

## مقاله پژوهشی

# بررسی تأثیر بیودیزل حاصل از دانه غیر خوراکی کوشیا بر شاخص‌های آلاینده‌گی موتور دیزل

کیومرث دائمی میلانی<sup>۱</sup>، بابک بهشتی<sup>۲\*</sup> و محمد قهدریجانی<sup>۳</sup>

۱، ۲ و ۳- به ترتیب: دانشجوی دکتری؛ دانشیار؛ و استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.  
تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۲/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۳/۲۳

## چکیده

در این پژوهش دانه روغنی غیر خوراکی گیاه کوشیا به عنوان ماده اولیه برای تولید بیودیزل معرفی و تأثیر بیودیزل حاصل بر انتشار آلاینده‌های یک موتور دیزل بررسی شد. پس از خالص‌سازی دانه‌های کوشیا، روغن استخراج شد. به منظور بررسی میزان انتشار آلاینده‌ها، از یک موتور تک سیلندر خنک‌شونده با هوا استفاده شد. آزمایش‌های آلاینده‌گی به منظور تأثیر سرعت دورانی موتور، بار و ترکیب سوخت بر گازهای مونوکسید کربن، دی‌اکسید کربن، هیدروکربن‌های نسوخته و ناکس توسط یک سامانه اندازه‌گیری میزان گازهای خروجی آگروز به اجرا درآمد. آزمایش‌ها در سه سطح سرعت دورانی (۱۸۰۰، ۲۱۰۰ و ۲۴۰۰ دور در دقیقه)، پنج سطح بار (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد) و پنج نسبت مختلف بیودیزل (B0، B5، B10، B15 و B20) برنامه‌ریزی شدند. بار ۲۵ درصد به عنوان شرایط عملیاتی پایدار و متعارف در ناحیه کم‌بار انتخاب شد تا امکان ارزیابی اثر مستقل دور موتور بر آلاینده‌ها فراهم شود. به منظور بررسی تأثیر متغیرهای مستقل بر متغیرهای وابسته، از تحلیل واریانس با طرح آزمایشی کاملاً تصادفی استفاده شد. یافته‌های این پژوهش نشان داد که کارکرد موتور در شرایط بار ثابت ۲۵ درصد و سرعت دورانی ۲۱۰۰ دور بر دقیقه، هنگام استفاده از مخلوط حاوی ۱۵ درصد بیودیزل، به طور چشمگیری موجب بهبود شاخص‌های آلاینده‌گی می‌شود. در همین شرایط، بیشترین کاهش مونوکسید کربن به میزان ۱۷/۶۵ درصد نسبت به گازوئیل خالص به دست آمد. بیشترین کاهش هیدروکربن‌های نسوخته معادل ۶۳/۳۵ درصد و بیشترین افت اکسیدهای نیتروژن برابر با ۳۵ درصد برای همین نسبت اختلاط مشاهده شد.

## واژه‌های کلیدی

آلاینده‌ها، ترانس استریفیکاسیون، دانه روغنی کوشیا، موتور احتراقی

## مقدمه

آلودگی زیست‌محیطی، تقاضای زیاد انرژی، کمبود سوخت‌های فسیلی و تجدیدنپذیری آنها وضعیت ناراحت‌کننده‌ای است که نیازمند جستجوی راه‌های جایگزین برای منابع انرژی جدید است. کاهش شدید منابع نفتی به دلیل تولید عظیم محصولات سوختی و دیگر فرآورده‌های نفتی در حال وقوع است. تقاضای عظیم انرژی به دلیل افزایش ضریب صنعتی شدن، حمل و نقل، شهرنشینی و

شیمیایی سوخت و در نهایت تشکیل آلاینده‌های حاصل از احتراق آن دارد، یکی از مهم‌ترین هدف‌های پژوهشی در زمینه تولید سوخت بیودیزل، استفاده از مواد خام مناسب به منظور افزایش کیفیت احتراق سوخت و کاهش هزینه‌های تولید آن است. بنابراین، برای اختصاص بخشی از انرژی مصرفی به سوخت بیودیزل، بررسی مشخصه‌های احتراق بیودیزل تولیدی از منابع مختلف قابل توجه است. از این‌رو، در دهه‌های اخیر تحقیقات گسترده‌ای در زمینه تولید بیودیزل از منابع مختلف و بررسی کیفیت احتراق آن توسط پژوهشگران خارجی و داخلی صورت گرفته است (Wu *et al.*, 2009; Sahoo *et al.*, 2009; Yari *et al.*, 2017; Zhang *et al.*, 2022).

بیودیزل مایعی خالص کهربایی مایل به زرد است که گرانشی‌ای مشابه پترودیزل دارد. هزینه ساخت آن بیشتر از هزینه ساخت پترودیزل است که به نظر می‌رسد از عوامل اصلی پیشگیرانه باشد. گرانشی کم، انتشار اکسید نیتروژن (NOx) بیشتر، مقدار انرژی کمتر، نقطه ریزش و نقطه ابری بالاتر، کک شدن انژکتور، قدرت و سرعت موتور کمتر، قیمت بالاتر و فرسودگی بیشتر موتور از معایب اصلی بیودیزل هستند (Yusuf & Athar, 2015). امروزه بیودیزل با توجه به اینکه پایه زیستی دارد و جزء منابع تجدیدپذیر است، به‌عنوان سوخت جایگزین پذیرفته شده و جایگزینی مناسب برای سوخت‌های دیزلی است. یکی از منابع اصلی تامین بیودیزل، دانه‌های روغنی است.

کوشیا<sup>۱</sup> گیاهی است دولپه، علفی، یکساله از خانواده اسفناجیان<sup>۲</sup>، گونه‌ای مقاوم به شوری و از هالوفیت‌های<sup>۳</sup> دفع‌کننده نمک است که در برخی

رشد سریع جمعیت به وجود می‌آید. این امر باعث فرسودگی منابع فسیلی تجدیدناپذیر می‌شود و همزمان، تمدن بشری به سمت خطر بحران انرژی پیش می‌رود. در کنار آن، احتراق سوخت‌های فسیلی عمدتاً به آلودگی محیط‌زیست با انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک می‌کند و منجر به گرم شدن زمین می‌شود. پژوهش‌ها در حال تقویت روش‌های استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر مانند خورشید، باد، آب‌های روان، اقیانوس و جزر و مد برای تولید انرژی هستند، اما هیچ‌یک از این‌ها، شرایط را برای جایگزینی سوخت‌های فسیلی معمولی برآورده نمی‌کنند. بنابراین، سوخت سبز تجدیدپذیر و قابل دوام برای ادامه حیات با وضعیت رو به زوال کنونی نیاز خواهد بود. سوخت‌های زیستی مانند اتانول زیستی، بیودیزل و بیوگاز به‌عنوان گزینه‌های قابل توجه برای برآوردن نیازهای انرژی در آینده در حال ظهور هستند. از دو دهه گذشته، بیودیزل به دلیل خواص قابل مقایسه با پترودیزل، خود را به‌عنوان جایگزین قوی برای سوخت فسیلی وارد عرصه رقابت کرده است. بیودیزل دارای برخی ویژگی‌های قابل توجه است مانند: کم‌بودن گرانشی، بالابودن نقطه اشتعال، بالابودن عدد ستان، روان‌کنندگی خوب، زیست تخریب‌پذیری، غیرسمی بودن و کمتر بودن انتشار گازهای گلخانه‌ای نسبت به پترودیزل (Manigandan *et al.*, 2021).

طیفی متنوع از مواد اولیه برای تولید بیودیزل در دسترس است؛ از دانه‌های روغنی خوراکی مانند کلزا و آفتابگردان گرفته تا روغن‌های غیرخوراکی مانند جاتروفئا، ریزجلبک‌ها، چربی‌های حیوانی و انواع روغن‌های پسماند. از آن‌جا که نوع ماده خام اولیه تولید بیودیزل نقش مهمی بر ویژگی و ساختار

1- *Bassia scoparia*2- *Chenopodiaceae*

۳- هالوفیت‌ها گیاهانی هستند که می‌توانند غلظت‌های بالای نمک را تحمل کنند.

