

Evaluating the Performance and Emissions of Tractor Engine under the Influence from Diesetrol Fuel

SHAHIN RAFIEE^{1*}, ZEINAB SHABANI², BARAT GHOBADIAN³

1. Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

3. Department of Mechanical and Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

(Received: June 24, 2020- Revised: July 24, 2020- Accepted: July 29, 2020)

ABSTRACT

The declining global oil resources and increasing environmental problems are exacerbating the need to use other fuel sources to replace diesel and gasoline. Biodiesel is a fuel from vegetable oils or animal fats. Biodiesel is a fuel from vegetable oils or animal fats. The aim of this study was to evaluate the application of diesetrol fuel on the performance and pollution of the Massey Ferguson (MF-399) tractor engine. To evaluate the performance and pollution of the MF-399 tractor engine, distrol fuel was used in this study. Disterol is a mixture of diesel fuel and methyl ester of vegetable oil called biodiesel. Independent variables include the percentage of biodiesel, the percentage of ethanol and the PTO speed, and the dependent variables include torque, SFC, HC, NOx, CO, and CO2. For this purpose, biodiesel fuel was produced from castor oil using a transesterification reaction and its important features were matched with the ASTM D6751-09 standard. The performance of the tractor engine emissions using 5 to 15% of biodiesel fuel compounds, 2 to 6% of ethanol and diesel fuel were tested and evaluated. The results showed that the distance had a significant effect on all dependent variables, and the percentage of ethanol was effective only on the production of torque, and the percentage of biodiesel was effective on specific fuel consumption and production of carbon monoxide and carbon dioxide. NOx produced by the engine for the PTO speed and percentage of biodiesel (950 rmp, 15%) and (1000 rmp, 5%) were 2490 and 1198 ppm, respectively, which showed a decrease of 51%.

Keywords: Diesetrol fuel, Performance and emissions, NOx, MF-399 tractor

ارزیابی عملکرد و آلاینده‌گی موتور تحت تاثیر سوخت دیسترویل

شاهین رفیعی^{۱*}، زینب شعبانی^۱، برات قبادیان^۲

۱. گروه مهندسی مکانیک و بیوسیستم، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

۲. گروه مهندسی مکانیک و بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۴/۴ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۵/۳ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۵/۸

چکیده

کاهش روز افزون منابع نفتی جهان و افزایش مشکلات زیست محیطی، نیاز به استفاده از منابع سوختی دیگر به منظور جایگزینی دیزل و بنزین را تشدید می‌کند. بیودیزل، سوختی از روغن‌های گیاهی یا چربی حیوانی است. هدف از این تحقیق ارزیابی کاربرد سوخت دیسترویل بر عملکرد و آلاینده‌گی موتور تراکتور مسی فرگوسن (MF-399) می‌باشد. برای ارزیابی عملکرد و آلاینده‌گی موتور تراکتور MF-399، در این تحقیق از سوخت دیسترویل استفاده شد. متغیرهای مستقل شامل درصد بیودیزل، درصد اتانول و سرعت محور تواندهی و متغیرهای وابسته شامل گشتاور، مصرف‌ویژه سوخت، هیدروکربن‌های نسوخته، اکسیدهای نیتروژن، مونوکسید کربن و دی‌اکسید کربن می‌باشد. سوخت بیودیزل از روغن کرچک تولید گردید. عملکرد و آلاینده‌ها موتور با استفاده از ترکیبات بیودیزل، اتانول و دیزل به ترتیب ۵ تا ۱۵، ۲ تا ۶ و ۷۹ تا ۹۳ درصد ارزیابی شد. نتایج نشان داد که دور PTO بر روی کلیه متغیرهای وابسته ولی درصد اتانول فقط روی تولید گشتاور و درصد بیودیزل بر مصرف‌ویژه سوخت و تولید مونوکسید کربن و دی‌اکسید کربن (در سطح یک درصد) موثر بود. اکسیدهای نیتروژن تولیدی موتور برای ترکیب دور و بیودیزل (۹۵۰ rpm، ۱۵٪) و (۱۰۰۰ rpm، ۵٪) به ترتیب ۲۴۹۰ ppm و ۱۱۹۸ بود که کاهش ۵۱٪ نشان داد.

واژه‌های کلیدی: سوخت دیسترویل، عملکرد و آلاینده‌گی، اکسیدهای نیتروژن، تراکتور MF-399

مقدمه

به دلیل کاهش منابع نفتی جهان و افزایش مشکلات زیست محیطی، نیاز شدیدی برای استفاده از منابع سوختی دیگر به منظور جایگزینی دیزل و بنزین وجود دارد. بیودیزل، یک سوخت تجدیدپذیر است که در سال‌های اخیر به عنوان بهترین سوخت برای استفاده در موتورهای احتراق تراکمی بدون نیاز به اصلاحات عمده در آن‌ها در نظر گرفته شده است. از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۷، تولید بیودیزل از حدود ۰/۸ تا ۴ میلیارد لیتر افزایش یافت. در ابتدا روغن‌های گیاهی خوراکی مانند سویا، خردل و آفتابگردان مواد اولیه عمده بیودیزل بوده‌اند (Bindraban *et al.*, 2009). با توجه به جمعیت رو به رشد، استفاده از روغن‌های گیاهی خوراکی که یک منبع خوراکی می‌باشند کمتر توجیه دارد لذا رویکرد بایستی به سمت روغن‌های گیاهی غیر خوراکی از قبیل دانه کرچک^۱ باشد. این روغن در دمای پایینی، نقطه کریستالی شدن و ریزش (کمترین دمایی که سوخت می‌تواند جریان یابد) دارد لذا

برای مناطق با زمستان‌های بسیار سرد مناسب است. همچنین دانه‌های کرچک در حدود ۴۰ تا ۶۰ درصد روغن دارند و دارای گرانروی بالا است (Forero, 2005).

بیودیزل از نظر شیمیایی مخلوطی از متیل استر اسیدهای چرب زنجیره بلند است و اغلب از منابع زیستی و غیرسمی از قبیل روغن‌های گیاهی، چربی‌های حیوانی یا روغن پسماند تولید می‌شوند (Leung *et al.*, 2010).

با جایگزینی سوخت گازوئیل با سوخت بیودیزل و اتانول که ترکیباتی بدون گوگرد بوده و آلاینده‌های کمتری تولید می‌کنند، می‌توان سهم سوخت گازوئیل در انتشار آلاینده‌ها را کاهش داد. با فرض اینکه استفاده از بیودیزل و اتانول باعث حداقل ۱۰٪ کاهش آلاینده NO_x شود، با توجه به اینکه میزان انتشار آلاینده NO_x در بخش کشاورزی در سال ۹۱ برابر ۶۰۹۰۰ تن بوده است، می‌توان با جایگزینی سوخت‌های تجدیدپذیر، شاهد کاهش انتشار آلاینده NO_x بود (Anonymous, 2012).

نسوخته حدود ۱۶٪ کاهش و دی‌اکسیدکربن در حدود ۱۸٪ توسط تمام مخلوط‌ها افزایش می‌یابد (Nematizadeh, 2011). در تحقیقی در سال ۲۰۱۰، تأثیر سوخت بیودیزل حاصل از روغن پسماند رستوران روی عملکرد موتور تراکتور MF-399 با استفاده از ترکیبات ۵ تا ۲۵٪ از بیودیزل و دیزل بررسی شد. آزمایش‌ها نشان داد که با استفاده از ترکیبات سوخت بیودیزل و دیزل، توان و گشتاور موتور تراکتور افزایش می‌یابد که علت آن به‌سوزی بیودیزل به دلیل اکسیژن‌دار بودن آن است. مصرف ویژه سوخت تراکتور به دلیل ارزش حرارتی پایین بیودیزل اندکی افزایش یافت. ترکیب B5 دارای بهترین عملکرد و کمترین افزایش مصرف ویژه سوخت بود (Zenozi et al., 2010).

در پژوهشی در سال ۲۰۱۱، ترکیبات مختلف از بیودیزل و دیزل را روی موتور تراکتور ۲ سیلندر Kubota معمولی آزمایش کردند. نتایج نشان داد که سوخت B20، B25 عملکرد بهتری از دیزل خالص از نظر توان و گشتاور دارد. سوخت B25 در سرعت‌های بالاتر از ۱۸۰۰ دور بر دقیقه بهتر از سوخت B20 بود ولی مقدار انتشار گازهای آلاینده مخصوصاً دی‌اکسید کربن، در این حالت به طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از سوخت B25 است. با افزودن بیودیزل به دیزل میزان لرزش موتور افزایش یافت که به علت احتراق ناقص و ضربه در نسبت‌های بالای بیودیزل می‌باشد. علت این امر رسوبات روی انژکتور سوخت می‌باشد. مصرف سوخت با اضافه کردن بیودیزل افزایش می‌یابد زیرا محتوای انرژی به ازای هر واحد حجم بیودیزل در مقایسه با دیزل خالص کمتر می‌باشد (Manorathna & Nanayakkara, 2011).

در سال ۲۰۱۰ از روغن سبوس برنج به عنوان یک ماده افزودنی به ترکیب سوخت دیزل-اتانول برای موتور دیزل استفاده شد. عملکرد و دود آگزوز در موتور دیزل پاشش مستقیم زمانیکه از سوخت دیزل معمولی، بیودیزل روغن سبوس برنج، یک ترکیب دیزل و بیودیزل روغن سبوس برنج و سه ترکیب دیزل-بیودیزل-اتانول استفاده می‌شد، روی کل دامنه بار موتور مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمایش نشان داد که بالاترین بازده حرارتی در ۱۵٪ اتانول در ترکیب دیزل-بیودیزل-اتانول مشاهده شد. درجه حرارت دود آگزوز و شدت صوت از موتور با افزایش درصد اتانول در ترکیب دیزل-بیودیزل-اتانول کاهش می‌یابد. مونوکسیدکربن و دود به طور قابل ملاحظه‌ای با درصد بالاتر اتانول در ترکیب کاهش یافت. اکسیژن به‌کار نرفته با ۵٪ اتانول در ترکیب کمتر از سوخت دیزل بود. هیدروکربن‌ها، اکسید نیتروژن و دی‌اکسید کربن با افزایش درصد اتانول در ترکیب افزایش یافت اما میزان هیدروکربن‌ها هنوز کمتر از دیزل بود (Subbaiah et al., 2010).

علاوه بر شباهت زیاد ویژگی‌های سوخت بیودیزل با دیزل همچون بازده انرژی بالا، تجدیدپذیری آن باعث شده که طرفداران زیادی پیدا کند. در بیودیزل ترکیبات گوگرد و حلقوی (آروماتیک)^۱ وجود ندارد و در احتراق آن نقش مونوکسید کربن، هیدروکربن و ذرات کم است (Carraretto et al., 2004). آلاینده‌های خروجی کمتر، روغنکاری موتور، ویژگی غیرسمی و تجدیدپذیر بودن از مزایای بیودیزل است (Raslavičius, 2009). معایب بیودیزل هزینه بالای تولید (به علت هزینه بالای روغن گیاهی) گرانی بالا، فراریت کم و ارزش حرارتی پایین در مقایسه با دیزل است می‌باشد (Kannan & Anand, 2011).

در سال ۲۰۱۳ از سوخت دیسترویل در موتور دیزل پراکینز استفاده شد و اثرات نوع سوخت و دور موتور بر توان، گشتاور و مصرف سوخت بررسی شد. آنالیز واریانس نشان داد که دور موتور و نوع سوخت اثر معنی‌داری بر توان، گشتاور و مصرف سوخت در سطح احتمال ۱٪ دارند (Hassan-beygi et al, 2013).

