M., M. Tabasizadeh, A. Farzad, B. Ghobadian, and H. Eshghi. 2014. Effect of poultry fat oil biodiesel on tractor engine performance. *Journal of Agricultural Machinery* 6 (1): 14-24.
9. M. Mohon, W. Wang, M. Alawi. 2014. Performance and emissions of a diesel engine fueled by biodiesel–diesel, biodiesel – diesel-additive and kerosene – biodiesel blends, *Energy Conversion and Management*, Vol. 84, pp. 164–173.
10. K. Sivaramakrishnan. 2018. Investigation on Performance and emission Characteristics of a Variable compression multi fuel engine fuelled with Karanja biodiesel-diesel blend, *Egyptian Journal of Petroleum*, Pages 177-186.
11. Myers RH, Montgomery DC. 2002. *Response Surface Methodology. Process and Product Optimization Using Designed Experiments*, 2nd ed.; John Wiley & Sons ,New York.
12. Castillo ED. 2007. *PROCESS OPTIMIZATION: A Statistical Approach*. New York: Springer.
13. Hulwan DB, Joshi SV. 2011. Performance, emission and combustion characteristic of a multicylinder DI diesel engine running on diesel–ethanol–biodiesel blends of high ethanol content. *Applied Energy* , 88 : 5042–5055.
14. Zhu L, Cheung CS, Zhang WG, Huang Zh. 2010. Emissions characteristics of a diesel engine operating on biodiesel and biodiesel blended with ethanol and methanol. *Science of the Total Environment* ,408 : 914–921.
15. Aydin H, Ilkilic C. 2010. Effect of ethanol blending with biodiesel on engine performance and exhaust

## Reference

1. Subbaiah, G. V., K. R. Gopal, and S. A. Hussain. 2010. The Effect of Biodiesel and Bioethanol Blended Diesel Fuel on the Performance and Emission Characteristics of a Direct Injection Diesel Engine. *Iranica Journal of Energy and Environment* , 3: 211-221
2. Noor, M.M. Mohd Noor, C.W. Mamat, R. 2018. Biodiesel as alternative fuel for marine diesel engine applications. A review pp. 127-142 .
3. Othman, M.F. Adam, A. Najafi, G. Mamat, R. 2017. Green fuel as alternative fuel for diesel engine: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 80, pp. 694-709 .
4. Nedayali A, Shirneshan A. 2010. Experimental study of the effects of biodiesel on the performance of a diesel power generator. *Energy Environ* ,27:553–65.
5. Shirneshan A, Almassi M, Ghobadian B, Borghei AM, Najafi G. 2016. Response surface methodology (RSM) based optimization of biodiesel-diesel blends and investigation of their effects on diesel engine operating conditions and emission characteristics. *Environ Eng Manage J* ,15:2771–80.[3]
6. Mustak R. 2018. Effect of Blending Various Biodiesels with Diesel on performance and Emissions of Diesel Engine. *An International Scientific journal* ,94:287-297
7. Mianzarasvand F, Shirneshan A, Afrand M. 2017. Effect of electrically heated catalytic converter on emission characteristic of a motorcycle engine in cold-start conditions: CFD simulation and kinetic study. *Appl Therm Eng* , 127:453–64.

and emissions of waste edible oil biodiesel in diesel engine. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 23:350–365.

emissions in a CI engine. *Applied Thermal Engineering*, 30: 1199–1204.

16. Xue J. 2013. Combustion characteristics, engine performances