می‌شود ولی دیگر شاخص‌های اندازه‌گیری شده افزایش می‌یابند. سلیمانی (Solaymani, 2023) با مطالعه تأثیر به کارگیری بیودیزل بر میزان انتشار دی‌اکسیدکربن در صنعت حمل و نقل مالزی به این نتیجه رسید که افزایش یک درصد در استفاده از بیودیزل، انتشار کربن ناشی از حمل و نقل جاده‌ای را در دراز مدت ۰/۰۰۴ درصد کاهش می‌دهد، در حالی که در کوتاه مدت، با افزایش ۰/۰۰۱ درصد در انتشار CO<sub>2</sub> حمل و نقل همراه است. کاپیکیران و همکاران (Kapikiran *et al.*, 2025) با بررسی کاربرد بیودیزل تولید شده از روغن‌های پسماند در حمل‌ونقل عمومی آنکارا و اثر زیست‌محیطی آن نشان دادند بیودیزل انتشار کربن را تا ۷۶ درصد کاهش می‌دهد.

هرچند در زمینه بررسی پتانسیل دانه‌های کوشیا به عنوان یک منبع روغنی برای تولید بیودیزل پژوهش‌هایی شده است (Abideen *et al.*, 2015; Sharma *et al.*, 2016; Protoska 2023) اما بیشتر این پژوهش‌ها در ارتباط با مقدار روغن دانه یا ترکیب اسیدهای چرب است و در زمینه فرایند کامل تولید بیودیزل از این منبع غیرخوراکی و ارزیابی بیودیزل تولیدی از آن بر مشخصه‌های آلاینده‌ی موتور دیزل گزارشی منتشر نشده است. بنابراین در راستای پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه تولید بیودیزل، این پژوهش با تمرکز بر استفاده از دانه‌های غیرخوراکی کوشیا به‌عنوان ماده اولیه تولید بیودیزل گامی در راستای توسعه فعالیت‌های پژوهشی در این بخش است.

با توجه به توضیحات ارائه شده، معرفی یک منبع غیرخوراکی و سازگار با آب‌وهوای ایران و مقاوم به خشکی و شرایط سخت به منظور تولید بیودیزل امری ضروری است. در این پژوهش دانه روغنی غیرخوراکی بومی ایران با نام کوشیا که مقاوم به

طبقه‌بندی‌ها جزو هالوفیت‌های اختیاری قرار می‌گیرد و برگ‌ها و سرشاخه‌های این گیاه علوفه‌ای منبع تغذیه خوبی در شرایط آبیاری با آب شور فراهم می‌کند. برگ‌ها و سرشاخه‌های این گیاه، علوفه‌ای ارزشمند برای دام به شمار می‌آید (Sobhani, 2014). کوشیا در تمام نقاط ایران قابل کشت است. کوشیا با متوسط عملکرد ۲/۱۵ تن دانه در هکتار توانایی بالایی در تولید دانه دارد. با توجه به میزان ۱۰ درصد روغن دانه و متوسط ۲۱۳ کیلوگرم روغن در هکتار، گیاه کوشیا قابلیت بالایی برای تبدیل به یک دانه روغنی را دارا است (Nabati *et al.*, 2012).

بیودیزل نسل اول، دوم و سوم و ترکیبات آنها دارای خواص متفاوتی هستند که بر ویژگی‌های موتور دیزل مانند EGT, BSFC, BTE, انتشار دود، انتشار NOx، توان ترمزی و غیره تأثیر می‌گذارد. بنابراین انتخاب مواد اولیه نسل‌های مختلف ضروری است و بستگی به زادگاه داخلی منطقه دارد. تغییرات با نسل‌های مختلف مواد اولیه بیودیزل و خواص ترکیبی آن بر عملکرد کلی، احتراق و ویژگی‌های انتشار آلاینده در موتور CI تأثیر می‌گذارد. بیودیزل نسل اول، دوم و سوم و مواد اولیه ترکیبی آنها بر انرژی و درصد اکسیژن، عدد ستان، ارزش حرارتی سوخت، چگالی و گرانیوی تأثیر می‌گذارد.

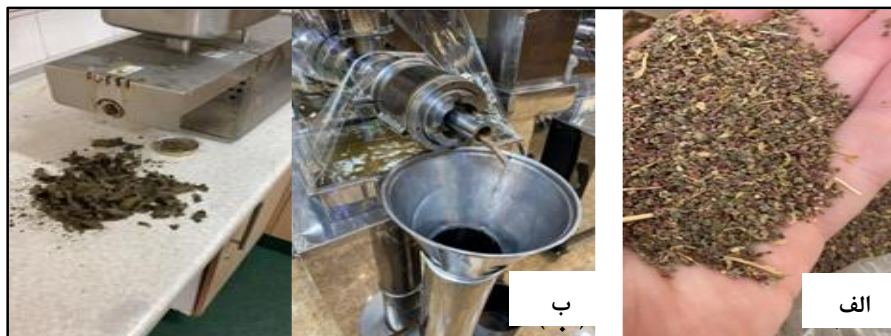
جم و همکاران (Jam *et al.*, 2021) با تهیه بیودیزل از روغن زیتون تلخ و بررسی تأثیر مصرف آن بر انتشار آلاینده‌های یک موتور دیزل نشان دادند که با افزایش مقدار بیودیزل، گازهای CO و HC کاهش ولی CO<sub>2</sub> و NOx افزایش می‌یابد. همچنین، با افزایش دور موتور گازهای CO<sub>2</sub>, CO, HC و دمای گازهای خروجی افزایش ولی NOx کاهش می‌یابد. افزایش بار موتور باعث کاهش اکسید نیتروژن

خوراکی نیز هست.

### مواد و روش‌ها

در این پژوهش، از دانه‌های روغنی گیاه کوشیا به عنوان یکی از منابع جدید برای تولید بیودیزل استفاده شد. دانه‌های گیاه کوشیا از استان کرمان جمع‌آوری و پس از فرایند خالص‌سازی، برای استخراج روغن در آزمایشگاه نگهداری شدند. برای روغن‌کشی از دستگاه پرس سرد استفاده شد. شکل ۱ دانه‌های کوشیا (الف) و تجهیزات مورد استفاده برای روغن‌کشی (ب) را نمایش می‌دهد.

خشکی و شرایط سخت است به عنوان ماده اولیه تولید بیودیزل معرفی شده و تأثیر بیودیزل حاصل از آن بر مشخصه‌های آلاینده‌ی موتور دیزل بررسی گردیده است. مطالعات و مرور پژوهش‌های پیشین و همچنین مستندات علمی منتشر شده و در دسترس نشان می‌دهند تاکنون هیچ‌گونه پژوهشی در زمینه بررسی منبع بیودیزل معرفی شده در این پژوهش (دانه روغنی کوشیا) در جهان انجام نشده است. لذا در این پژوهش یک منبع جدید بیودیزل معرفی می‌شود که علاوه بر اینکه مقاوم به خشکی و شرایط سخت است، تا حدودی شوری پسند و غیرقابل



شکل ۱- الف) دانه‌های روغنی کوشیا، ب) روغن‌کشی از دانه‌های روغنی کوشیا

Fig. 1-a) *Bassia scoparia* oil seeds, b) Oil extraction from *Bassia scoparia* oil seeds.

آزاد موجود در روغن (بیشتر از یک درصد) از فرایند استریفیکاسیون با کاتالیست اسیدی به منظور کاهش عدد اسیدی استفاده شد. در این مرحله، روغن با مخلوطی از متانول و اسید سولفوریک به مدت یک ساعت در دمای ۶۰-۶۵ درجه سلسیوس واکنش داد. به ازای هر گرم اسیدهای چرب آزاد موجود در روغن، ۲/۲۵ گرم متانول و ۰/۰۵ گرم اسید سولفوریک استفاده شد. برای هم‌زدن ترکیب در خلال واکنش از یک گرمکن صفحه مغناطیسی (MR 3001, Heidolph) استفاده گردید.