در پژوهشی در سال ۲۰۱۰ از مخلوط‌های سوخت دیزل و اتانول با درصدهای حجمی ۵ و ۱۰ درصد در یک موتور دیزل تک سیلندر استفاده شد. نتایج نشان داد که با افزایش درصد حجمی اتانول، مقدار اکسیدهای نیتروژن افزایش یافت ولی مقادیر هیدروکربن و مونوکسیدکربن کاهش یافتند (Sayin, 2010). در تحقیقی که در سال ۲۰۱۱ انجام شد، یک موتور چهار سیلندر پاشش مستقیم با استفاده از سوخت دیزل و ترکیب آن با اتانول با درصدهای ۱۰ و ۲۰ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آلاینده‌های موتور نشان داد که مقدار NO_x وابسته به مقدار بار وارده به موتور می‌باشد. بدین صورت که با افزایش بار موتور مقدار NO_x نیز افزایش می‌یابد، اما در بارهای پایین، مقدار NO_x کمتر می‌شود، ولی برای HC، CO، این مسئله صادق نبود و با افزایش اتانول در ترکیب سوخت این مقادیر افزایش یافتند (Park et al., 2011).

در سال ۲۰۰۹ از سوخت دیسترویل در موتور دیزل استفاده شد. گرانی مخلوط سوخت با افزایش مقدار بیواتانول، کاهش یافت. محققین گزارش دادند که میزان تولید آلاینده‌هایی از قبیل CO، HC و NO_x در سوخت دیسترویل کمتر از دیزل می‌باشد (Rahimi et al., 2009). عملکرد و آلاینده‌های موتور تراکتور MF-399 در سال ۲۰۱۱ با استفاده از مخلوط‌های ۲۰ تا ۱۰۰ درصد حجمی از سوخت دیزل و بیودیزل مورد آزمایش و ارزیابی قرار گرفت. نتایج آزمایش نشان داد که با استفاده از مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل، توان و گشتاور موتور به طور تقریبی ثابت مانده، در حالی‌که مصرف سوخت و مصرف ویژه سوخت آن افزایش می‌یابد. از طرفی دیگر انتشار آلاینده‌های هیدروکربن

برای تحلیل احتراق، عملکرد و آلاینده‌گی موتور دیزل با استفاده از ترکیب بیودیزل-دیزل-اتانول، تحقیقی در سال ۲۰۱۱ انجام گرفت. ۱۱ سوخت دیسترویل بر اساس اختلاط خوب، ارزش حرارتی و پایداری در حرارت ۱۰ تا ۴۰ درجه سلسیوس انتخاب شد. موتور در بارهای مختلف در سرعت ۱۵۰۰ دور بر دقیقه آزمایش شد. نتایج نشان داد حداکثر نسبت اتلاف حرارت سوخت دیسترویل ۷/۵٪ کمتر از سوخت دیزل است در حالی که فشار گاز سیلندر به طور تقریبی نزدیک به سوخت دیزل در شرایط بار ۱۰۰٪ می‌باشد. تأخیر اشتعال کوتاهتر با سوخت دیسترویل شامل ۳۰٪ بیودیزل، ۶۰٪ دیزل و ۱۰٪ اتانول مشاهده شد. ماکزیمم بازده حرارتی ۲۹/۹۱٪ برای سوخت دیسترویل مشاهده شد. میزان اکسید نیتروژن و دود حاصل از سوخت دیسترویل کمتر از سوخت دیزل در همه شرایط بار بود (Kannan & Anand, 2011).

در تحقیقی در سال ۲۰۰۹، از روغن کرچک بومی پاکستان به عنوان بیودیزل در موتور دیزل به صورت مخلوط ۱۰٪ با دیزل استفاده شد. نتایج نشان داد که این سوخت باعث کاهش آلودگی می‌شود ولی میزان دی‌اکسیدکربن و اکسیدهای نیتروژن افزایش یافت. توان و گشتاور ترمزی به علت پایین بودن ارزش حرارتی بیودیزل کمتر از سوخت دیزل خالص بود ولی بالاتر بودن نقطه اشتعال بین ترکیب سوخت نسبت به دیزل باعث بیشتر شدن دمای آگزوز شد. به طور کلی از نظر عملکرد بیودیزل روغن کرچک (روغن غیرخوراکی که در حاشیه زمین‌های پاکستان رشد می‌کند) بهتر از روغن کلزا (روغن خوراکی گران) است و نسبت‌های بالاتر این بیودیزل برای آزمایش‌های آینده توصیه می‌شود (Harun and Ali, 2009).

در سال ۲۰۰۹ تحقیقی از روغن گیاهی غیرخوراکی کرچک در ترکیب با دیزل در یک موتور دیزل تک سیلندر چهار زمانه در ۱۵۰۰ دور بر دقیقه با بارهای مختلف آزمایش شد. نتایج نشان داد که این سوخت دارای عملکرد کمتر و آلودگی بیشتر به دلیل پایین بودن ارزش حرارتی روغن کرچک، گرانروی بالا و تأخیر احتراق می‌باشد. ترکیب ۲۵٪ روغن کرچک و ۷۵٪ دیزل بهترین نسبت برای استفاده در موتور دیزل بود که نیازی به گرم کردن سوخت قبل از ورود به محفظه احتراق نداشت. بنابراین روغن کرچک می‌تواند به عنوان سوخت با هزینه کم استفاده شود و باعث کاهش وابستگی به واردات نفت هند شود (Naga Prasad et al., 2009).

در سال ۲۰۱۱ روی روغن کرچک به عنوان بیودیزل تحقیقی انجام شد. گرانروی بیودیزل روغن کرچک بالا است و بنابراین با دیزل ترکیب شد تا در محدوده استاندارد ASTM قرار گیرد. نتایج نشان داد که گشتاور خروجی، مصرف سوخت و

ترکیب سوخت نزدیک به دیزل خالص بوده، بنابراین می‌تواند به عنوان سوخت جایگزین در نظر گرفته شود و در سال ۲۰۱۱ نیز اثرات ترکیب روغن کرچک، بوتانول و دیزل بر عملکرد موتور، احتراق و آلاینده‌گی بررسی شد (Bello and Mekanju, 2011; Lujaji et al., 2011).

عملکرد و آلودگی حاصل از ترکیب سوخت دیزل-بیودیزل-اتانول نسبت به دیزل در موتور در سال ۲۰۱۰ بررسی شد. افزایش در مصرف ویژه سوخت ترمزی مشاهده شد. حداکثر ۳۲/۴٪ کاهش در بازده حرارتی ترمزی و حداکثر ۲۱/۷٪ کاهش در میزان مونوکسیدکربن در بارهای پایین موتور و حداکثر ۵۹٪ افزایش در دی‌اکسیدکربن در بارهای بالا مشاهده شد. میزان اکسید نیتروژن اندکی افزایش یافت مخصوصاً در بارهای جزئی و بالا، همچنین میزان هیدروکربن و دود در همه بارهای موتور کاهش یافت (Barabas et al., 2010).

اثر ترکیب ۳۰٪ بیودیزل روغن پسماند، ۶۰٪ دیزل و ۱۰٪ اتانول (دیسترویل) را بر روی موتور دیزل در تحقیق در سال ۲۰۱۱ بررسی شد. حداکثر بازده ترمزی ۳۱/۳٪ در فشار پاشش ۲۴۰ بار و زمان پاشش BTDC ۲۵/۵ به دست آمد. دیسترویل در مقایسه با دیزل، در مونوکسیدکربن، دی‌اکسیدکربن و دود به ترتیب به میزان ۳۳٪، ۶/۳٪ و ۲۷/۳٪ کاهش نشان داد. دیسترویل میزان اکسید نیتروژن را ۴/۳٪ کاهش داد ولی اندکی باعث افزایش هیدروکربن نسوخته شد. دیسترویل فشار گاز سیلندر و نسبت اتلاف حرارتی بالاتری نسبت به دیزل دارد. حداقل تأخیر اشتعال CA ۱۲/۷ برای سوخت دیسترویل مشاهده شد که شبیه سوخت دیزل در شرایط مشابه بود (Kannan & Anand, 2011).

در سال ۲۰۰۹ در تحقیقی، از ترکیب ۸۵٪ دیزل، ۱۰٪ روغن پالم و ۵٪ بوتانول به عنوان سوخت استفاده شد که نشان داد ویژگی‌های سوخت را بهبود می‌بخشد (Chotwchien et al., 2009). در تحقیقی که در سال ۲۰۱۹ انجام شد، تأثیر سطوح مختلف مخلوط بیودیزل و اتانول با دیزل بر روی بار و سرعت موتور، طرح آزمایش‌ها به صورت کامپوزیت مرکزی با استفاده از روش سطح پاسخ انجام شد که نتایج نشان داد که افزایش درصد بیودیزل و یا اتانول در مخلوط سوخت باعث کاهش قدرت ترمز موتور می‌شود. بیشترین مقدار قدرت ترمزی موتور در شرایط دیزل خالص، بار موتور ۱۰۰٪ (بار کامل) و سرعت موتور ۲۸۰۰ دور در دقیقه رخ داده است (Khoobakht et al., 2019).

در پژوهشی، از روغن زیتون تلخ با روش ترانس‌استریفیکاسیون برای تولید بیودیزل استفاده و خصوصیات فیزیکی و حرارتی آن با سوخت معمولی دیزل مقایسه شد. نتایج این بررسی نشان داد که با افزایش درصد حجمی بیودیزل در

استفاده شد. سوخت اتانول مورد نیاز از شرکت بیدستان قزوین و با درجه خلوص ۹۹/۶ درصد تهیه گردید (Shabani et al., 2014). پس از تولید سوخت بیودیزل به روش ترانس-استریفیکاسیون، برخی از ویژگی‌های مهم آن از قبیل چگالی، گرانشی دینامیک، گرانشی سینماتیک و نقطه اشتعال اندازه-گیری شد و نتایج آن با استاندارد ASTM D6751-09 مطابقت داده شد (Alleman et al., 2016).

مشخصات موتور تحت آزمایش

در این تحقیق از تراکتور مدل MF-399 در کارگاه موتور و تراکتور دانشگاه تربیت مدرس، جهت انجام آزمایش‌ها استفاده شد. این تراکتور دارای دو نوع محور تواندهی است. سرعت استاندارد PTO با محور ۲۱ دنده، ۱۰۰۰ rpm در ۱۹۰۰ rpm موتور است و با محور ۶ دنده، ۵۴۰ rpm در دور ۱۸۹۳ rpm موتور می‌باشد. توان بیشینه این موتور ۱۱۰ اسب بخار (۸۲ کیلووات) و حداکثر توان PTO نیز به ۹۵ اسب بخار (۶۹/۹ کیلووات) می‌باشد که به میزان ۱۴/۷۵ درصد افت توان را در سامانه انتقال توان نشان می‌دهد. برای سنجش آلاینده‌های خروجی از موتور تراکتور تحت آزمایش از سوخت دیزل و مخلوط‌های سوخت دیسترویل از سامانه آلاینده‌سنج^۲ و از دستگاه آلاینده سنج MAHA مدل MGT5 ساخت کشور آلمان برای سنجش آلاینده‌های خروجی اگزوز تراکتور استفاده شد. برای اندازه‌گیری توان و گشتاور موتور تراکتور از دینامومتر NJ-Froment Σ5 و برای اندازه‌گیری مصرف سوخت از روش دستی استفاده شد. پس از اتصال دینامومتر به محور PTO تراکتور، توان، گشتاور، مصرف سوخت، آلاینده‌های تراکتور و ارتعاشات به طور همزمان برای سوخت‌های مختلف اندازه‌گیری شد.

