

تولید توان پایدار از موتور دیزل دوگانه سوز در حضور بیودیزل بیواتانول و بیوگاز: ارزیابی به کمک روش چرخه حیات

راضیه پوردربانی^{۱*}، سید علی موسوی^۲

۱- دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، r_pourdarbani@uma.ac.ir

۲- دانشجوی دکتری، مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ali.mousavi.9764@gmail.com

* نویسنده مخاطب

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۱۰، دریافت آخرین اصلاحات: ۱۴۰۲/۱۱/۰۹، پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۶)

چکیده: انتشارات مضر احتراق سوخت‌های فسیلی محققان را تشویق می‌کند تا سوخت‌های جایگزین مانند بیودیزل را مطالعه کنند. البته آنالیز آلاینده‌گی مشکل اصلی برای انتخاب سوخت مناسب است. بنابراین، در این مطالعه، یک موتور دیزل دوگانه سوز برای رویکردهای ارزیابی عملکرد و چرخه حیات محیطی مورد بررسی قرار گرفته است. علاوه بر این، مخلوطی شامل بیودیزل مشتق از روغن آفتابگردان با افزودنی بیواتانول ۳، ۵ درصد و ۷ درصد و بیوگاز خالص در کسری ۵۰ تا ۸۰ درصد به عنوان سوخت در فرآیند احتراق تهیه می‌شود. بر این اساس، در این تحقیق هشت نمونه سوخت تهیه و به همراه سوخت دیزل (به عنوان سوخت شاهد) مورد مطالعه قرار گرفته است. تمام مراحل از تولید نهاده تا احتراق نمونه‌های سوخت شامل استخراج روغن از دانه‌های آفتابگردان، تولید بیودیزل و بیواتانول و تولید گاز طبیعی مشتق شده از بیوگاز خالص در ارزیابی چرخه حیات به‌طور جامع، به‌عنوان یک موضوع جذاب و ابتکاری در نظر گرفته می‌شود. این نمونه‌ها در یک موتور دوگانه سوز تحت احتراق قرار گرفتند. نتایج نشان می‌دهد که نمونه سوخت B5 و ۳ درصد از افزودنی بیواتانول در عملکرد موتور و آلاینده‌گی آگروز بهترین‌ها هستند. علاوه بر این، شرایط بهتری هم در عملکرد موتور و هم در آلاینده‌های آگروز در حداقل نرخ کسر گاز طبیعی (۵۰٪) به‌دست آمد. ارزیابی چرخه حیات جامع مزرعه تا احتراق نشان می‌دهد که ترکیب سازگار با محیط‌زیست با شاخص‌های عملکرد قابل‌قبول متعلق به B5E7 با ۵۰٪ کسر گاز طبیعی در بار کامل موتور است.

کلیدواژه‌گان: ارزیابی چرخه حیات؛ بیواتانول؛ بیودیزل؛ بیوگاز؛ تولید توان پایدار؛ موتور دیزل

مقدمه

در جست‌وجوی راه‌حل‌های انرژی پایدار، بخش‌های حمل‌ونقل و تولید انرژی در خط مقدم نوآوری و تحقیق قرار گرفته‌اند که ناشی از نیاز قانع‌کننده برای رسیدگی به تقاضای جهانی انرژی و چالش‌های زیست‌محیطی فزاینده است [۱، ۲]. جهان شاهد افزایش بی‌سابقه‌ای در مصرف انرژی است که ناشی از رشد جمعیت، شهرنشینی و صنعتی شدن است. در نتیجه، این افزایش فشار زیادی بر منابع سوخت فسیلی متعارف وارد می‌کند که منجر به نگرانی‌هایی در مورد کاهش در دسترس بودن آنها و اثرات زیان‌بار محیطی مرتبط با استخراج، پالایش و احتراق آنها می‌شود [۳، ۴].