### مراحل تولید بیودیزل از دانه‌های روغنی کوشیا

#### واکنش استریفیکاسیون

در این مطالعه آزمایشگاهی به منظور اندازه‌گیری مقدار اسیدهای چرب آزاد موجود در روغن کوشیا، از روش تیتراسیون مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره 8617 ISIRI و نیز استاندارد بین‌المللی ISO 729 استفاده شد. میزان اسیدهای چرب آزاد (عدد اسیدی)، پروفیل اسیدهای چرب و برخی ویژگی‌های مهم روغن کوشیا در جدول ۱ ارائه شده است. با توجه به میزان بالای اسیدهای چرب

جدول ۱- پروفیل اسیدهای چرب و برخی از ویژگی‌های مهم روغن کوشیا

Table 1 - Fatty acid profile and some important properties of *Bassia scoparia* oil

روغن دانه کوشیا Bassia scoparia oil seed	واحد Unit	روش استاندارد Standard method	پارامترها Parameters	
0.82	g/cm <sup>3</sup>	ASTM D4052	Density (15°C)	چگالی (۱۵°C)
4.70	mm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>	ASTM D445	Viscosity (40°C)	گرانروی (۴۰°C)
2.74	mg KOH/g oil		Acid Number	عدد اسیدی
96	I2 g/100 g oil		Iodine Number	عدد یدی
3.9	wt. %		Palmitic Acid (C16:0)	پالمیتیک اسید (C16:0)
1.9	wt. %		Stearic Acid (C18:0)	استئاریک اسید (C18:0)
67.70	wt. %		Oleic Acid (C18:1)	اولئیک اسید (C18:1)
6.21	wt. %		Linoleic Acid (C18:2)	لینولئیک اسید (C18:2)

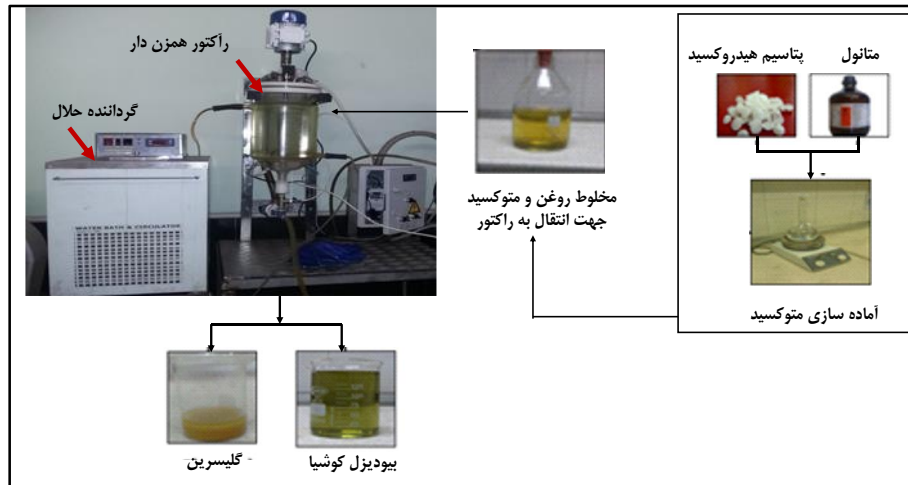
کاتالیست مورد استفاده، بین ۰/۲۵ تا ۱/۲۵ درصد وزنی نسبت به روغن در نظر گرفته شد. نسبت مولی متانول به روغن ۳:۱ تا ۱۲:۱ انتخاب شد. بعد از افزودن محلول متوکسید به روغن دانه کوشیا دمای واکنش روی ۴۵ تا ۶۵ درجه سلسیوس تنظیم شد و مخلوط واکنش به وسیله همزن با سرعت ۶۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ تا ۶۰ دقیقه هم زده شد. برای کنترل دقیق دمای داخل راکتور طی فرآیند تولید بیودیزل، از یک گرداننده حلال مدل UC4500 ساخت شرکت فن‌آوران سهند آذر استفاده شد. گرداننده حلال با برقراری جریان آب در جداره بیرونی راکتور دمای یکنواخت و پایدار برای راکتور فراهم می‌کند.

پس از پایان واکنش، محصول به دست آمده به درون دکانتور (قیف جداساز) منتقل شد تا به تدریج تفکیک فازی صورت گیرد. پس از حدود ۱۲ ساعت، مخلوط کاملاً به دو فاز مجزا تبدیل شد؛ فاز بالایی شامل بیودیزل و فاز پایینی شامل گلیسرین بود. جداسازی دو فاز انجام گرفت. در شکل ۲ مراحل فرآیند تولید بیودیزل نشان داده شده است.

بعد از تکمیل شدن واکنش، لایه متانول، آب و اسید سولفوریک با استفاده از یک قیف دکانتور از روغن استری شده جدا شد. این فرآیند تا زمانی ادامه یافت که میزان اسیدهای چرب آزاد به کمتر از ۰/۵ درصد برسد.

بیودیزل کوشیا در آزمایشگاه بیوانرژی گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه تربیت مدرس تولید شد. در این پژوهش از روش مرسوم ترانس استریفیکاسیون برای تهیه بیودیزل کوشیا (متیل اسیر) استفاده شد.

برای واکنش بین روغن دانه کوشیا، متانول (تولیدی شرکت مرک و با درجه خلوص ۹۹/۸ درصد) و کاتالیست هیدروکسید پتاسیم (KOH) یک راکتور شیشه‌ای همزن‌دار دو جداره با حجم ۵۰۰۰ سانتی‌مترمکعب به کار گرفته شد. به منظور بهبود انحلال‌پذیری و افزایش واکنش‌پذیری کاتالیزور، محلول متوکسید (ترکیب کاتالیزور و متانول) پیش از آغاز واکنش ترانس استریفیکاسیون به صورت جداگانه تهیه شد. برای حل کردن پتاسیم هیدروکسید در متانول، از همزن مغناطیسی به منظور اختلاط کامل مخلوط استفاده شد. مقدار



شکل ۲- مراحل فرایند تولید بیودیزل در راکتور همزن دار با سامانه کنترل دما از نوع گرداننده حلال

Fig. 2 - Stages of the biodiesel production process in a stirred reactor with a solvent-circulating temperature control system

## روند بررسی تأثیر بیودیزل بر مشخصه‌های

## مرحله آبشویی

### آلاینده‌گی موتور دیزل

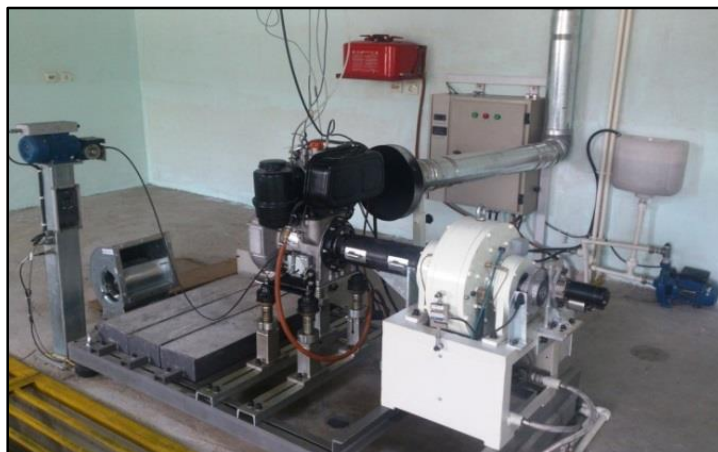
به منظور بررسی تأثیر بیودیزل تولید شده از دانه‌های کوشیا بر شاخص‌های آلاینده‌گی، از یک موتور تک سیلندر هوا خنک ( Lombardini DIESEL 3LD 510) استفاده شد. مشخصات موتور دیزل در جدول ۲ نشان داده شده است. به منظور کنترل بار، گشتاور و سرعت موتور، دینامومتر مدل WE400 به کار گرفته شد. در شکل ۳ سامانه اندازه‌گیری بر روی موتور دیزل نشان داده شده است.

پس از جداسازی گلیسرین (فاز پایین) از متیل استر (فاز بالا) از روش آبشویی برای حذف ناخالصی‌هایی همچون کاتالیست و اسیدهای چرب آزاد از متیل استر استفاده شد. در این مرحله متیل استر تولیدی (بیودیزل کوشیا) در ۵ مرحله با آب مقطر در دمای ۶۰ درجه سلسیوس تحت آبشویی قرار گرفت. شفاف بودن آب بعد از آبشویی حاکی از بی‌نیاز بودن به ادامه آبشویی است و پس از ته‌نشینی آب، متیل استر جدا شد.