آزمون‌ها در قالب یک آزمایش کوتاه مدت و با هدف ارائه مقایسه متغیرهای عملکردی و آلاینده‌های خروجی موتور بین مخلوط‌های مختلف سوخت دیسترویل انجام گرفت. متغیرهای تحت کنترل، بار اعمالی از طرف دینامومتر به موتور و نوع سخت دیسترویل بوده است. ماتریس آزمایش در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱. ماتریس متغیرهای مستقل برای ارزیابی عملکرد و آلاینده‌گی موتور

با سطوح آزمایش برای هر یک از متغیرها					
پارامتر (متغیرها) / سطوح	۱	۲	۳	۴	۵
دور محور تواندهی (rpm)	۸۰۰	۸۵۰	۹۰۰	۹۵۰	۱۰۰۰
درصد اتانول*	۲	۴	۶	-	-
درصد بیودیزل**	۵	۱۰	۱۵	-	-

* انتخاب سطح درصد اتانول براساس نتایج تحقیقات پیشین بوده است (Sayin, 2010; Chotwichien, et al., 2009)

** انتخاب سطح درصد بیودیزل براساس نتایج تحقیقات پیشین بوده است

سوخت دیزل مقدار فشار موثر متوسط ترمزی کاهش و مصرف سوخت ویژه ترمزی افزایش یافت. وقتی که بیودیزل خالص مورد استفاده قرار گرفت در مقایسه به دیزل خالص، مقدار مصرف سوخت ویژه ترمزی به مقدار ۶۸/۹ درصد افزایش و فشار موثر متوسط ترمزی به مقدار ۱۳/۴ درصد کاهش یافت (Jam et al., 2016).

در تحقیق حاضر، ترکیبات مختلف سوخت دیسترویل تولید شده از کرچک (مخلوط بیودیزل، اتانول و دیزل) در موتور دیزل مورد استفاده قرار گرفت و پارامترهای عملکرد و آلاینده‌ها اندازه-گیری شد و برای بررسی اثر نسبت‌های ترکیب سوخت‌های دیزل، بیودیزل و اتانول و بار موتور بر عملکرد و آلاینده‌گی موتور از آزمایش چند عاملی در قالب طرح بلوک کامل تصادفی مورد استفاده قرار گرفت.

مواد آزمایش

تولید سوخت بیودیزل

برای ارزیابی عملکرد و آلاینده‌گی موتور تراکتور MF-399، در این تحقیق از سوخت دیسترویل استفاده شد. دیسترویل عبارت است از مخلوطی از سوخت دیزل، متیل استر روغن گیاهی که بیودیزل نامیده می‌شود (Rahimi et al., 2009). برای تولید سوخت زیستی، ابتدا به روغن کرچک مخلوط الکل متانول (نسبت ۱:۶) و واکنشگر هیدروکسید پتاسیم (۶۰ گرم به ازای هر یک کیلوگرم روغن) اضافه گردید. با استفاده از هم‌زن که درون آن قرار گرفته مواد هم‌زده شده تا واکنش ترانس‌استریفیکاسیون صورت گیرد و بعد از حدود یک ساعت واکنش تمام می‌شود. سپس گلیسرین از استر جدا گردیده و استر باقی‌مانده توسط آبشویی، خالص‌سازی شد. در این فرآیند، گلیسرین به علت داشتن چگالی بالا شروع به ته‌نشین شدن نمود و در حدود سه تا چهار ساعت اول به طور تقریبی ۹۰٪ آن ته‌نشین گردید. البته زمان لازم برای تفکیک کامل گلیسرین از بیودیزل در حدود یک هفته به طول می‌انجامد. بعد از این مدت زمان، گلیسرین به راحتی توسط شیر تخلیه که در زیر ظرف جداسازی قرار دارد، تخلیه گردید. در نهایت استر خالص یا بیودیزل به دست آمد. متانول و مواد ترکیبی دیگر به دست آمده از آبشویی نیز وارد سامانه بازیافت متانول شده و در آنجا متانول خالص سازی شده تا بتوان دوباره از متانول استفاده کرد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی متیل‌استر بوسیله دستگاه کروماتوگرافی گازی^۱ تعیین شد. الکل مورد استفاده در تولید بیودیزل، متانول MERCK با خلوص ۹۹/۸ درصد می‌باشد. از واکنش‌گر هیدروکسید پتاسیم (پتاس) برای تسریع واکنش

(Berman, et al., 2011)

روابط گشتاور، توان و مصرف ویژه سوخت

مقدار گشتاور موجود در چرخ لنگر موتور از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$T = F \times R \quad (\text{رابطه ۱})$$

در این رابطه T ، گشتاور موتور در چرخ لنگر (نیوتن متر)؛ F ، برآیند نیروهای حاصل از احتراق و اینرسی قسمت‌های متحرک موتور (نیوتن) و R ، فاصله گریز از مرکز میل‌لنگ (طول دستک میل‌لنگ) (متر) می‌باشد.

توان از رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$P = \frac{2\pi TN}{60000} \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در آن P ، توان موتور در چرخ لنگر (کیلووات)؛ T ، گشتاور موجود در چرخ لنگر (نیوتن متر)؛ N ، دور موتور (دور بر دقیقه (rpm)) می‌باشد. مقدار مصرف ویژه سوخت از رابطه (۳) بدست می‌آید:

$$SFC(g/kWh) = \frac{M}{P} \quad (\text{رابطه ۳})$$

در این رابطه M ، برابر با آهنگ مصرف سوخت (گرم بر ساعت) و P ، توان تولیدی (کیلووات) می‌باشد. با توجه به اینکه مصرف سوخت بر حسب میلی‌لیتر بر ساعت اندازه‌گیری شد، رابطه (۳) به صورت معادله زیر بازنویسی می‌شود تا مقدار سوخت مصرف شده بر حسب میلی‌لیتر بر دقیقه جاگذاری شود. مقدار چگالی برای هر مخلوط سوخت دیسترویل متفاوت است لذا، برای هر مخلوط چگالی به‌وسیله دستگاه گرانونویسنج اندازه‌گیری شده و در رابطه جای‌گذاری شد.

(رابطه ۴)

$$SFC(g/kWh) = \frac{\text{توان} \times \text{چگالی} (g/cm^3) \times \text{مصرف ویژه سوخت} (ml/h)}{(kW)}$$

نتایج و بحث

تولید بیودیزل از روغن کرچک

ترکیبات اسیدهای چرب روغن کرچک بوسیله دستگاه GC اندازه‌گیری شده و در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲. ترکیب اسیدهای چرب روغن کرچک مورد استفاده در این مطالعه

ساختار	نوع اسید چرب	درصد اسید چرب	g/mol اسید چرب	g/mol در ترکیب
C16:0 (C ₁₆ H ₃₂ O ₂)	اسید پالمیتیک	۵/۱۶	۲۵۶/۴۲	۱۳/۲۳
C18:0 (C ₁₈ H ₃₆ O ₂)	اسید استئاریک	۶/۴۶	۲۸۴/۴۸	۱۸/۳۸
C18:1 (C ₁₈ H ₃₄ O ₂)	اسید اولئیک	۲/۳۲	۲۸۲/۴۶	۶/۵
C18:۲ (C ₁₈ H ₃₂ O ₂)	اسید لینولئیک	۱۹/۲۹	۲۸۰/۴۵	۵۴/۱
C18:۳ (C ₁₈ H ₃₀ O ₂)	اسید لینولنیک	۱/۵۱	۲۷۸/۴۳	۴/۲
C18:1-OH (C ₁₈ H ₃₄ O ₃)	اسید رایسینولیک	۶۵/۲۷	۲۹۸/۴۶	۱۹۴/۸
کل	-	۱۰۰	-	۲۹۱/۲۱

وزن یک مول روغن کرچک (گرم) = ۹۱۱/۶۳ = ۳۸ + (۳ × ۲۹۱/۲۱)

وابسته (گشتار، SFC، HC، NO_x، CO و CO₂)، حالتی انتخاب شده است که مقدار P-Value آنالیز انجام شده برای عاملی که به عنوان بلوک در نظر گرفته شده است بیشتر از ۵ درصد باشد.

جدول ۳. وضعیت‌های مختلف آزمایش چند عاملی در قالب بلوک طرح کامل

تصادفی برای ارزیابی عملکرد و آلاینده‌گی موتور		
حالت	بلوک	عامل
اول	درصد اتانول ^۱	دور محور توان‌دهی ^۲ و درصد بیودیزل ^۳
دوم	درصد بیودیزل	دور و درصد اتانول
سوم	دور	درصد اتانول و بیودیزل

^۱سطوح اتانول شامل ۲، ۴ و ۶ درصد حجمی

^۲سطوح دور محور توان‌دهی شامل ۸۰۰، ۸۵۰، ۹۰۰، ۹۵۰ و ۱۰۰۰ دور در دقیقه

^۳سطوح بیودیزل شامل ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد حجمی

اثر سوخت دیسترویل بر گشتاور موتور

با بررسی نتایج جدول تجزیه واریانس گشتاور موتور می‌توان دریافت که از سه حالت جدول سوم، حالت دوم مناسب‌ترین طرح

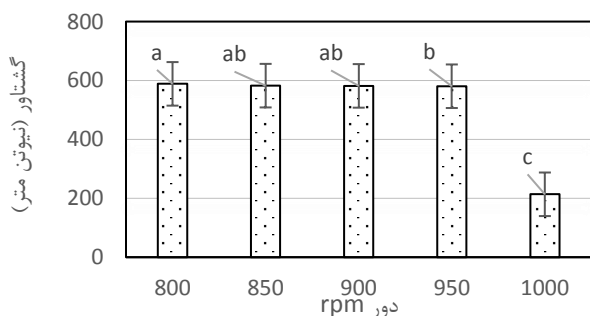
نتایج نشان می‌دهد در حدود ۶۵/۲۷٪ از روغن کرچک را اسید رایسینولیک تشکیل می‌دهد که مشابه نتایج محققین دیگر است (Berman et al., 2011). با توجه به اینکه درصد اسیدهای چرب آزاد روغن کرچک کمتر از ۲/۵ درصد است می‌توان از روش ترانس‌استریفیکاسیون بازی برای تولید بیودیزل استفاده کرد.

تولید بیودیزل به روش ترانس‌استریفیکاسیون بازی با نسبت مولی الکل به روغن ۶:۱ در حضور واکنش‌گر هیدروکسید پتاسیم به نسبت ۰/۰۶ گرم به ازای ۱ گرم روغن انجام شد. مدت آزمایش یک ساعت و دمای واکنش ۵۰ دقیقه بود (Berman et al., 2011).