مسائل مبرم تخریب محیط زیست و تغییرات آب و هوایی به‌طور فزاینده‌ای مشهود است و یادآور نیاز فوری به انتقال به سمت منابع انرژی پاک‌تر و پایدارتر است. پیامدهای نامطلوب این مسائل زیست محیطی به صورت رویدادهای شدید آب و هوایی، بالا آمدن سطح آب دریاها، از بین رفتن تنوع زیستی و اختلال در اکوسیستم‌ها آشکار می‌شود [۵، ۶]. علاوه بر این، آنها خطرات عمیقی برای سلامت و رفاه انسان دارند و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، به ویژه دی‌اکسیدکربن، تولید شده توسط احتراق سوخت‌های فسیلی را ضروری می‌کند [۷-۹].

برای مبارزه با این چالش‌ها، اکتشاف منابع انرژی جایگزین و سازگار با محیط زیست به یک تلاش اساسی تبدیل شده است. این اکتشاف شامل یک رویکرد چند وجهی، از جمله توسعه فن آوری‌های انرژی تجدیدپذیر، افزایش بهره‌وری انرژی، و پیگیری سوخت‌های پایدار است. در میان این رویکردها، یکی از راه‌های قابل توجه ادغام سوخت‌های تجدیدپذیر در موتورهای احتراق داخلی است که نشان‌دهنده انحراف قابل توجهی از وابستگی به سوخت‌های فسیلی معمولی است. این تغییر منجر به ظهور موتورهای دیزلی دوگانه‌سوز شده است، فناوری که راه‌حلی امیدوارکننده برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و افزایش پایداری تولید توان ارائه می‌دهد [۱۰-۱۳].

بیودیزل، بیواتانول و بیوگاز به‌عنوان رقبای برجسته در حرکت به سمت راه‌حل‌های انرژی پایدار ظاهر شده‌اند. این سوخت‌های تجدیدپذیر با کاهش انتشار کربن، ارتقای امنیت انرژی و تنوع بخشیدن به منابع سوخت، مسیری را برای کاهش ردپای زیست‌محیطی حمل‌ونقل و تولید انرژی ارائه می‌کنند [۱۴-۱۷]. بیودیزل که از مواد اولیه آلی مانند روغن‌های گیاهی و چربی‌های حیوانی تولید می‌شود، پتانسیل را به‌عنوان یک جایگزین کم کربن و تجدیدپذیر برای سوخت دیزل معمولی نشان می‌دهد. اتانول زیستی که عمدتاً از تخمیر محصولات کشاورزی سنتز می‌شود، به‌عنوان افزودنی پاک و مکمل برای بیودیزل بوده و مزیت آن کاهش شدت کربن در حمل و نقل است. در همین حال، بیوگاز که از هضم بی‌هوازی مواد آلی مهار می‌شود، یک منبع انرژی همه‌کاره و پایدار است که نوید تولید انرژی را به شیوه‌ای پاک‌تر و کارآمدتر می‌دهد [۱۸-۲۰].

با توجه به پیچیدگی بخش انرژی، شامل مراحل مختلف از استخراج منابع تا مدیریت پایان عمر آن، انجام یک بررسی جامع از بعد اثرات زیست‌محیطی می‌تواند به‌عنوان رویکردی شفاف از مراحل مختلف فرایند باشد. روش ارزیابی چرخه حیات یک دیدگاه کل نگر ارائه می‌دهد که درک جامعی از پیامدهای زیست‌محیطی و شناخت معاوضه‌های بالقوه را تضمین می‌کند. در سیستم پویا و به هم پیوسته مانند استفاده از سوخت‌های تجدیدپذیر در موتورهای دیزلی دوگانه‌سوز، انجام ارزیابی چرخه حیات چارچوبی قوی برای تعیین کمیت و مقایسه عملکرد زیست‌محیطی گزینه‌های مختلف سوخت فراهم می‌کند که به شناسایی نقاط داغ محیطی و هدایت تصمیم‌گیرندگان به سمت پایداری کمک می‌کند. ارزیابی چرخه حیات همچنین به پیش‌بینی و کاهش عواقب ناخواسته‌ای که ممکن است از پذیرش این سوخت‌های تجدیدپذیر ناشی شود، از جمله اثرات جبران‌ناپذیر یا بازگشت کمک می‌کند. در عصر افزایش مقررات زیست‌محیطی و تأکید فزاینده بر پایداری در بازارها، ارزیابی چرخه حیات با ارائه روشی دقیق و شفاف برای ارزیابی اعتبار زیست‌محیطی، نقشی محوری در حمایت از توسعه سیاست، تصمیم‌گیری تجاری، و تلاش‌های تحقیق و توسعه ایفا می‌کند. ارزیابی چرخه حیات یک ابزار ضروری برای تعیین کمیت، مقایسه و بهینه‌سازی عملکرد زیست‌محیطی موتورهای دیزل دوگانه‌سوز با بیودیزل، بیواتانول و بیوگاز است که تولید توان پایدار و سازگار با محیط زیست را تسهیل می‌کند.