جدول ۲- مشخصات موتور دیزل بکار رفته

Table 2- Specifications of the diesel engine used

مشخصات	Specifications	مشخصات
نوع موتور	Engine type	Lombardini- Diesel 3LD510
تعداد سیلندر	Number of cylinders	1
مقدار جابه‌جایی (cm <sup>3</sup> )	Displacement (cm <sup>3</sup> )	510
	Induction type	بدون توربوشارژ No turbocharging
	Bore * stroke (mm)	85*90
بیشینه گشتاور (دور در دقیقه - Nm)	Maximum torque (Nm-rpm)	32.8-1800
نسبت تراکم	Compression ratio	18



شکل ۳- سامانه آزمون موتور دیزل به منظور آزمایش سوخت بیودیزل تولید شده  
Fig. 3 - Diesel engine test system for testing produced biodiesel fuel

وضعیت مناسبی داشته و در مطالعات پیشین نیز به عنوان نقطه مرجع کم‌بار استفاده شده است. یکی از دیگر دلایل انتخاب این بار نوع موتوری است که در آزمایش‌ها به کار رفته است. به منظور بررسی اثر متغیرهای مستقل بر متغیرهای وابسته از آنالیز واریانس با طرح آزمایشی کاملاً تصادفی در نرم افزار SPSS22 استفاده شد.

طبق گواهی واسنجی ارائه شده توسط آزمایشگاه دانشگاه تربیت مدرس، عدم قطعیت در اندازه‌گیری CO، ۵ درصد؛ CO<sub>2</sub>، ۱/۵ درصد؛ هیدروکربن‌های نسوخته، ۲/۲ درصد؛ و ناکس، ۲/۳ درصد است.

در این پژوهش در ابتدا بیودیزل تولید شده از روغن بذر کوشیا، با سوخت دیزل در پنج نسبت مختلف (B0، B5، B10، B15، B20) ترکیب شد. هر یک از ترکیب‌های مختلف به صورت جداگانه با استفاده از ماتریس مربوط به سطوح آزمایش‌های نشان داده شده در جدول ۳ به صورت تجربی مورد آزمایش قرار گرفت و تأثیر هر یک از متغیرهای مستقل بر شاخص‌های عملکرد دیزل اندازه‌گیری شد. بار ۲۵ درصد به عنوان شرایط عملیاتی پایدار و متعارف در ناحیه کم‌بار انتخاب شد تا امکان ارزیابی اثر مستقل دور موتور بر آلاینده‌ها فراهم شود. این سطح بار از نظر پایداری احتراق و قابلیت تکرار،

جدول ۳- ماتریس آزمون تجربی موتور دیزل با سوخت‌های مختلف

Table 3 - Experimental test matrix of diesel engine with different fuels

سطوح Levels					متغیر Variable	
100	75	50	25	0	Engine load (%)	بار موتور (درصد)
-	-	2400	2100	1800	Engine speed (rpm)	سرعت دورانی موتور (دور در دقیقه)
B20	B15	B10	B5	B0	Fuel composition	ترکیب سوخت

**نتایج و بحث****تأثیر بار، سرعت دورانی موتور و ترکیب سوخت بیودیزل بر میزان انتشار CO**

جدول ۴ نتایج تحلیل واریانس آزمون انتشار آلاینده مونوکسید کربن را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، برای متغیر بار و سرعت دورانی موتور، مقدار  $p$  برای آزمون تحلیل واریانس کمتر از سطح معنی‌داری ۵ درصد است. بنابراین تأثیر تغییرات بار موتور و سرعت دورانی بر میزان انتشار مونوکسید کربن معنی‌دار است. اما اثر نوع ترکیب سوخت بر آن معنی‌دار نیست. با بررسی نتایج این جدول می‌توان مشاهده کرد اثر ترکیبی نوع ترکیب سوخت و بار بر میزان انتشار مونوکسید کربن معنی‌دار است ولی اثر ترکیبی نوع سوخت و سرعت دورانی و نیز اثر ترکیبی بار و سرعت دورانی بر میزان انتشار مونوکسید کربن معنی‌دار نیست. شکل ۴ نیز روند تغییرات میزان انتشار آلاینده مونوکسید کربن را با تغییرات سرعت دورانی موتور در ترکیبات مختلف بیودیزل در بار ۲۵ درصد نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در تمام ترکیبات بیودیزل به کار رفته، با افزایش سرعت دورانی موتور، میزان انتشار مونوکسید کربن افزایش یافته است. اگرچه بر اساس نتایج جدول ۴ این تغییرات از نظر آماری معنی‌دار نیستند.

با بررسی نتایج پژوهش‌های مشابه مشاهده می‌شود در اکثر این مطالعات با افزایش میزان بیودیزل در ترکیب سوخت، میزان تغییرات انتشار مونوکسید کربن معنی‌دار و در عین حال کاهش یافته است. برای مثال، شجاعی‌فرد و همکاران (Shojaeefard *et al.*, 2014) و جم و همکاران

(Jam *et al.*, 2021) در گزارش نتایج مطالعات خود به کارگیری بیودیزل حاصل از دیگر دانه‌های روغنی را در کاهش انتشار مونوکسید کربن در موتورهای دیزل گزارش داده‌اند. اما داهو و همکاران (Daho *et al.*, 2013) اثر به کارگیری روغن پنبه دانه را بر میزان انتشار مونوکسید کربن افزایشی گزارش کرده است.

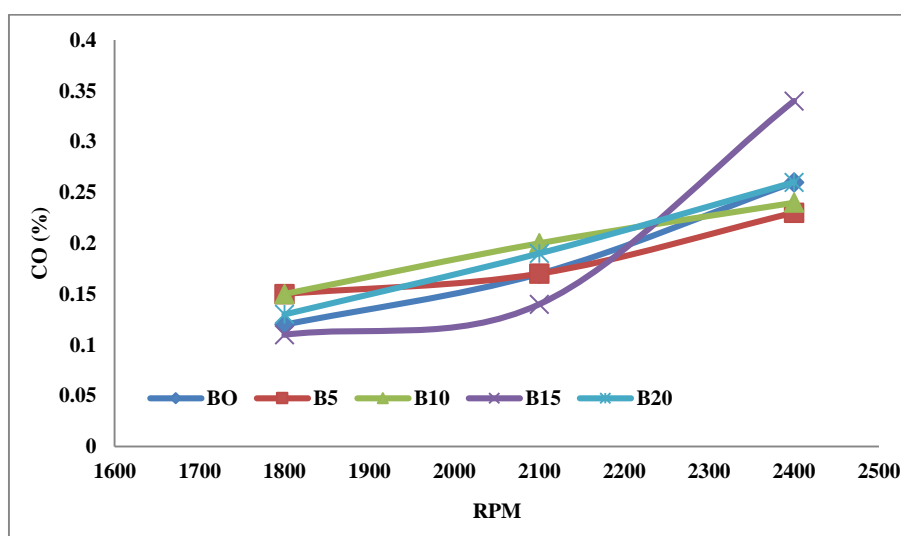
در این مطالعه دلیل افزایش مونوکسید کربن در برخی مخلوط‌های بیودیزل-گازوییل نسبت به گازوییل خالص را شاید بتوان به تبخیر، افزایش دبی تزریق به دلیل انرژی حجمی کمتر و کاهش مدت فاز پس‌سوزی سوخت نسبت داد. این عوامل موجب ایجاد نواحی غنی موضعی و احتراق ناقص می‌شود و فرصت اکسیداسیون مونوکسید کربن به دی‌اکسید کربن را کاهش می‌دهند.

در مطالعه حاضر، نتایج حاصل از تحلیل واریانس ترکیبات مختلف بیودیزل و بار بر میزان انتشار آلاینده مونوکسید کربن معنی‌دار بوده است. این بدان معناست که با افزایش ترکیب بیودیزل از B0 به B20 همراه با افزایش میزان بار وارد بر موتور میزان انتشار گاز مونوکسید کربن افزایش و در عین حال از نظر آمار معنی‌دار بوده است. این نتیجه به ویژه در موتورهای دیزل نصب شده روی تراکتورهای کشاورزی قابل توجه است. زیرا بار وارد بر موتور در شرایط کشاورزی به دلیل تغییر شرایط خاک و نیز سایر شرایط مزرعه با افزایش مداوم همراه است، از این رو چنانچه در این حالت از ترکیب سوخت بیودیزل حاصل از روغن کوشیا استفاده شود افزایش انتشار مونوکسید کربن مورد انتظار خواهد بود.