تجزیه و تحلیل نتایج داده‌های آزمایشگاهی

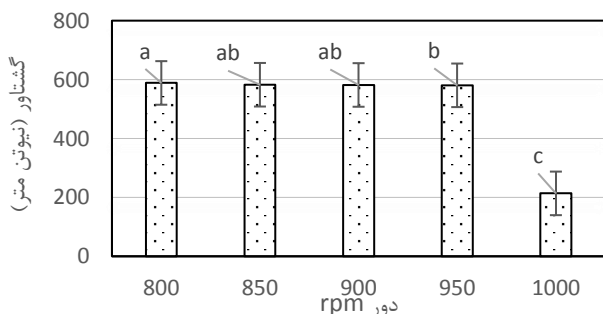
در جدول ۳ حالت‌های تجزیه و تحلیل داده‌ها نمایش داده شده است. پس از تجزیه واریانس هر حالت برای هر یک از متغیرهای

کردند (Bietresato et al., 2019). مطابق با شکل ۳، در دورهای ۸۰۰، ۸۵۰ و ۹۰۰، با افزایش درصد اتانول، گشتاور کاهش یافته و معمولاً در دور ثابت بین ۲ و ۶ درصد اتانول تفاوت معنی‌داری مشاهده می‌شود و ولیکن برای دورهای ۹۵۰ هر سه درصد اتانول در دسته b بود. ولیکن در ۱۰۰۰ دور در دقیقه دیگر درصد اتانول تاثیر ندارد و وجود اتانول در ترکیب سوخت موجب افت شدید بر گشتاور موتور شده است بطوری‌که گشتاور را از نزدیک به ۶۰۰ به ۲۰۰ نیوتن متر کاهش داده است. لذا توصیه می‌شود برای دستیابی به گشتاور مناسب در ترکیب با اتانول، محور تواندهی با دور کمتر از ۱۰۰۰ دور در دقیقه باشد. علت تغییرات گشتاور موتور در اثر خوب بر شدن سیلندر در مرحله تنفس است و در سرعت‌های خیلی بالا زمان تنفس کمتر بوده و در نتیجه سیلندر به خوبی پر نمی‌شود و متعاقب آن فشار تراکم و فشار احتراق کمتر شده و نیروهای اینرسی بخش‌های متحرک موتور بیشتر شده و در نهایت گشتاور واقعی موتور کاهش می‌یابد. منحنی گشتاور- دور در سرعت خاصی به مقدار بیشینه خود می‌رسد که به نوع موتور بستگی دارد (Zenozi, 2007). البته در دورهای ثابت بین ۲ و ۴ درصد اتانول تفاوت معنی‌دار نبوده است. این نتایج مطابق با نتایجی است که بلو و ماکانجو در استفاده از بیودیزل کرچک در ترکیب با دیزل در موتور گزارش کردند (Bello and Makanju, 2011).



شکل ۱- مقایسه میانگین گشتاور (نیوتن متر) در دورهای مختلف در مطالعه اثر سوخت دیسترویل بر عملکرد موتور

a, ab, b, c دسته‌بندی آماری (حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌داری با آزمون چند دامنه‌ای دانکن با سطح احتمال ۵٪ است).



شکل ۲- مقایسه میانگین گشتاور (نیوتن متر) در درصدهای مختلف اتانول در مطالعه اثر سوخت دیسترویل بر عملکرد موتور

آزمایش‌ها می‌باشد که بیودیزل به‌عنوان بلوک، معنی‌دار نشده و دور محور توان‌دهی و درصد اتانول معنی‌دار شده است. براساس آزمایش چند عاملی انجام شده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی که عامل دور محور توان‌دهی در پنج سطح (۸۰۰، ۸۵۰، ۹۰۰، ۹۵۰ و ۱۰۰۰ دور در دقیقه) و درصد اتانول (۲، ۴ و ۶) با سه تکرار درصد بیودیزل (۵، ۱۰ و ۱۵) اجرا شد که براساس نتایج بدست آمده دور و درصد اتانول بر گشتاور موتور اثر بسیار معنی‌داری داشته و مقدار P_Value هر دو عامل مقدارش از یک درصد کمتر می‌باشد (جدول ۴).

جدول ۴- تجزیه واریانس گشتاور موتور برای مطالعه اثر سوخت دیسترویل

براساس آزمایش چند عاملی در قالب طرح بلوک کامل تصادفی

حالت اول ^۱	^۲ F_Pvalue	^۳ SS	^۴ df
اتانول (بلوک)	۰/۰۰۶	۹۸۴۱۸۶	۱۴
دور	.	۹۸۳۹۶۲	۴
بیودیزل	۰/۱۹۷	۱۲۴/۵۸	۲
دور*بیودیزل	۰/۹۳۴	۱۰۰/۰۹	۸
خطای آزمایش	۱۰۱۱/۶۹		۲۸
کل	۹۸۵۶۴۲		۴۴
حالت دوم	F_Pvalue	SS	df
بیودیزل	۰/۱۰۶	۹۸۴۸۰۰	۱۴
دور	.	۹۸۳۹۶۲	۴
اتانول	۰/۰۰۱	۴۴۴/۳۱	۲
دور*اتانول	۰/۰۹۷	۳۹۳/۶۹	۸
خطای آزمایش	۷۱۸/۰۹		۲۸
کل	۹۸۵۶۴۲		۴۴
حالت سوم	F_Pvalue	SS	df
دور	.	۸۰۱/۹۱	۸
بیودیزل	۰/۱۲۰	۱۲۴/۵۸	۲
اتانول	۰/۰۰۱	۴۴۴/۳۱	۲
بیودیزل*اتانول	۰/۱۰۱	۳۳۳/۰۲	۴
خطای آزمایش	۸۷۸/۷۶		۳۲
کل	۹۸۵۶۴۲		۴۴

^۱حالت‌های مختلف در جدول ۳ توضیح داده شده است، ^۲درجه آزادی

^۳مجموع مربعات و ^۴مقدار احتمال براساس توزیع F

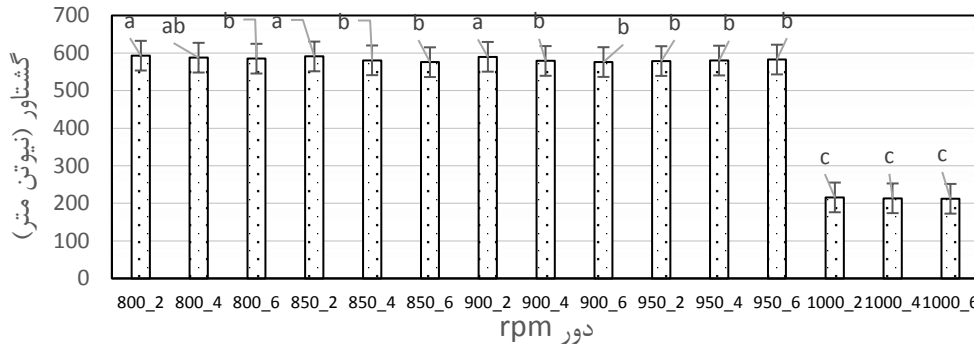
مقایسه میانگین گشتاور بر اثرات اصلی دور و درصد اتانول و اثر متقابل دور و درصد اتانول به ترتیب در شکل‌های یک تا سه نشان داده شده است. براساس شکل یک با افزایش دور، گشتاور کاهش یافته که منطقی می‌باشد زیرا اگر توان ثابت فرض شود با افزایش دور، گشتاور کاهش و بالعکس با کاهش دور، گشتاور افزایش می‌یابد. البته با افزایش دور به ۱۰۰۰ دور در دقیقه، افت شدید گشتاور مشاهده شد که نکته قابل توجه این است که با افزایش دور زمان برای احتراق کاهش یافته و عملکرد سوخت‌های زیستی کاهش می‌یابد. مطابق با شکل ۲ نیز می‌توان دریافت که با افزایش درصد اتانول، گشتاور موتور کاهش می‌یابد و تحلیل کامل‌تر را باید با مطالعه بر روی اثرات متقابل جستجو نمود، در سال ۲۰۱۹ بر عملکرد منفی افزایش اتانول بر گشتاور موتور تاکید

دور در پنج سطح (۸۰۰، ۸۵۰، ۹۰۰، ۹۵۰ و ۱۰۰۰ دور در دقیقه) و درصد بیودیزل (۵، ۱۰ و ۱۵) با سه تکرار درصد اتانول (۲، ۴ و ۶) اجرا شد که براساس نتایج بدست آمده دور محور توان‌دهی و درصد بیودیزل بر SFC اثر بسیار معنی‌داری داشته است (جدول ۵).

a, ab و b دسته‌بندی آماری (حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌داری با آزمون چند دامنه‌ای دانکن با سطح احتمال ۵٪ است).

اثر سوخت دیسترویل بر مصرف ویژه سوخت

برای تجزیه واریانس SFC، حالت اول مناسب بود براساس آزمایش چند عاملی انجام شده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی که عامل



شکل ۳ مقایسه میانگین گشتاور (نیوتن متر) در دورها و درصدهای مختلف اتانول در مطالعه اثر سوخت دیسترویل بر عملکرد موتور
a, ab, b و c دسته‌بندی آماری (حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌داری با آزمون چند دامنه‌ای دانکن با سطح احتمال ۵٪ است).

می‌یابد. چراکه با افزایش دور، زمان برای تزریق کاهش می‌یابد و از طرفی گرانی سوخت باعث افزایش اینرسی سوخت شده و در جمع موجب کاهش تزریق سوخت می‌گردد. در شکل ۵ نشان داده شده است که با افزایش درصد بیودیزل، مصرف سوخت کاهش می‌یابد که دلیلش افزایش گرانی سوخت می‌باشد. نتایج بدست آمده منطبق با تحقیق انجام شده توسط (Gharehghani *et al.*, 2017) می‌باشد. همچنین سینگ و ساندهو (Singh & Sandhu, 2020) نیز نتیجه مشابهی را گزارش دادند. اثر متقابل دور و درصد بیودیزل بر مصرف ویژه سوخت در شکل ۶ نمایش داده شده است. مطابق با شکل در دورهای ثابت مثلا ۸۰۰ دور با افزایش درصد بیودیزل مصرف ویژه سوخت کاهش یافته و در دور ۱۰۰۰ بعلاوه کاهش زمان برای تزریق سوخت از یک طرف و کاهش تزریق سوخت بعلاوه گرانی سوخت از طرف دیگر افت مصرف ویژه سوخت مشاهده شد که با توجه به شکل ۳، با کاهش گشتاور نیز همراه بوده است. در اکثر منابع گزارش شده است که مصرف ویژه سوخت دیزل نسبت به مخلوط‌های آن با بیودیزل و اتانول، به علت ارزش حرارتی پایین آنها (در نتیجه وجود اکسیژن در ترکیب این سوخت‌ها)، کمتر است (Rakopoulos *et al.*, 2008; Hassan-beygi *et al.*, 2012; Nematizadeh, 2011; Huang *et al.*, 2009) با توجه به اینکه توان تمامی مخلوط‌های سوختی در یک حد قرار داشت و همچنین به دلیل پایین بودن کیفیت دیزل مورد استفاده در این تحقیق، ارزش حرارتی پایین بیودیزل و اتانول اثری بر مصرف ویژه سوخت نداشته است. بلو و ماکانجو نیز با استفاده از

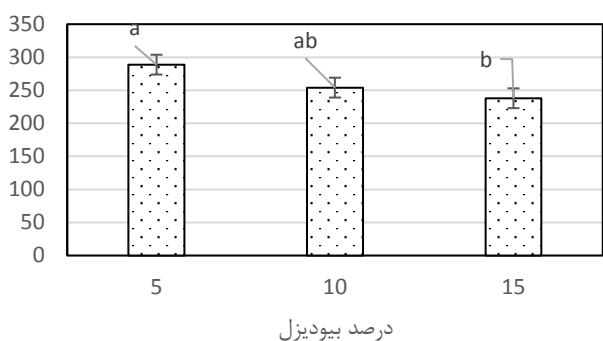
جدول ۱- تجزیه واریانس SFC برای مطالعه اثر سوخت دیسترویل بر اساس آزمایش چند عاملی در قالب طرح بلوک کامل تصادفی