مطالعات متعددی در حوزه به کارگیری از روش ارزیابی چرخه حیات در موتورهای دوگانه‌سوز انجام شده است. جدول ۱ به ارایه خلاصه‌ای از مطالعات انجام شده می‌پردازد.

جدول ۱- خلاصه‌ای از مطالعات انجام شده در حوزه ارزیابی چرخه حیات در موتورهای دیزلی
Table 1- A summary of studies conducted in the field of life cycle assessment in diesel engines

Reference	Region	Fuel Additives			Method	Impact range	Engine performance
		Biodiesel	Bioethanol	Biogas			
[21]	EU	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	CML 2001	Partial	<input checked="" type="checkbox"/>
[22]	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Eco-indicator 99	Complete	<input checked="" type="checkbox"/>
[23]	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	IMPACT 2002+	Partial	<input checked="" type="checkbox"/>
[24]	EU	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	US GREET	Partial	<input checked="" type="checkbox"/>
[6]	Iran	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	IMPACT 2002+	Partial	<input checked="" type="checkbox"/>
[25]	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	ReCiPe 2008	Partial	<input checked="" type="checkbox"/>
[26]	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	US GREET	Partial	<input checked="" type="checkbox"/>
[27]	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	ReCiPe	Partial	<input checked="" type="checkbox"/>
[28]	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	ReCiPe	Partial	<input checked="" type="checkbox"/>
Present study	Iran	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	IMPACT 2002+	Complete	<input checked="" type="checkbox"/>

مطابق با جدول ۱ انجام مطالعه‌ای کل نگر با در نظر گرفتن تمام جوانب به کارگیری از بیواتانول بیودیزل و بیوگاز در یک موتور دوگانه سوز دیزل از ادبیات تحقیق جا مانده است. با توجه به این پیشرفت‌ها، انجام یک بررسی جامع از پایداری و اثرات زیست‌محیطی ترکیب بیودیزل، بیواتانول و بیوگاز در موتورهای دیزلی دوگانه سوز بسیار مهم است. پژوهش حاضر از روش ارزیابی چرخه حیات به عنوان یک چارچوب جامع و سیستماتیک برای ارزیابی پیامدهای زیست‌محیطی این سوخت‌های تجدیدپذیر در کل چرخه عمرشان، از تولید تا استفاده نهایی، استفاده می‌کند. با انجام یک تجزیه و تحلیل کامل ارزیابی چرخه حیات، هدف این پژوهش ارائه یک درک جامع از مزایای زیست‌محیطی، چالش‌های بالقوه و پایداری کلی موتورهای دیزلی دوگانه‌سوز است که توسط بیودیزل، بیواتانول و بیوگاز تولید توان می‌کنند. این تحقیق در تسهیل تصمیم‌گیری آگاهانه در مورد پذیرش این سوخت‌های جایگزین، که به نوبه خود نقشی حیاتی در انتقال مداوم به سمت چشم‌انداز انرژی سبزتر و پایدارتر ایفا می‌کند، مهم است.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه پژوهش در چهار مرحله انجام گرفت. دو مرحله اول شامل تولید بیودیزل و بیوگاز بود و مرحله سوم انجام فرایند تولید توان با استفاده از موتور دیزل دوگانه سوز در حضور نمونه سوخت‌ها بود. لازم به ذکر است در این مطالعه بیواتانول از آزمایشگاه زیست سوخت دانشگاه محقق اردبیلی تهیه شد و نهادهای تولید آن از آزمایشگاه دریافت شد. مرحله نهایی این پژوهش انجام فرایند ارزیابی چرخه حیات و مقایسه نهادهای تولید توان برای دستیابی به یک رویکرد تولید توان پایدار بود.