جدول ۴- نتایج تحلیل واریانس آزمون‌های انتشار آلاینده مونوکسید کربن

Table 4 - Results of variance analysis of carbon monoxide emission tests

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
<b>Intercept</b>	Hypothesis	21.590	1	21.590	5.452	.075
	Error	17.154	4.332	3.960 <sup>a</sup>		
<b>Fuel</b>	Hypothesis	.336	4	.084	1.247	.335
	Error	.978	14.518	.067 <sup>b</sup>		
<b>LOAD</b>	Hypothesis	15.188	4	3.797	48.526	.000
	Error	1.346	17.204	.078 <sup>c</sup>		
<b>RPM</b>	Hypothesis	.336	2	.168	8.340	.022
	Error	.108	5.377	.020 <sup>d</sup>		
<b>Fuel * LOAD</b>	Hypothesis	1.098	16	.069	5.825	.000
	Error	.377	32	.012 <sup>e</sup>		
<b>Fuel * RPM</b>	Hypothesis	.084	8	.011	.892	.534
	Error	.377	32	.012 <sup>e</sup>		
<b>LOAD * RPM</b>	Hypothesis	.171	8	.021	1.818	.110
	Error	.377	32	.012 <sup>e</sup>		
<b>Fuel * LOAD * RPM</b>	Hypothesis	.377	32	.012		
	Error	.000	0	. <sup>f</sup>		



شکل ۴- تغییرات میزان انتشار مونوکسید کربن با تغییرات سرعت دورانی در بار ۲۵ درصد و در نسبت‌های مختلف بیودیزل

Fig. 4 - Changes in carbon monoxide emission with changes in rotational speed at 25% load and at different biodiesel ratios

تأثیر بار، سرعت دورانی موتور و ترکیب سوخت بیودیزل بر میزان انتشار CO<sub>2</sub> بر میزان انتشار CO<sub>2</sub> بیودیزل بر میزان انتشار CO<sub>2</sub> سوخت بیودیزل بر میزان انتشار CO<sub>2</sub> جدول ۵ نتایج تحلیل واریانس اثر ترکیب مختلف سوخت بیودیزل، بار و سرعت دورانی موتور

بر میزان انتشار دی‌اکسید کربن را نشان می‌دهد. تغییرات بار، سرعت دورانی و اثر ترکیبی بار و ترکیب سوخت بیودیزل بر میزان انتشار دی‌اکسید کربن معنی‌دار است ولی اثر ترکیب سوخت بیودیزل

است (Ghazikhani *et al.*, 2009; Shakir *et al.*, 2025).

از طرف دیگر، با مقایسه مخلوط‌های بیودیزل-گازوئیل با سوخت خالص گازوئیل، مشاهده شد که هر مخلوط در سرعت‌های مختلف موتور از نظر تولید دی‌اکسیدکربن رفتاری متفاوت دارد، به طوری که یک ترکیب خاص در یک سرعت ممکن است میزان دی‌اکسیدکربن را نسبت به گازوئیل افزایش دهد و در سرعت دیگر کاهش نشان دهد. این تغییرات احتمالاً به دلیل تأثیر همزمان ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی بیودیزل، اختلاط سوخت-هوا، ماهیت پیچیده احتراق سوخت‌های ترکیبی و زمان احتراق مؤثر در شرایط مختلف موتور است که سبب می‌شود تولید دی‌اکسیدکربن برای مخلوط‌ها نسبت به سوخت گازوئیل خالص از روند مشخصی پیروی نکند.

به بیان دیگر، بیودیزل حاوی اکسیژن، گرانیروی متفاوت، عدد ستان بیشتر و الگوی تبخیر متفاوت نسبت به گازوئیل است (Khalife *et al.*, 2017). بنابراین وقتی درصد اختلاط تغییر کند شرایط اختلاط سوخت-هوا، دمای شعله، تلاطم، و زمان‌بندی مؤثر احتراق به شکل غیرخطی تغییر می‌کند. این عوامل موجب می‌شوند که میزان سوختن کامل یا ناقص در هر ترکیب به صورت ساده قابل پیش‌بینی نباشد. در نتیجه، میزان دی‌اکسید کربن در برخی درصدهای سوختی ممکن است افزایش و در برخی دیگر کاهش یابد.

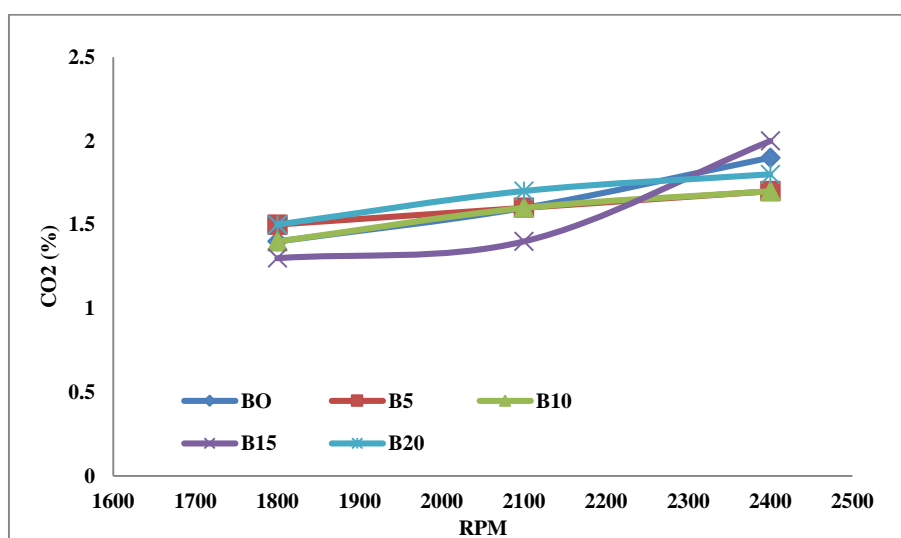
معنی‌دار نیست. با افزایش مصرف سوخت که ناشی از افزایش بار و نیز سرعت دورانی موتور است میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن افزایش یافته است. با افزایش درصد بیودیزل در سوخت، میزان انتشار دی‌اکسیدکربن افزایش یافته (شکل ۵) هرچند این میزان افزایش از نظر آماری معنی‌دار نیست. مولکول‌های تشکیل دهنده سوخت بیودیزل برخلاف سوخت دیزل، دارای مقادیر مختلفی اکسیژن است. این مولکول‌ها در دمای زیاد محفظه احتراق تجزیه می‌شوند و در نتیجه اکسیژن آزاد می‌شود به احتراق بهتر سوخت کمک می‌کند (Jam *et al.*, 2021).

برای تمامی مخلوط‌های سوختی با افزایش سرعت موتور میزان دی‌اکسید کربن افزایش می‌یابد. در بار ثابت، موتور برای تولید توان بیشتر در سرعت‌های بالاتر نیازمند انرژی ورودی بیشتری است. بنابراین، افزایش مصرف سوخت موجب افزایش دی‌اکسیدکربن به‌عنوان محصول احتراق کامل می‌شود. از طرف دیگر، افزایش سرعت دورانی باعث کاهش زمان در دسترس برای تبخیر، اختلاط و تکمیل واکنش‌های احتراق می‌شود. بنابراین بخشی از سوخت فرصت اکسیداسیون کامل را پیدا نمی‌کند و به صورت مونوکسیدکربن آزاد می‌شود که در شکل ۴ مشاهده می‌گردد. با توجه به شکل‌های ۴ و ۵، افزایش هم‌زمان مونوکسیدکربن و دی‌اکسیدکربن برای تمامی مخلوط‌ها با افزایش سرعت موتور به دلیل کاهش زمان مؤثر احتراق و افزایش احتراق ناقص و مصرف بیشتر سوخت در واحد زمان

جدول ۵- نتایج تحلیل واریانس بر میزان انتشار دی‌اکسید کربن

Table 5- Results of variance analysis on carbon dioxide emissions

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
<b>Intercept</b>	Hypothesis	262.829	1	262.829	53.096	.000
	Error	28.805	5.819	4.950 <sup>a</sup>		
<b>Fuel</b>	Hypothesis	.509	4	.127	1.254	.324
	Error	1.837	18.123	.101 <sup>b</sup>		
<b>LOAD</b>	Hypothesis	14.930	4	3.732	41.836	.000
	Error	1.378	15.447	.089 <sup>c</sup>		
<b>RPM</b>	Hypothesis	2.406	2	1.203	51.808	.000
	Error	.146	6.295	.023 <sup>d</sup>		
<b>Fuel * LOAD</b>	Hypothesis	1.426	16	.089	8.190	.000
	Error	.348	32	.011 <sup>e</sup>		
<b>Fuel * RPM</b>	Hypothesis	.185	8	.023	2.126	.062
	Error	.348	32	.011 <sup>e</sup>		
<b>LOAD * RPM</b>	Hypothesis	.088	8	.011	1.008	.450
	Error	.348	32	.011 <sup>e</sup>		
<b>Fuel * LOAD * RPM</b>	Hypothesis	.348	32	.011	.	.
	Error	.000	0	.	.	.