حالت اول	F_{Pvalue}	SS	df
اتانول (تکرار)	۰/۴۸۸۹	۱۴۵۹/۴	۲
دور	۰/۰۳۷۲	۱۰۴۳۹	۴
بیودیزل	۰/۰۰۰۱	۲۰۲۶۴	۲
دور*بیودیزل	۰/۰۰۰۸	۲۷۴۲۰/۸	۸
خطای آزمایش		۲۸۵۴۷	۲۸
کل		۸۸۱۳۱	۴۴
حالت دوم	F_Pvalue	SS	df
بیودیزل (تکرار)	۰/۰۰۲۴	۲۰۲۶۴	۲
دور	۰/۱۸۳۳	۱۰۴۳۹	۴
اتانول	۰/۶۴۷۳	۱۴۵۹/۴	۲
دور*اتانول	۰/۷۱۴	۹۰۴۴/۰	۸
خطای آزمایش		۴۶۹۲۳	۲۸
کل		۸۸۱۳۱	۴۴
حالت سوم	F_Pvalue	SS	df
دور (تکرار)	۰/۱۶۳۶	۱۰۴۳۹	۴
بیودیزل	۰/۰۰۱۸	۲۰۲۶۴	۲
اتانول	۰/۶۳۳۹	۱۴۵۹/۴	۲
بیودیزل*اتانول	۰/۵۵۹۳	۴۷۸۶/۸	۴
خطای آزمایش		۵۱۱۸۰	۲۲
کل		۸۸۱۳۱	۴۴

۱ حالت‌های مختلف در جدول ۳ توضیح داده شده است، ۲ درجه آزادی

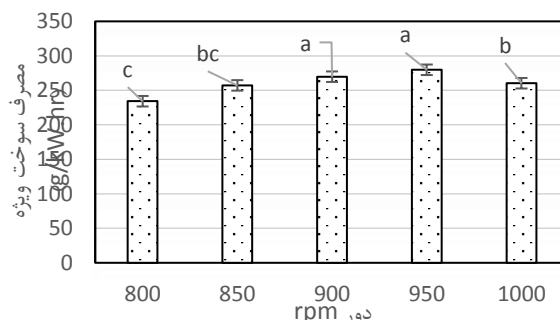
۳ مجموع مربعات و ۴ مقدار احتمال بر اساس توزیع F

منحنی تغییرات سوخت ویژه مخلوط‌های مختلف سوخت دیسترویل نسبت به دور محور توان‌دهی در شکل ۴ نشان داده شده است. نمودار نشان می‌دهد با افزایش دور تا ۹۵۰ دور بر دقیقه مصرف ویژه سوخت افزایش و سپس در دور ۱۰۰۰ کمی کاهش

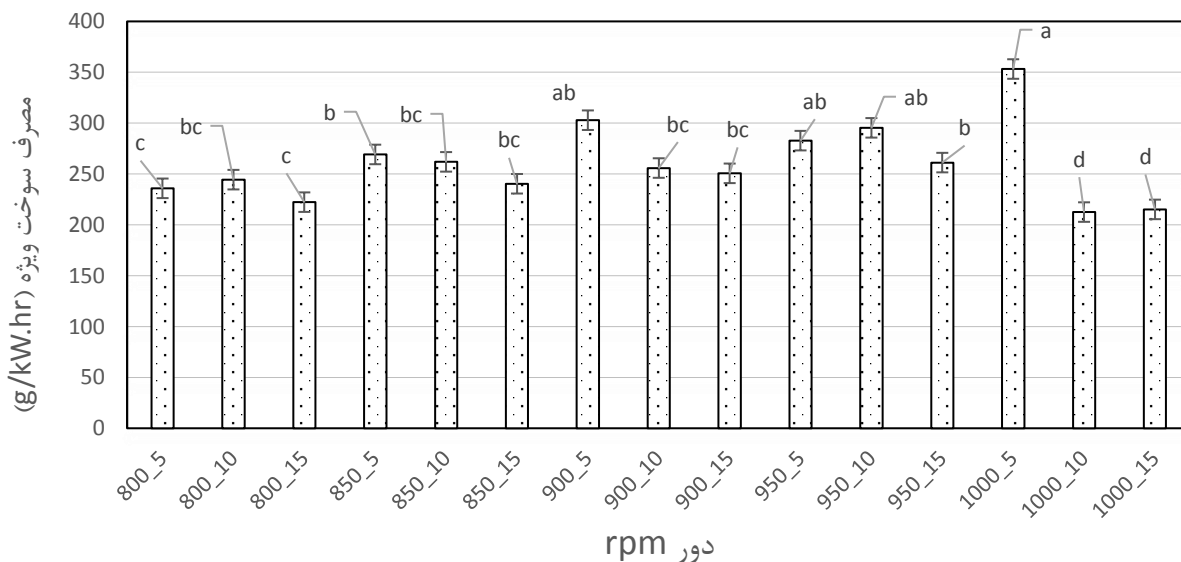


شکل ۵. مقایسه میانگین مصرف ویژه سوخت (SFC) در درصد بیودیزل در مطالعه اثر سوخت دیسترویل بر عملکرد موتور
a, ab, b دسته‌بندی آماری (حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌داری با آزمون چند دامنه‌ای دانکن با سطح احتمال ۵٪ است).

بیودیزل روغن کرچک به نتایج مشابه رسیدند (Bello and Makanju, 2011).



شکل ۴. مقایسه میانگین مصرف ویژه سوخت (SFC) در دورهای مختلف در مطالعه اثر سوخت دیسترویل بر عملکرد موتور
a, ab, b, c و دسته‌بندی آماری (حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌داری با آزمون چند دامنه‌ای دانکن با سطح احتمال ۵٪ است).



شکل ۶. مقایسه میانگین مصرف ویژه سوخت در دورهای و درصدهای مختلف بیودیزل در مطالعه اثر سوخت دیسترویل بر عملکرد موتور
a, ab, bc, c, d و دسته‌بندی آماری (حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌داری با آزمون چند دامنه‌ای دانکن با سطح احتمال ۵٪ است).

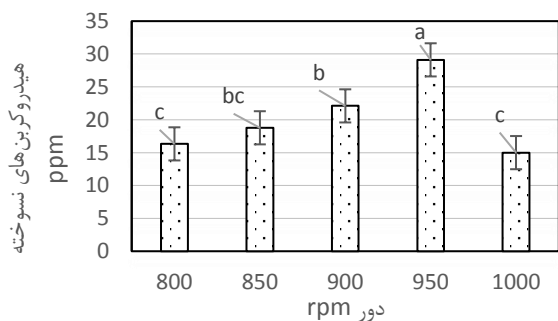
تولید آلاینده هیدروکربن به صورت عمده به دلیل احتراق ناقص است. با استفاده از بیودیزل به دلیل عواملی از قبیل محتوای اکسیژن، عدد ستان بالاتر بیودیزل، احتراق پیش از موقع (ادونس)، افزایش طول زنجیره روغن بیودیزل و سطح روغن اشباع استر، هیدروکربن کاهش می‌یابد (Lapuerta et al., 2008). در حالی که استفاده از اتانول در مخلوط سوخت به علت خنک شدن دیواره سیلندر (در نتیجه گرمای نهان تبخیر بالای اتانول)، اکسیژن ناکافی و سوخت باقیمانده در دیواره باعث افزایش میزان هیدروکربن نسوخته می‌شود (Park et al., 2011). کاهش کربن‌های نسوخته در دور ۱۰۰۰ دور در دقیقه نه به علت عملکرد بهتر موتور بوده بلکه با توجه به گشتاور و مصرف ویژه سوخت در این دور، نشان می‌دهد که سوخت به مقدار مناسب به موتور نرسیده که باعث کاهش مصرف ویژه و گشتاور موتور شده است.

اثر سوخت دیسترویل بر هیدروکربن‌های نسوخته (HC)

نتیجه تجزیه واریانس حالت‌های مختلف تاثیر سه عامل دور، درصد بیودیزل و درصد اتانول بر هیدروکربن‌های نسوخته نشان داد که بیودیزل باید به عنوان بلوک در نظر گرفته شود. حالت دوم مناسب‌ترین حالت اجرای طرح آزمایش‌ها می‌باشد که دور و اتانول معنی‌دار شده است و سطوح مختلف درصد بیودیزل، اثر معنی‌داری بر هیدروکربن‌های نسوخته ندارد. بر اساس آزمایش چند عاملی انجام شده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با دو عامل دور و درصد اتانول با سه تکرار (سطوح درصد بیودیزل) اجرا شد که براساس نتایج بدست آمده دور بر HC اثر بسیار معنی‌داری داشت (Park et al., 2011) (جدول ۶).

تغییرات هیدروکربن‌های خروجی از آگروز بر حسب ppm نسبت به دور محور تواندهی در شکل ۷ نشان داده شده است.

نازل در اتاقک احتراق است. این به دلیل تبخیر سریع تر اتانول و سرعت پایین حرکت اتانول در اتاقک است که موجب می شود سوخت دیرتر وارد مرحله انبساط شود (Park et al., 2011). در موارد زیادی کاهش میزان هیدروکربن ها با استفاده از مخلوط های سوخت دیزل، بیودیزل و اتانول ذکر شده است Sayin, 2010; Raslavičius and Bazaras, 2009; Barabas et al., 2010; Rahimi et al., 2009).



شکل ۷. مقایسه میانگین هیدروکربن های نسوخته (HC) در دورهای مختلف در مطالعه اثر سوخت دیسترویل بر عملکرد موتور

a, ab, b, c دسته بندی آماری (حروف مشابه نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی داری با آزمون چند دامنه ای دانکن با سطح احتمال ۵٪ است).

اثر سوخت دیسترویل بر اکسیدهای نیتروژن (NO_x)

برای بررسی تاثیر سه عامل مورد مطالعه در این تحقیق بر میزان NO_x تولیدی کار موتور، حالت اول که اتانول به عنوان بلوک در نظر گرفته شده است مناسب ترین حالت اجرای طرح آزمایش ها می باشد که دور و بیودیزل معنی دار شده است. براساس آزمایش چند عاملی انجام شده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با دو عامل دور و درصد بیودیزل با سه تکرار درصد اتانول اجرا شد که براساس نتایج بدست آمده دور و اثر متقابل دور و درصد بیودیزل بر NO_x اثر بسیار معنی داری داشته است (جدول ۷).

شکل ۸ تغییرات اکسیدهای نیتروژن را بر حسب ppm نسبت به دور بیان می کند. نیتروژن و اکسیژن به نسبت در دمای بالا واکنش نشان می دهند. بنابراین دمای بالا و در دسترس بودن اکسیژن دو عامل اصلی برای تشکیل اکسیدهای نیتروژن هستند. خواص فیزیکی بیودیزل مانند گرانی و چگالی بیشتر و تراکم پذیری کمتر باعث احتراق پیشرفته شده و در نتیجه حرارت سیلندر افزایش یافته و باعث افزایش تولید NO_x می شود. همچنین وجود اکسیژن در سوخت یا هوای ورودی باعث افزایش تولید NO_x می شود. یکی دیگر از عوامل افزایش NO_x، کاهش طول زنجیره کربنی بیودیزل و افزایش میزان اسید چرب غیر اشباع آن می باشد (Lapuerta et al., 2008).