مطالعه موردی و جمع آوری داده‌های تولید آفتابگردان

این مطالعه در استان آذربایجان غربی که مرکز عمده تولید آفتابگردان در ایران است انجام شده است. در تحقیق حاضر، داده‌های ورودی و خروجی مختلفی برای تحلیل‌های مختلف مورد نیاز است. بنابراین داده‌های اولیه از برخی سازندگان جمع آوری شده و خروجی آنها برای استخراج نفت و مراحل بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این رابطه، پرسشنامه شامل سوالاتی در مورد کل سطح زیر کشت (هکتار)، مدت زمان تولید، عملکرد آفتابگردان در هکتار (کیلوگرم)، تعداد کارگران ثابت، تعداد کارگران روزانه، ساعات کاری روزانه، عملیات ماشین‌آلات مورد استفاده، انواع ماشین‌آلات مورد استفاده، وزن مونتاژ شده ماشین‌آلات در سال (کیلوگرم)، مصرف کل دیزل (لیتر)، کل مصرف توان (کیلووات ساعت)، انواع کودهای شیمیایی، وزن مونتاژ شده کودهای شیمیایی از هر نوع (کیلوگرم)، انواع بیوسیدهای شیمیایی، وزن مونتاژ شده بیوسیدها از هر نوع (کیلوگرم)، وزن مجموعه بذر برای فرآیند کاشت (کیلوگرم) است.

روش استخراج روغن

در دهه‌های اخیر، فرآیند صنعتی استخراج نفت به طور قابل توجهی اصلاح نشده است، با این حال چندین پیشرفت عملی در بهینه‌سازی و کنترل بهتر انجام شده است [۲۱،۲۲]. یک روش معمولی در استخراج روغن آفتابگردان شامل تهیه بذر و استخراج مکانیکی است [۲۳].

در تحقیق حاضر، از دستگاه پرس اتوماتیک روغن برای استخراج مکانیکی به منظور کاهش هزینه برای کارهای کوچک استفاده شده است. این دستگاه از شرکت پرس سرد ایران خریداری شده و مدل ICP-65 میلی متر با ظرفیت ۳۰۰ کیلوگرم در ۲۴ ساعت، توان ۱/۵ کیلووات ساعت و وزن ۱۸۰ کیلوگرم است.

تولید بیودیزل

ترانس استری کردن چربی‌های حیوانی و روغن‌های گیاهی رایج‌ترین روش تولید بیودیزل است [۳]. ترانس استریفیکاسیون یا الکلیز فرآیندی است که در آن یک الکل از یک استر با دیگری در فرآیندی مانند هیدرولیز جایگزین می‌شود، با این تفاوت که الکل به جای آب استفاده می‌شود [۲۴، ۲۵]. فرآیند فعلی برای کاهش ویسکوزیته تری‌گلیسیرید استفاده می‌شود. در این مطالعه بیودیزل از روغن آفتابگردان از طریق فرآیند ترانس استریفیکاسیون تولید می‌شود. در طی فرآیند ترانس استریفیکاسیون، اسیدهای چرب آزاد روغن آفتابگردان با متانول واکنش می‌دهند در حالی که از سدیم هیدروکسید به عنوان کاتالیزور استفاده می‌شود. نسبت مولی الکل به روغن ۶ است. دمای واکنش ۶۵ درجه سانتی‌گراد با مقدار کاتالیزور ۱ درصد در شدت اختلاط ۷۰۰ دور در دقیقه است. آزمایش‌ها به گونه‌ای انجام می‌شود که روغن تهیه شده تا دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد گرم می‌شود و همزمان محلولی از کاتالیزور (متانول و سدیم هیدروکسید) در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد در یک بشر دیگر (یا متوکسید) تهیه می‌شود. در مرحله بعد متوکسید آماده شده را به روغن گرم شده اضافه می‌کنند. شدت اختلاط بر روی ۷۰۰ دور در دقیقه و درجه حرارت ۶۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۵ دقیقه تنظیم می‌شود تا به نرخ تبدیل بالایی برسد. پس از آن محلول تهیه شده در دمای محیط قرار می‌گیرد. پس از کاهش دما به دمای محیط، هیدروکلریک اسید برای خنثی سازی به محلول اضافه می‌شود. جامد پس از ۴۸ ساعت خنثی سازی با فرآیند فیلتر کردن جدا می‌شود. در یک لیوان دیگر، آب تا دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد گرم می‌شود و سپس برای شستشو به فاز آبی جدا شده اضافه می‌شود. مرحله شستشو سه بار و فاصله هر بار حدود ۴۸ ساعت انجام می‌شود. در مرحله آخر، فاضلاب، بیواتانول و بیودیزل از طریق جداسازی گرانشی جدا می‌شوند. بیودیزل در قسمت بالایی برای چگالی کمتر در مقایسه با آب و بیواتانول جمع آوری می‌شود. بیودیزل جدا شده و سپس با استفاده از فیلتری با شبکه‌های کوچک خالص سازی می‌شود.