شکل ۵- تغییرات میزان انتشار دی‌اکسید کربن با تغییر سرعت دورانی در بار ۲۵ درصد و در نسبت‌های مختلف بیودیزل  
Fig. 5 - Changes in carbon dioxide emission with changing rotational speed at 25% load and at different biodiesel ratios

تأثیر بار، سرعت دورانی موتور و ترکیب سوخت بیودیزل بر میزان انتشار UHC  
جدول ۶ نتایج تحلیل واریانس اثر ترکیب مختلف سوخت بیودیزل، بار و سرعت دورانی موتور

بر میزان انتشار هیدروکربن‌های نسوخته را نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود تغییرات بار، سرعت دورانی و اثر ترکیبی بار و ترکیب سوخت بیودیزل و نیز اثر ترکیبی سرعت دورانی و بار بر

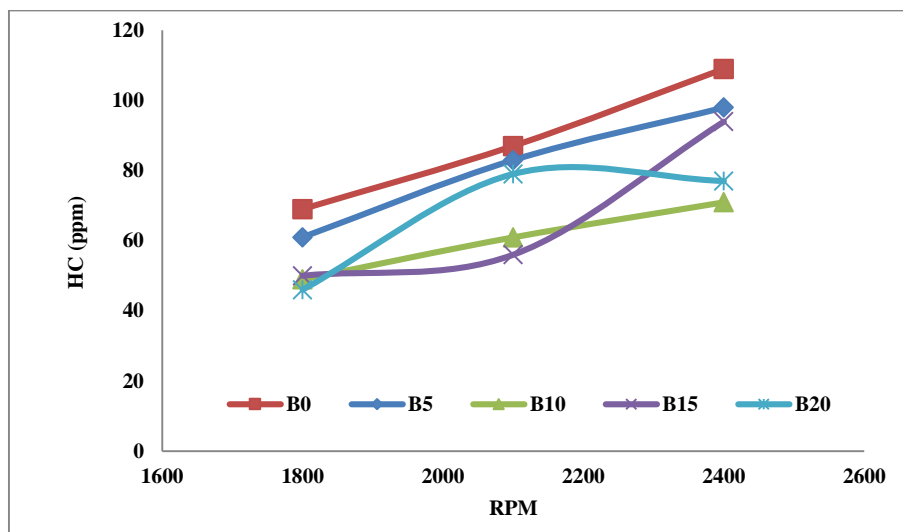
اگرچه افزایش ترکیب سوخت بیودیزل در آزمایش‌ها تأثیر معنی‌داری بر میزان انتشار هیدروکربن‌های نسوخته نداشته است. جم و همکاران (Jam *et al.*, 2021) در خصوص سوخت بیودیزل حاصل از روغن زیتون تلخ به این نتیجه رسیدند که با افزایش ترکیب سوخت بیودیزل، میزان انتشار هیدروکربن‌های نسوخته کاهش می‌یابد. اگرچه در بیشتر مطالعات روند حاصل شده در این مطالعه حاکم نیست ولی کروزی‌شکی (Kruczyński, 2013) در نتایج پژوهش‌های خود برای روغن کاملینا روند مشابهی با نتایج این پژوهش ارائه داده است.

میزان انتشار دی‌اکسید کربن معنی‌دار است ولی اثر ترکیب سوخت بیودیزل معنی‌دار نیست. اگرچه بر اساس منحنی‌های شکل ۶ با افزایش سرعت دورانی موتور در هر بار میزان انتشار هیدروکربن‌های نسوخته در هر ترکیب سوخت افزایش دارد ولی این میزان برای اثر تمام ترکیبات سوخت از B0 تا B20 معنی‌دار نیست. بر اساس شکل ۶، با افزایش سرعت دورانی موتور، در هر ترکیب سوخت بیودیزل میزان انتشار هیدروکربن‌های نسوخته افزایش دارد. در این حالت برای احتراق سوخت بیودیزل میزان اکسیژن کافی نیست، از این رو بخشی از سوخت به صورت خام از

جدول ۶- نتایج تحلیل واریانس آزمون‌های انتشار آلاینده هیدروکربن‌های نسوخته

Table 6 - Results of analysis of variance of unburned hydrocarbon pollutant emission tests

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
<b>Intercept</b>	Hypothesis	1151712.480	1	1151712.480	11.656 .018
	Error	515951.013	5.222	98812.605 <sup>a</sup>	
<b>Fuel</b>	Hypothesis	2710.587	4	677.647	.401 .805
	Error	26502.997	15.699	1688.222 <sup>b</sup>	
<b>LOAD</b>	Hypothesis	329095.653	4	82273.913	30.066 .000
	Error	54127.998	19.780	2736.488 <sup>c</sup>	
<b>RPM</b>	Hypothesis	37650.480	2	18825.240	14.515 .002
	Error	10323.006	7.959	1296.948 <sup>d</sup>	
<b>Fuel * LOAD</b>	Hypothesis	26675.947	16	1667.247	8.065 .000
	Error	6615.413	32	206.732 <sup>e</sup>	
<b>Fuel * RPM</b>	Hypothesis	1821.653	8	227.707	1.101 .388
	Error	6615.413	32	206.732 <sup>e</sup>	
<b>LOAD * RPM</b>	Hypothesis	10207.787	8	1275.973	6.172 .000
	Error	6615.413	32	206.732 <sup>e</sup>	
<b>Fuel * LOAD * RPM</b>	Hypothesis	6615.413	32	206.732	.
	Error	.000	0	. <sup>f</sup>	



شکل ۶- تغییر میزان انتشار هیدروکربن‌های نسوخته با تغییر سرعت دورانی در بار ۲۵ درصد و در نسبت‌های مختلف بیودیزل  
 Fig. 6 - Variation in unburned hydrocarbon emission with rotational speed at 25% load and at different biodiesel ratios

شجاعی‌فرد و همکاران (Shojaeefard *et al.*, 2014) در مورد به کارگیری سوخت بیودیزل حاصل از روغن نارگیل نتایج متفاوتی را نشان می‌دهد. میزان انتشار آلاینده ناکس به عواملی مانند بازده حجمی، اکسیژن موجود در سوخت، دمای بیشینه شعله و تأخیر در اشتعال سوخت و ویژگی‌های پاشش سوخت بستگی دارد (Shojaeefard *et al.*, 2014). با افزایش سرعت دورانی موتور، میزان انتشار گازهای ناکس کاهش می‌یابد. دلیل این پدیده را می‌توان کوتاه‌تر شدن دوره زمانی تحلیل کرد که گازهای سوخته شده در دمای بیشینه خود هستند. یکی از دلایل عمده تولید گازهای ناکس فشار و دمای بالا در محفظه احتراق است. اصولاً با افزایش سرعت دورانی موتور مقدار زیادتری سوخت به داخل محفظه احتراق پاشیده می‌شود ولی مدت ماندن سوخت در محفظه احتراق کاهش و دمای محفظه احتراق نیز کاهش می‌یابد. این کاهش دما باعث می‌شود تا میزان ناکس کمتری تولید شود (Velmurugan & Sathiyagnanam, 2017). بیودیزل حاصل از روغن کوشیا، نسبت به

تأثیر بار، سرعت دورانی موتور و ترکیب سوخت بیودیزل بر میزان انتشار NO<sub>x</sub>

همان‌گونه که در جدول ۷ مشخص است، به جز اثر ترکیب سوخت بیودیزل، بقیه اثرها شامل بار، سرعت دورانی و نیز اثرهای ترکیبی همه متغیرها شامل ترکیب سوخت بیودیزل، بار و سرعت دورانی موتور بر میزان انتشار آلاینده NO<sub>x</sub> معنی‌دار است. شکل ۷ روند تغییرات انتشار گازهای ناکس را در ترکیبات مختلف سوخت بیودیزل با تغییرات سرعت دورانی موتور در بار ۲۵ درصد نشان می‌دهد. همان‌گونه که از شکل مشخص است با افزایش سرعت دورانی موتور از ۱۸۰۰ به ۲۴۰۰ دور در دقیقه، در تمام ترکیبات مختلف سوخت بیودیزل میزان انتشار گازهای ناکس کاهش یافته است. این نتیجه با نتایج مطالعات جم و همکاران (Jam *et al.*, 2021) برای سوخت بیودیزل حاصل از روغن زیتون تلخ سازگار است. آجیلیان ممتاز و ممهدی هروی (Ajilian Momtaz. & Momhadi Heravi, 2012) نتایج مشابهی برای بیودیزل حاصل از دانه آفتابگردان گزارش کرده‌اند. اگرچه نتایج مطالعات