در نتیجه موجب کربن های نسوخته هم شده است. البته از طرفی می توان تحلیل دیگری نیز ارائه داد که برای هر مخلوط سوخت با افزایش دور محور توان دهی، میزان تولید هیدروکربن ابتدا افزایش و سپس کاهش می یابد. در دورهای بالاتر، با توجه به اینکه دمای محفظه احتراق به علت افزایش فشار داخل سیلندر، افزایش می یابد، در نتیجه تولید هیدروکربن کاهش می یابد. همچنین سرعت مایع و حرکت تلاطمی در سیلندر با افزایش دور افزایش می یابد و باعث کاهش هیدروکربن می شود (Hosoz et al., 2013).

جدول ۶- تجزیه واریانس HC برای مطالعه اثر سوخت دیسترویل براساس

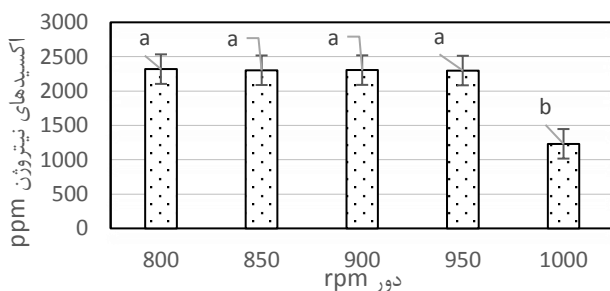
آزمایش چند عاملی در قالب طرح بلوک کامل تصادفی			
حالت اول ^۱	F_Pvalue	SS	df
اتانول (تکرار)	۰/۳۰۵	۱۲۴۲/۸	۱۴
دور	۰	۱۱۴۳/۵	۴
بیودیزل	۰/۸۸۷	۲/۸	۲
دور*بیودیزل	۰/۴۳۶	۹۶/۵۳	۸
خطای آزمایش		۳۲۷/۰۷	۲۸
کل		۱۵۹۸/۸	۴۴
حالت دوم			
حالت دوم	F_Pvalue	SS	df
بیودیزل	۰/۹۰۰	۱۲۲۷/۴۷	۱۴
دور	۰	۱۱۴۳/۵	۴
اتانول	۰/۳۴۷	۲۸/۹۳	۲
دور*اتانول	۰/۸۲۹	۵۵/۰۷	۸
خطای آزمایش		۳۶۸/۵۳	۲۸
کل		۱۵۹۸/۸	۴۴
حالت سوم			
حالت سوم	F_Pvalue	SS	df
دور	۰	۲۱۱/۶	۸
بیودیزل	۰/۸۳۳	۲/۸	۲
اتانول	۰/۱۶۶	۲۸/۹۳	۲
بیودیزل*اتانول	۰/۰۰۱	۱۷۹/۸۷	۴
خطای آزمایش		۲۴۳/۷۳	۳۲
کل		۱۵۹۸/۸	۴۴

^۱حالات مختلف در جدول ۳ توضیح داده شده است، ^۲درجه آزادی مجموع مربعات و ^۴مقدار احتمال براساس توزیع F

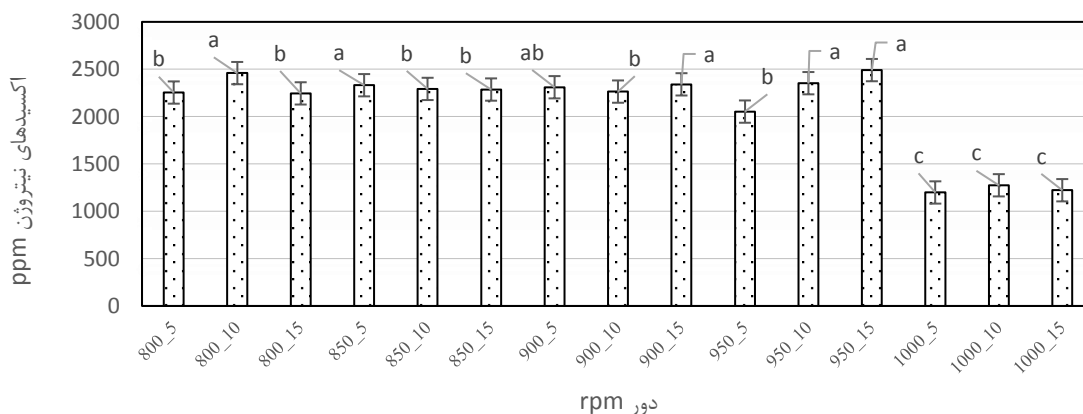
افزایش اتانول باعث افزایش در تولید هیدروکربن های نسوخته شده است. در برخی از منابع نیز افزایش میزان هیدروکربن ها با استفاده از مخلوط سوخت دیزل و سوخت ها زیستی گزارش شده است (Rakopoulos et al., 2008; Park et al., 2011; Subbaiah et al., 2010; Hulwan et al., 2010; Kannan and Anand, 2011; Lujaji et al., 2011). دلیل این افزایش گرمای تبخیر بالای اتانول است که باعث تبخیر آرامتر و ترکیب سوخت-هوای فقیرتر می شود. از سویی افزایش در نفوذ پاشش باعث برخورد بیشتر سوخت به دیواره های اتاقک احتراق می شود. دلیل دیگر این افزایش فرار دیرتر سوخت خارج شده از

2008). در اکثر مخلوط‌های سوخت دیسترویل، میزان تولید NO_x کاهش می‌یابد. اکثر محققان گزارش کردند که افزودن بیودیزل و اتانول باعث افزایش تولید NO_x می‌شود (Sayin, 2010; Park *et al.*, 2011; Subbaiah *et al.*, 2010; Hulwan *et al.*, 2010; Harun and Ali, 2009; Barabas *et al.*, 2010; Rakopoulos *et al.*, 2008). همچنین بعضی از منابع کاهش تولید NO_x را گزارش دادند (Raslavičius and Bazaras, 2009; Kannan and Anand, 2011).

حداکثر میزان تولید NO_x در دور ۹۵۰ دور بر دقیقه اتفاق افتاده است. در ابتدا سامانه غنی بوده و سامانه گرمی خواهیم داشت و در نتیجه تولید NO_x افزایش می‌یابد تا جایی که به نقطه‌ای می‌رسیم که با افزایش لامبدا (افزایش درصد هوای اضافی و به تبع آن افزایش درصد مقدار اکسیژن)، سامانه رقیق سوز گردیده و سامانه خنک‌تری خواهیم داشت و NO_x کاهش می‌یابد و در شکل ۸ هم دیده می‌شود که در ۱۰۰۰ دور در دقیقه برخلاف روند قبلی، کاهش زیادی در انتشار اکسیدهای نیتروژن مشاهده می‌شود.



شکل ۸. مقایسه میانگین اکسیدهای نیتروژن (NO_x) در دورهای مختلف در مطالعه اثر سوخت دیسترویل بر عملکرد موتور
a و b دسته‌بندی آماری (حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌داری با آزمون چند دامنه‌ای دانکن با سطح احتمال ۵٪ است).



شکل ۹. مقایسه میانگین اکسیدهای نیتروژن در دورها و درصدهای مختلف بیودیزل در مطالعه اثر سوخت دیسترویل بر عملکرد موتور
a, ab, b و c دسته‌بندی آماری (حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌داری با آزمون چند دامنه‌ای دانکن با سطح احتمال ۵٪ است).

ولیکن در سرعت ۹۵۰ دور در دقیقه، افزایش درصد بیودیزل باعث افزایش نسبی اکسیدهای نیتروژن را نشان می‌دهد و در دور

جدول ۷. تجزیه واریانس NO_x برای مطالعه اثر سوخت دیسترویل بر اساس

آزمایش چند عاملی در قالب طرح بلوک کامل تصادفی			
حالت اول ^۱	^۲ F_Pvalue	^۳ SS	^۴ df
اتانول (تکرار)	۰/۱۴۰	۸۷۲۸۶۲۶	۱۴
دور	۰	۸۳۱۷۵۱۲	۴
بیودیزل	۰/۰۶۰	۸۸۳۱۸	۲
دور*بیودیزل	۰/۰۱۹	۳۲۲۷۹۵	۸
خطای آزمایش		۳۹۷۷۶۰	۲۸
کل		۹۱۸۶۲۲۹	۴۴
حالت دوم	F_Pvalue	SS	Df
بیودیزل	۰/۱۸۹	۸۳۹۹۲۴۷	۱۴
دور	۰	۸۳۱۷۵۱۲	۴
اتانول	۰/۳۱۶	۵۹۸۷۳۰۶	۲
دور*اتانول	۰/۹۹۹	۲۱۸۶۰	۸
خطای آزمایش		۶۹۸۶۶۴	۲۸
کل		۹۱۸۶۲۲۹	۴۴
حالت سوم	F_Pvalue	SS	df
دور	۰	۲۸۸۲۱۶	۸
بیودیزل	۰/۱۰۴	۸۸۳۱۸	۲
اتانول	۰/۲۰۸	۵۹۸۷۳	۲
بیودیزل*اتانول	۰/۱۲۹	۱۴۰۰۲۴	۴
خطای آزمایش		۵۸۰۵۰۱	۳۲
کل		۹۱۸۶۲۲۹	۴۴

^۱حالت‌های مختلف در جدول ۳ توضیح داده شده است، ^۲درجه آزادی مجموع مربعات و ^۳مقدار احتمال براساس توزیع F

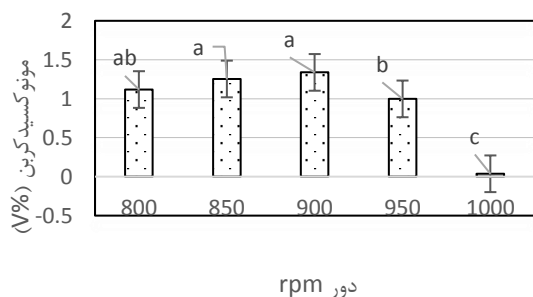
گرمای تبخیر بالای اتانول باعث کاهش دمای سیلندر می‌شود. در نتیجه با افزایش درصد اتانول میزان تولید NO_x کاهش می‌یابد (Park *et al.*, 2011). هرچند اکسیژن بیشتر و عدد ستان کمتر اتانول، باعث افزایش دمای محفظه احتراق می‌شود و میزان تولید NO_x را افزایش می‌دهد. بسته به نوع موتور و شرایط عملیاتی دارد که کدام حالت اتفاق افتد (Rakopoulos *et al.*,

با توجه به شکل ۹، انتشار اکسیدهای نیتروژن با افزایش درصد بیودیزل در دور زیر ۹۰۰، تفاوت زیادی را نشان نداده اند

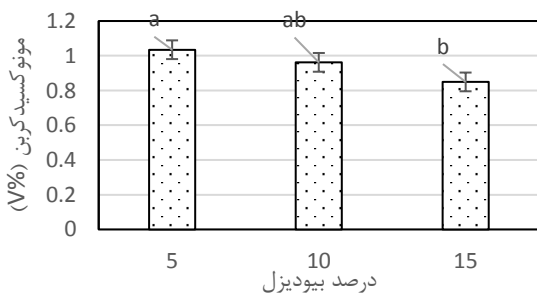
همان‌طور که در شکل ۱۱ نمایش داده شده است، مقدار مونوکسیدکربن تولیدی با افزایش درصد بیودیزل، کاهش نشان داد (Tripathi & Subramanian, 2017; Ghareghani *et al.*, 2017.; Mosarof *et al.*, 2015; Abu-Hamdeh Nidal *et al.*, 2015; Panneerselvam *et al.*, 2015). پژوهشگران و محققان مختلف نتایج متفاوتی را در این رابطه گزارش کرده اند. در موارد متعددی کاهش میزان مونوکسیدکربن با استفاده از مخلوط‌های سوخت دیزل و سوخت‌های زیستی ذکر شده است (Sayin, 2010; Rahimi *et al.*, 2009; Raslavičius and Bazaras, 2009; Subbaiah *et al.*, 2010; Hulwan *et al.*, 2010; Kannan and Anand, 2011).