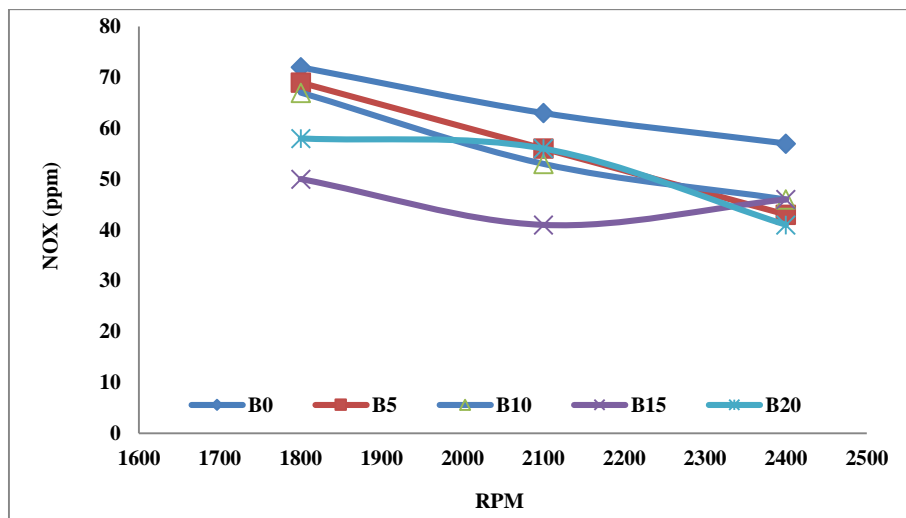
سوخت دیزل، دارای عدد ستان بالاتری است، لذا افزودن بیودیزل به سوخت منجر به تأخیر در اشتعال سوخت در محفظه احتراق می‌شود و در نتیجه دما و فشار محفظه احتراق افزایش می‌یابد. در نتیجه نیتروژن موجود در هوا و نیز سوخت به میزان بیشتری با اکسیژن ترکیب می‌شود. برای بیان دقیق

دلیل کاهش این آلاینده نیاز به بررسی‌های بیشتر در زمینه تأثیر همزمان فاکتورهایی است از جمله مقدار اکسیژن درون محفظه احتراق، زمان واکنش‌های احتراقی، دمای محفظه احتراق، نوع و میزان درصد اسیدهای اشباع و غیراشباع موجود در روغن کوشیا (Mueller et al., 2009).

جدول ۷- نتایج تحلیل واریانس آزمون‌های انتشار آلاینده ناکس

Table 7 - Results of analysis of variance for NOx emission tests

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
<b>Intercept</b>	Hypothesis	230963.253	1	230963.253	61.166.000
	Error	22368.121	5.924	3776.003a	
<b>Fuel</b>	Hypothesis	1964.480	4	491.120	1.721 .186
	Error	5485.456	19.222	285.370b	
<b>LOAD</b>	Hypothesis	11395.147	4	2848.787	9.336 .000
	Error	6269.232	20.546	305.137c	
<b>RPM</b>	Hypothesis	1582.187	2	791.093	7.564 .008
	Error	1238.785	11.844	104.593d	
<b>Fuel * LOAD</b>	Hypothesis	4006.453	16	250.403	16.813.000
	Error	476.587	32	14.893e	
<b>Fuel * RPM</b>	Hypothesis	398.880	8	49.860	3.348 .007
	Error	476.587	32	14.893e	
<b>LOAD * RPM</b>	Hypothesis	557.013	8	69.627	4.675 .001
	Error	476.587	32	14.893e	
<b>Fuel * LOAD * RPM</b>	Hypothesis	476.587	32	14.893	. .
	Error	.000	0	.f	



شکل ۷- تغییر میزان انتشار NOx با تغییر سرعت دورانی در بار ۲۵ درصد و در نسبت‌های مختلف بیودیزل

Fig. 7 - Change in NOx emission rate with changing rotational speed at 25% load and at different biodiesel ratios

**نتیجه‌گیری**

در تمام سرعت‌های آزمایشی موتور، استفاده از مخلوط‌های بیودیزل کوشیا و گازوئیل نسبت به گازوئیل خالص میزان هیدروکربن‌های نسوخته و اکسیدهای نیتروژن به مقدار قابل توجهی کاهش می‌یابد. در مورد انتشار آلاینده‌های مونوکسیدکربن و دی‌اکسیدکربن، تولید این آلاینده‌ها برای مخلوط‌های سوختی نسبت به سوخت گازوئیل خالص از روند مشخصی پیروی نکرد.

بیشترین کاهش مونوکسیدکربن به میزان ۱۷/۶۵ درصد نسبت به گازوئیل خالص، در سرعت ۲۱۰۰ دور بر دقیقه و برای مخلوط حاوی ۱۵ درصد بیودیزل مشاهده شد. بیشترین کاهش هیدروکربن‌های نسوخته به میزان ۶۳/۳۵ درصد و بیشترین کاهش اکسیدهای نیتروژن معادل ۳۵ درصد نیز در همین سرعت و برای مخلوط حاوی ۱۵ درصد بیودیزل حاصل شد.

با توجه به اینکه موتورهای دیزل بخش بزرگی از توان محرک در کشاورزی، صنعت و حمل‌ونقل را تأمین می‌کنند و دو آلاینده مهم آن‌ها - هیدروکربن‌های نسوخته و اکسیدهای نیتروژن - نقش قابل توجهی در آلودگی هوا دارند، کاهش این ترکیبات به یکی از اولویت‌های اصلی در جایگزینی گازوئیل با سوخت‌های بیودیزل تبدیل شده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از بیودیزل تولید شده از گیاه کوشیا می‌تواند هر دو آلاینده را به طور هم‌زمان کاهش دهد. از این رو، بیودیزل کوشیا می‌تواند گزینه‌ای مناسب و سازگار با محیط‌زیست برای تولید سوخت‌های زیستی باشد، یافته‌های این مطالعه از این منظر بااهمیت است.

در این پژوهش، با هدف تولید بیودیزل از روغن‌های غیرخوراکی، فرایند تولید بیودیزل از گیاه کوشیا به عنوان ماده خام اولیه بررسی شد. بعد از جمع‌آوری دانه‌های روغنی کوشیا و فرایند خالص‌سازی، روغن از آن‌ها استخراج شد. از روش ترانس استریفیکاسیون دو مرحله‌ای برای تولید بیودیزل کوشیا استفاده شد. بعد از تولید بیودیزل، بیودیزل تولیدی در نسبت‌های حجمی مختلف ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد با سوخت گازوئیل مرسوم مخلوط شد. آزمون‌های موتور با هدف بررسی آلاینده‌های خروجی موتور دیزل تک سیلندر، برای گازوئیل خالص (B0) و مخلوط‌های مختلف بیودیزل و گازوئیل (B5، B10، B15، B20) در سه سطح سرعت دورانی (۱۸۰۰، ۲۱۰۰ و ۲۴۰۰ دور بر دقیقه و بار ثابت ۲۵ درصد به اجرا در آمد.

بررسی آلاینده‌های اگزوست نشان داد که استفاده از مخلوط‌های بیودیزل کوشیا با گازوئیل در مقایسه با سوخت گازوئیل خالص، در کاهش آلاینده‌های اصلی حاصل از احتراق در موتور دیزل موثر است.

در ارتباط با تأثیر سرعت موتور بر آلاینده‌های حاصل از احتراق، نتایج نشان داد با افزایش سرعت موتور در یک بار ثابت میزان مونوکسیدکربن و دی‌اکسیدکربن برای تمام سوخت‌های مورد آزمایش افزایش می‌یابد. اما برای هیدروکربن‌های نسوخته و اکسیدهای نیتروژن با افزایش سرعت موتور در بار ثابت روند کاهشی مشاهده می‌شود.