در برخی موارد نیز محققان افزایش مونوکسیدکربن با استفاده از مخلوط سوخت دیزل و سوخت‌های زیستی را گزارش کرده‌اند (Nematizadeh, 2011; Rakopoulos *et al.*, 2008; Park *et al.*, 2011). با افزایش اتانول میزان مونوکسیدکربن افزایش می‌یابد. اگرچه ترکیبات دارای اتانول اکسیژن بیشتری برای اتانک احتراق فراهم می‌کند ولی گرمای تبخیر بالای اتانول باعث کاهش دما در محفظه شده و دمای پایین باعث اکسیداسیون CO به CO₂ می‌شود (Park *et al.*, 2011).

اگر هوای اضافی به مقدار زیاد باشد، در نتیجه احتراق کاملتر انجام شده و میزان تولید مونوکسید کربن با افزایش دور محور توان‌دهی کاهش می‌یابد (Lujaji *et al.*, 2011).



شکل ۱۰. مقایسه میانگین مونوکسید کربن (CO) در دورهای مختلف در مطالعه اثر سوخت دیسترویل بر عملکرد موتور
a, ab, b و c دسته‌بندی آماری (حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌داری با آزمون چند دامنه‌ای دانکن با سطح احتمال ۵٪ است).



شکل ۱۱. مقایسه میانگین مونوکسید کربن (CO) در درصدهای مختلف بیودیزل در مطالعه اثر سوخت دیسترویل بر عملکرد موتور
a, ab و b دسته‌بندی آماری (حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌داری با آزمون چند دامنه‌ای دانکن با سطح احتمال ۵٪ است).

۱۰۰۰ دور در دقیقه با توجه به کاهش مصرف سوخت، انتشار NOx هم کاهش یافته است.

اثر سوخت دیسترویل بر مونوکسیدکربن (CO)

با بررسی نتایج جدول تجزیه واریانس CO می‌توان دریافت که از سه حالت، حالت اول که اتانول اثر معنی‌داری بر تولید مونوکسیدکربن ندارد می‌تواند به عنوان بلوک در نظر گرفته شود. لذا مناسب‌ترین حالت اجرای طرح آزمایش‌ها با دو عامل دور و بیودیزل می‌باشد. براساس نتایج بدست آمده دور و درصد بیودیزل بر انتشار CO اثر بسیار معنی‌داری داشته است (جدول ۸).

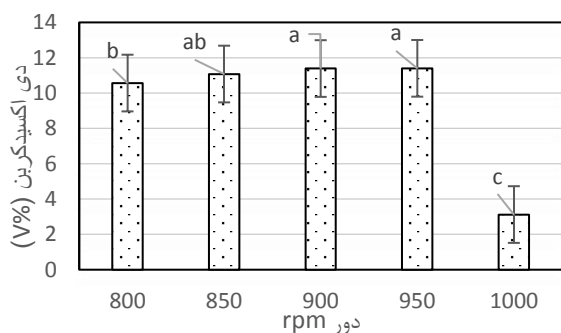
جدول ۸. تجزیه واریانس CO برای مطالعه اثر سوخت دیسترویل براساس

آزمایش چند عاملی در قالب طرح بلوک کامل تصادفی			
حالت اول ^۱	df ^۲	SS ^۳	F_Pvalue ^۴
اتانول (تکرار)	۱۴	۱۰/۴۲	۰/۲۵
دور	۴	۹/۹۶	۰
بیودیزل	۲	۰/۲۶	۰
دور*بیودیزل	۸	۰/۲	۰/۲۱۲
خطای آزمایش	۲۸	۰/۴۸	
کل	۴۴	۱۰/۹۵	
حالت دوم			
بیودیزل	۱۴	۱۰/۰۵	۰/۰۰۹
دور	۴	۹/۹۶	۰
اتانول	۲	۰/۰۵	۰/۳۵۱
دور*اتانول	۸	۰/۰۴	۰/۹۸۵
خطای آزمایش	۲۸	۰/۶۴	
کل	۴۴	۱۰/۹۵	
حالت سوم			
دور	۸	۰/۴۹	۰
بیودیزل	۲	۰/۲۶	۰/۰۰۱
اتانول	۲	۰/۰۵	۰/۲۲۵
بیودیزل*اتانول	۴	۰/۱۵	۰/۰۴۱
خطای آزمایش	۳۲	۰/۵	
کل	۴۴	۱۰/۹۵	

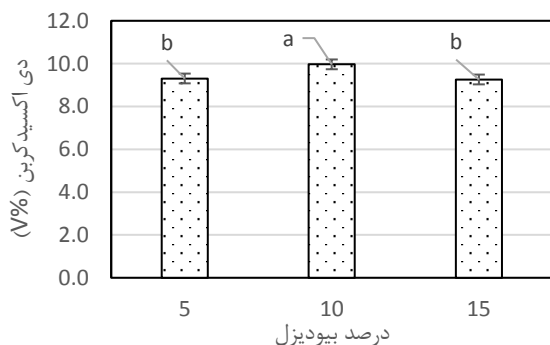
^۱حالت‌های مختلف در جدول ۳ توضیح داده شده است، ^۲درجه آزادی مجموع مربعات و ^۴مقدار احتمال براساس توزیع F

تغییرات مونوکسیدکربن خروجی از آگروز تراکتور نسبت به دور محور توان‌دهی در شکل ۱۰ نشان داده شده است. میزان CO بر اساس درصد حجمی (V%) و به‌وسیله دستگاه سنجش آلاینده‌ها اندازه‌گیری گردید. تولید مونوکسیدکربن مانند هیدروکربن نسوخته به دلیل احتراق سوخت شکل می‌گیرد و به آسانی در سوخت‌های فسیلی به دلیل نبودن اکسیژن در ساختار مولکولی آن‌ها تولید می‌شود (Sayin, 2010). عواملی از قبیل افزایش اکسیژن سوخت، احتراق پیشرفته، عدد ستان بالا، افزایش اسید چرب اشباع بیودیزل و افزایش طول زنجیره اسید چرب باعث کاهش تولید مونوکسیدکربن می‌شود (Lapuerta *et al.*, 2008)

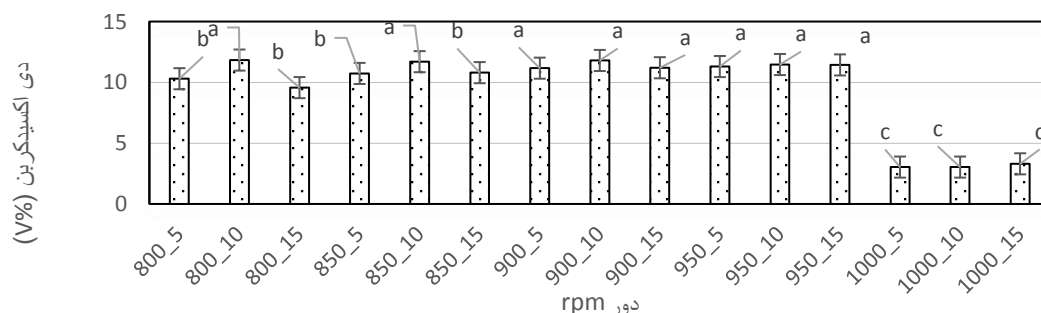
که علتش را در نتایج قبلی می‌تواند توضیح داده شود که در ۱۰۰۰ دور در دقیقه کاهش مصرف سوخت مشاهده شده است. تفاوت چندانی بین آلاینده CO₂ در سوخت‌های مختلف وجود ندارد. چراکه با افزایش اکسیژن مخلوط سوخت، احتراق کامل‌تری صورت گرفته و مونوکسیدکربن حاصل از احتراق ناقص را به دی‌اکسیدکربن تبدیل می‌کند (Nematizadeh, 2011). در بعضی منابع افزایش CO₂ با استفاده از سوخت‌های زیستی گزارش شده است (Subbaiah *et al.*, 2010; Hulwan *et al.*, 2010; Harun and Ali, 2009).



شکل ۱۲. مقایسه میانگین دی‌اکسید کربن (CO₂) در دورهای مختلف در مطالعه اثر سوخت دیسترویل بر عملکرد موتور
a, b, c دستهبندی آماری (حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌داری با آزمون چند دامنه‌ای دانکن با سطح احتمال ۵٪ است).



شکل ۱۳. مقایسه میانگین دی‌اکسید کربن (CO₂) در درصد بیودیزل در مطالعه اثر سوخت دیسترویل بر عملکرد موتور
a و b دستهبندی آماری (حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌داری با آزمون چند دامنه‌ای دانکن با سطح احتمال ۵٪ است).



مقایسه میانگین دی‌اکسید کربن در دورهای و درصدهای مختلف بیودیزل در مطالعه اثر سوخت دیسترویل بر عملکرد موتور
a, b, c دستهبندی آماری (حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌داری با آزمون چند دامنه‌ای دانکن با سطح احتمال ۵٪ است).

اثر سوخت دیسترویل بر دی‌اکسیدکربن (CO₂) آلاینده CO₂ یکی از فرآورده‌های احتراق موتورهای درون‌سوز است و به‌وسیله دستگاه سنجش آلاینده‌ها اندازه‌گیری شد. داده‌های بدست آمده تجزیه و تحلیل شد. با توجه به جدول ۷، طرح آزمایش‌های مناسب حالت اول بوده که اتانول، دور و بیودیزل به ترتیب بلوک و دو عامل آزمایش می‌باشند. براساس نتایج بدست آمده دور و درصد بیودیزل در سطح یک درصد معنی‌دار شده‌اند و اثر متقابل دور و درصد بیودیزل بر CO₂ تقریباً معنی‌دار هستند (جدول ۹).

جدول ۹. تجزیه واریانس CO₂ برای مطالعه اثر سوخت دیسترویل براساس

آزمایش چند عاملی در قالب طرح بلوک کامل تصادفی			
حالت اول ^۱	F_Pvalue	SS	df
اتانول (تکرار)	۰/۰۸۴	۴۷۴/۰۵	۱۴
دور	۰	۴۳۲/۳۲	۴
بیودیزل	۰/۰۰۳	۴/۶۹	۲
دور*بیودیزل	۰/۰۶	۶/۰۴	۸
خطای آزمایش		۹/۶۶	۲۸
کل		۴۸۵/۵۸	۴۴
حالت دوم			
حالت دوم	F_Pvalue	SS	df
بیودیزل	۰/۰۱۶	۴۶۷/۱۲	۱۴
دور	۰	۴۶۳/۳۲	۴
اتانول	۰/۱۶۸	۱/۸۷	۲
دور*اتانول	۰/۸۵۳	۱/۹۶	۸
خطای آزمایش		۱۳/۷۷	۲۸
کل		۴۸۵/۵۸	۴۴
حالت سوم			
حالت سوم	F_Pvalue	SS	df
دور	۰	۱۰/۱۷	۸
بیودیزل	۰/۰۰۵	۴/۶۹	۲
اتانول	۰/۱۰۰	۱/۸۷	۲
بیودیزل*اتانول	۰/۰۷۲	۳/۶۱	۴
خطای آزمایش		۱۲/۰۹	۲۲
کل		۴۸۵/۵۸	۴۴

^۱حالت‌های مختلف در جدول ۳ توضیح داده شده است، ^۲درجه آزادی

^۳مجموع مربعات و ^۴مقدار احتمال براساس توزیع F

منحنی تغییرات دی‌اکسیدکربن نسبت به دور محور تواندهی برای مخلوط‌های مختلف سوخت دیسترویل در شکل ۱۲ نمایش داده شده است. با افزایش دور تا ۹۵۰ دور در دقیقه، افزایش نسبی CO₂ بر اساس درصد حجمی (V%) مشاهده شد. ولیکن در ۱۰۰۰، کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن مشاهده می‌شود

نتیجه گیری کلی

بر اساس یافته‌های این تحقیق، نتایج زیر با توجه به خواص سوخت دیسترویل (تهیه شده از روغن کرچک، اتانول و دیزل) به عنوان سوخت جایگزین سوخت دیزل خالص به دست آمد:

برای تجزیه و تحلیل گشتاور موتور از آزمایش چند عاملی که بیودیزل به عنوان بلوک و دو عامل دور و درصد اتانول در قالب طرح بلوک کامل تصادفی بود، استفاده شد و نتایج نشان داد که دور محور توان‌دهی اثر بسیار معنی داری بر گشتاور موتور داشته است.