## مراجع

- Abideen, Z., Qasim, M., Rizvi, R., Gul, B., Ansari, R., & Khan, M. (2015). Oilseed halophytes: a potential source of biodiesel using saline degraded lands. *Biofuels*, 6 (5-6), 241-248. <https://doi.org/10.1080/17597269.2015.1090812>.
- Ajiliani Momtaz, A., & Momhadi Heravi, H. (2012). Laboratory study of the effect of using the FGR method on maximum flame temperature and NOx emission in the combustion of diesel and biodiesel. *Journal of Energy Management*, 3, 38-45. (in Persian)
- Daho, T., Vaitilingom, G., Ouiminga, S.K., Piriou, B., Zongo, A.S., Ouoba, S., Koulidiati, J. (2013). Influence of engine load and fuel droplet size on performance of a CI engine fueled with cottonseed oil and its blends with diesel fuel. *Applied Energy*, 111, 1046-1053. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.05.059>.
- Ghazikhani, M., Kalateh, M. R., Toroghi, Y. K., & Dehnavi, M. (2009). *An experimental study on the effect of EGR and engine speed on CO and HC emissions of dual fuel HCCI engine. Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology*, April 28-30, Rome, Italy.
- Jam, H., Ghazanfari Moghaddam, A., & Shamsi, M. (2021). Biodiesel preparation by transesterification Persian lilac oil seeds and investigating the effects of utilizing it in a diesel engine on exhaust pollutants. *Sustainable Agricultural Science Research*, 1(1), 57-70. (in Persian)
- Kapikiran, O. F., Variyenli, H. I., Okten, M., & Kilic, S. S. (2025). Reducing carbon footprint in Ankara: The use of biodiesel produced from waste oils in public transportation. *Journal of Science. Part C*, 13(1), 219-230. <http://doi.org/10.29109/gujsc.1581273>.
- Khalife, E., Tabatabaei, M. Demirbas, A., & Aghbashlo, M. (2017). Impacts of additives on performance and emission characteristics of diesel engines during steady state operation. *Progress in Energy and Combustion Science*, 59, 32-78. <https://doi.org/10.1016/j.peccs.2016.10.001>.
- Kruczyński, S.W. (2013). Performance and emission of CI engine fuelled with camelina sativa oil. *Energy Conversion and Management*, 65, 1-6. <http://doi.org/10.1016/j.enconman.2012.06.022>.
- Manigandan, S., Gunasekar, P., Praveenkumar, T. R., Sabir, S. M. J., Mathimani, T., Pugazhendhi, A., & Brindhadevi, K. (2021). Performance, noise and emission characteristics of DI engine using canola and Moringa oleifera biodiesel blends using soluble multiwalled carbon nanotubes. *Fuel*, 289, 119829. <http://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119829>.
- Mueller, C. J., Boehman, A. L., & Martin, G. C. (2009). An experimental investigation of the origin of increased NOx emissions when fueling a heavy-duty compression-ignition engine with soy biodiesel. *SAE International Journal of Fuels and Lubricants*, 2, 789-816. <http://doi.org/10.4271/2009-01-1792>.
- Nabati, J., Kafi, M., Nezami, A., Rezvani Moghaddam, P., Masoumi, A., & Zare Mehrjerdi, M., (2012). Investigation of Possible Production of Oil and Biomass in Biosaline Agriculture. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 6, 615-622. <http://doi.org/10.22067/gsc.v9i4.13240>. (in Persian)
- Protoska, V. (2023). Study of the amino acids composition of *Kochia Scoparia* (L.) Schard. *Fitoterapia*, 3, 123-126. <http://doi.org/10.32782/2522-9680-2023-3-119>.
- Sahoo, P. K., Das, L. M., Babu, M. K. G., Arora, P., Singh, V. P., & Kumar, N. R. (2009). Comparative Evaluation of Performance and Emission Characteristics of Jatropha, Karanja and Polanga Based Biodiesel as Fuel in a Tractor Engine. *Fuel*, 88(9), 1698-1707. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2009.02.015>.

- Shakir, S. K., Obaid, Z. H., & Hussein, E. K. (2025). Experimental study on the effect of varying compression ratios on fuel consumption and emissions in a spark ignition engine. *International Journal of Heat & Technology*, 43(4), 1367-1376. <https://doi.org/10.18280/ijht.430414>.
- Sharma, R., Wungrampha, S., Singh, V., Pareek, A., & Sharma, M. K. (2016). Halophytes as bioenergy crops. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1372. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01372>.
- Shojaeefard, M. H., Tahani, M., Etghani, M. M., & Akbari, M. (2014). Investigation of performance and exhaust emissions in direct injection engine using coconut oil biodiesel. *Journal of Selected Topics in Energy*. 1(1), 1-7. (in Persian)
- Sobhani, M. R. (2014). Evaluation of different salinity stress and plant densities effects on quantitative and qualitative forage and grain yields of *Bassia scoparia* in Arak region. *Journal of Plant Production Research*, 21, 91-110. (in Persian)
- Solaymani, S. (2023). Biodiesel and its potential to mitigate Transport related CO<sub>2</sub> emissions. *Carbon Research*, 2. <https://doi.org/10.1007/s44246-023-00067-z>.
- Velmurugan, K., & Sathiyagnanam, A. P. (2017). Effect of biodiesel fuel properties and formation of NO<sub>x</sub> emissions: A review. *International Journal of Ambient Energy*, 38(6), 644-651. <https://doi.org/10.1080/01430750.2016.1155486>.
- Wu, F., Wang, J., Chen, W., & Shuai, S. (2009). Study on emission performance of a diesel engine fueled with five typical methyl ester biodiesels. *Atmospheric Environment*, 43(7), 1481-1485. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.12.007>.
- Yari, N., Mostafaei, M., Naderloo, L., & Safieddin Ardebili, S. M. (2017). Biodiesel production from waste fish oil using a combination of mechanical stirring and microwave. *Fuel and Combustion*, 10(3), 1-14. (in Persian)
- Yusuf, M., & Athar, M. (2015). Biodiesel production using hexane as co-solvent. *Biofuels* 6, 88. <http://doi.org/10.5958/0976-4763.2015.00013.6>.
- Zhang, Y., Zhong, Y., Lu, S., Zhang, Z., & Tan, D. (2022). A comprehensive review of the properties, performance, combustion, and emissions of the diesel engine fueled with different generations of biodiesel. *Processes*, 10(6), 1178. <https://doi.org/10.3390/pr10061178>.

## Studying the Effect of Biodiesel Derived from Non-Edible *Bassia Scoparia* Seeds on Diesel Engine Emission Indices

K. Daemi Milani, B. Beheshti\* and M. Ghahderijani

\*Corresponding Author: Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran. Email: Beheshti-b@srbiau.ac.ir

<https://orcid.org/0000-0001-6259-2302>

Received: 5 May 2026, Accepted: 13 June 2026

<https://doi.org/10.22092/amsr.2026.372709.1535>

### Abstract

In this study, the non-edible oilseed of the *Bassia scoparia* plant was introduced as a raw material for biodiesel production and the effect of the resulting biodiesel on the emission of pollutants from a diesel engine was investigated. After purification of *Bassia scoparia* seeds, oil extraction was performed. In order to investigate the emission of pollutants, an air-cooled single-cylinder engine was used. Emission tests were conducted to determine the effects of engine speed, load, and fuel composition on carbon monoxide, carbon dioxide, unburned hydrocarbons, and NOX using an exhaust gas measurement system. The experiments were conducted at three engine speed levels (1800, 2100 and 2400 rpm), five load levels (0, 25, 50, 75 and 100 percent) and five different biodiesel ratios (B0, B5, B10, B15 and B20). 25 percent load was chosen as a stable and conventional operating condition in the low-load region to allow for the evaluation of the independent effect of engine speed on pollutants. In order to investigate the effect of independent variables on dependent variables, analysis of variance with a completely randomized experimental design was used. The findings of this study showed that engine operation at a constant load of 25 percent and a rotational speed of 2100 rpm, when using a blend containing 15 percent biodiesel, significantly improved the emission indices. Under the same conditions, the highest reduction in carbon monoxide was 17.65% compared to pure diesel. Also, the highest reduction in unburned hydrocarbons was 63.35% and the highest drop in nitrogen oxides was 35% for the same mixing ratio.

**Keywords:** *Bassia Scoparia* Oilseed, Combustion Engine, Pollutants, Transesterification



© 2024 Agricultural Mechanization and Systems Research, Karaj, Iran. This is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license)