دور و درصد بیودیزل اثر بسیار معنی داری بر مصرف ویژه سوخت داشتند و درصد اتانول روی مصرف ویژه سوخت تأثیری نداشت.

دور بر روی هیدوکربن‌های نسوخته اثر معنی داری داشت ولیکن نسبت به درصد اتانول و درصد بیودیزل تغییر چشم گیری نشان نداد.

دور محور توان‌دهی و اثر متقابل دور و درصد بیودیزل اثر بسیار معنی داری بر روی تولید NOx نشان داد و برعکس درصد

اتانول و درصد بیودیزل اثری بر روی تولید اکسیدهای نیتروژن نداشتند.

مونوکسیدکربن تولیدی با افزایش دور محور توان‌دهی تا ۹۰۰ دور در دقیقه افزایش و سپس کاهش یافت ولیکن نسبت افزایش درصد بیودیزل سوخت اثر منفی نشان داد. تولید مونوکسیدکربن نسبت به تغییرات درصد اتانول رفتار خنثی نشان داد.

تغییرات دی‌اکسید کربن با افزایش دور محور توان‌دهی تا ۹۵۰ دور در دقیقه کمی افزایشی و سپس کاهش می‌یابد. در سوخت دیسترویل با ۱۰ درصد بیودیزل بیشترین دی‌اکسید کربن تولید شده است.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله، مراتب تشکر و قدردانی خود را از صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (INSF) که حمایت مالی این طرح را با شماره طرح ۹۱۰۵۹۶۶۸ انجام دادند، اعلام می‌دارند.

REFERENCES

- Abu-Hamdeh Nidal, H. & Alnefaie Khaled A. (2015). A comparative study of almond and palm oils as two bio-diesel fuels for diesel engine in terms of emissions and performance. *Fuel*, 150, 318-24.
- Anonymous. (2012). Energy Balance Sheet. Deputy Minister of Energy.
- Alleman L., McCormick R.L., Christensen E.D. Fioroni G. & Moriarty K. (2016). Biodiesel Handling and Use Guide. *Energy Efficiency and Renewable Energy*, 8-19.
- Barabas I., Todorut A., & Baldean D. (2010). Performance and emission characteristics of an CI engine fueled with diesel-biodiesel-bioethanol blends. *Fuel*, 89, 3827-3832.
- Bello E.I., & Makanju A. (2011). Production, Characterization and Evaluation of Castor oil Biodiesel as Alternative Fuel for Diesel Engines. *Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences*, 2(3), 525-530.
- Berman P., Nizri S. & Wiesman Z. (2011). Castor oil biodiesel and its blends as alternative fuel. *Biomass and Bioenergy*, 35, 2861-2866.
- Bietresato M., Caligiuri C., Renzia M., & Mazzetto F. (2019). Use of diesel-biodiesel-bioethanol blends in farm tractors: first results obtained with a mixed experimental-numerical approach. *Energy Procedia*, 158, 965-971.
- Bindraban P.S., Bulte E.H. & Conijn S.G. (2009). Can large-scale biofuels production be sustainable by 2020. *Agricultural Systems*, 101, 197-199.
- Carraretto C., Macor A., Miranda A., Stoppato A. & Tonon S. (2004). Biodiesel as alternative fuel: Experimental analysis and energetic evaluation. *Energy*, 29, 2195-2211.
- Chotwichien A., Luengnaruemitchai A., Jai-In S. (2009). Utilization of palm oil alkyl esters as an additive in ethanol-diesel and butanol-diesel blends. *Fuel*, 88, 1618-24.
- Forero C.L.B. (2005). Biodiesel from castor oil: a promising fuel for cold weather. *International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPO'05)*. 16-18 of March, Zaragoza.
- Gharehghani A., Mirsalim M., & Hosseini R. (2017). Effects of waste fish oil biodiesel on diesel engine combustion characteristics and emission. *Renewable Energy*, 101, 930-936.
- Harun Chakrabarti M., & Ali M. (2009). Performance of compression ignition engine with indigenous castor oil biodiesel in Pakistan. *NED University Journal of Research*, 6(1), 10-19.
- Hassan-beygi S.R., Istan V., Ghobadian B., & Aboonajmi M. (2013). An experimental investigation of Perkins A63544 diesel engine performance using D-Series fuel. *Energy Conversion and Management*, 76, 356-361.
- Hosoz M., Metin Ertunc H., Karabektas M. & Ergen G. (2013). ANFIS modelling of the performance and emissions of a diesel engine using diesel fuel and biodiesel blends. *Applied Thermal Engineering*, 60(1-2), 24-32.
- Huang J., Wang Y., Li S., Roskilly A.P, Yu H. & Li H. (2009). Experimental investigation on the

- performance and emissions of a diesel engine fuelled with ethanol-diesel blends. *Applied Thermal Engineering*, 29, 2484-2490.
- Hulwan D.B., Joshi S.V. & Aghav Y.V. (2010). Study on properties improvement and performance benefit of diesel- ethanol-biodiesel blends with higher percentage of ethanol in multicylinder IDI diesel engine. *International Journal of Advanced Engineering Technology*, 1(2), 248-273.
- Jam H., Ghazanfari Moghadam A. & Shamsi M. (2016). The effect of using biodiesel fuel prepared from bitter olive oil on the performance of a diesel engine. *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 47, 103-110. (In Farsi)
- Kannan G.R. & Anand R. (2011). Experimental evaluation of DI diesel engine operating with diestrol at varying injection pressure and injection timing. *Fuel Processing Technology*, 92, 2252-2263.
- Khoobakht G., Karimi M. & Kheiralipour K. (2019). Effects of biodiesel-ethanol-diesel blends on the performance indicators of a diesel engine: A study by response surface modeling. *Applied Thermal Engineering*. 148, 1385-1394.
- Lapuerta M., Armas O. & Rodriguez-Fernandez J. (2008). Effect of biodiesel fuels on diesel engine emissions. *Progress in Energy and Combustion Science*, 34, 198-223.
- Leung D.Y.C., Wu X. & Leung M.K.H. (2010). A review on biodiesel production using catalyzed transesterification. *Applied Energy*, 87, 1083-1095.
- Lujaji F., Kristof L., Bereczky A. & Mbarawa, M. (2011). Experimental investigation of fuel properties, engine performance, combustion and emissions of blends containing croton oil, butanol, and diesel on a CI engine. *Fuel*, 90, 505-510
- Manorathna R.P. & Nanayakkara N.K.B.M.P. (2011). Experimental investigation of operating characteristics of bio-diesel on a conventional diesel engine. *International Journal of Innovation, Management and Technology*, 2(3), 199-203.
- Mosarof M.H., Kalam M.A., Masjuki H.H., Ashraful A.M., Rashed M.M., Imdadul H.K. & Monirul I.M. (2015). Implementation of palm biodiesel based on economic aspects, performance, emission, and wear characteristics'. *Energy Conversion Management*, 105, 617-29.
- Naga P., Ch .S., Vijaya Kumar Reddy K., Kumar B.S.P., Ramjee E., Hebbel O.D. & Nivendgi, M.C. (2009). Performance and emission characteristics of a diesel engine with castor oil. *Indian Journal of Science and Technology*, 2(10), 25- 31.
- Nematizadeh, P. (2011). Investigation of MF-399 tractor engine contaminants using biodiesel and diesel fuel mixtures. Master Thesis in Agricultural Machinery Mechanical Engineering. School of Agriculture. Tarbiat Modares University.
- Panneerselvam N., Murugesan A., Vijayakumar C., Kumaravel A., Subramaniam D. & Avinash A. (2015). Effects of injection timing on bio-diesel fuelled engine characteristics an overview. *Renewable Sustainable Energy Reviews*, 50, 17-31.
- Park S.H., Suh H.K. & Lee C.S. (2010). Nozzle flow and atomization characteristics of ethanol blended biodiesel fuel. *Renewable Energy*, 35(1), 144-150.
- Park S.H., Youn I.M. & Lee C.S. (2011). Influence of ethanol blends on the combustion performance and exhaust emission characteristics of a four-cylinder diesel engine at various engine loads and injection timing. *Fuel*, 90, 748-755.
- Rahimi H., Ghobadian B., Yusaf T., Najafi G. & Khatamifar M. 2009. *Diesterol: an environment-friendly IC engine fuel*. *Renewable Energy*, 34(1), 335-342.
- Rakopoulos C.D., Rakopoulos D.C., Hountalas D.T., Giakoumis E.G. & Andritsakis E.C. (2008). Performance and Emissions of Bus Engine Using Blends of Diesel Fuel with Biodiesel of Sunflower or Cottonseed Oils Derived from Greek Feedstock. *Fuel*, 87, 147-157.
- Raslavičius L. (2009). Research into three-component combustible mixture application for fuelling diesel engines. Summary of Doctoral Dissertation. Kaunas: Technologija. 32 p.
- Raslavičius L. & Bazaras, Ž. (2009). The Analysis of the motor characteristics of D-RME-E fuel blends during on-field tests. *Transport*, 24(3), 187-191.
- Sayin C. (2010). Engine performance and exhaust gas emissions of methanol and ethanol-diesel blends. *Fuel*, 89, 3410-3415.
- Shabani Z., Rafiee S., Ahmadi H. (2014). Optimization of Diesetrol Fuel Blends in MF 399 Tractor Using Honey Bee Mating Optimization Algorithm. Master's Thesis in Agricultural Mechanization Engineering, University of Tehran.
- Singh M. & Sandhu S.S. (2020). Performance, emission and combustion characteristics of multi-cylinder CRDI engine fueled with argemone biodiesel/diesel blends. *Fuel*, 265, 117024.
- Subbaiah G.V., Gopal K.R., Hussain S.A., Prasad B.D. & Reddy K.T. (2010). Rice bran oil biodiesel as an additive diesel-ethanol blends for diesel engines. *International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences*, 3(3), 334- 342.
- Tripathi S. & Subramanian K.A. (2017). Experimental investigation of utilization of Soya soap stock based acid oil biodiesel in an automotive compression ignition engine. *Applied Energy*, 198, 332-346.
- Zenozi, A. (2007). Evaluation of MF-399 tractor performance using biodiesel and diesel fuel compounds. Master Thesis in Mechanical Engineering, Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University.
- Zenozi A., Ghobadian B., Tavakoli Hashjin, T. Faizullah Nejad M. & Baqerpour H. (2010). The effect of methyl ester waste oil on tractor engine performance. *Journal of Technical and Engineering Engineering - Mechanics*, 10(2), 89-99.