تولید بیوگاز

تخمیر بی‌هوازی به عنوان یک روش تجزیه زیستی برای تصفیه گسترده زباله‌های آلی مورد توجه قرار گرفته است. هدف تخمیر بی‌هوازی تبدیل زباله به دو گروه از مواد گرانبها و ضروری، یعنی بیوگاز و کود کشاورزی با کیفیت بالا است [۲۶]. بیوگاز گازی است که از فرآیند تخمیر بی‌هوازی آزاد می‌شود. در این فرآیند، ترکیبات آلی توسط میکروارگانیسم‌هایی که به صورت سنتروفی در غیاب اکسیژن زندگی می‌کنند و بیوگاز آزاد می‌کنند، به مواد ساده تجزیه می‌شوند [۲۷]. تخمیر بی‌هوازی به عنوان یک فرآیند بیولوژیکی شناخته شده است که برای تبدیل مواد زائد به منابع انرژی از طریق تصفیه پسماندهای آلی مختلف مانند ضایعات مواد غذایی، زباله‌های جامد شهری، لجن فاضلاب، زباله‌های صنعتی، پسماندهای کشاورزی و حیوانات استفاده می‌شود.

در واقع در حالی که منابع روزانه مواد زائد خام به سختی به دست می‌آیند، نیروگاه‌های بیوگاز از نوع دسته‌ای مناسب هستند. یک‌هاضم بارگذاری شده به اندازه ظرفیت مهر و موم شده پر می‌شود و زمان نگهداری کافی در هاضم داده می‌شود. پس از اتمام هضم، باقیمانده تخلیه شده و دوباره شارژ می‌شود.

تولید گاز متفاوت است زیرا فرآیند هضم باکتریایی به آرامی شروع می‌شود، به سر می‌رسد و با افزایش استفاده از مواد جامد فرار کاهش می‌یابد [۲۸]. در این تحقیق دسته‌ای هاضم بی‌هوازی نوع به دلیل برتری هزینه‌های کمتر مکانیسم و هزینه‌های عملیاتی برای تولید بیوگاز از کود گاوی استفاده می‌شود [۲۹].

در این تحقیق، تخمیر بی‌هوازی برای تولید بیوگاز از کود گاوی مصرف می‌شود. برای تولید بیوگاز، هاضم و درام شناور پلی وینیل کلرید استفاده می‌شود. یک درام معکوس و یک درام به ترتیب برای گنبد و هاضم شناور استفاده می‌شود.

خالص سازی بیوگاز

بیوگاز به دست آمده از فرآیند تجزیه بی هوازی عمدتاً شامل متان (به طور متوسط حدود ۵۰ درصد) و دی اکسیدکربن (حدود ۴۸ درصد) است. همچنین حاوی مقدار کمی از آلودگی‌های دیگر مانند سولفید هیدروژن، نیتروژن، آب، اکسیژن، آمونیاک و سیلوکسان‌ها است [۳۰]. خالص سازی بیوگاز تولید شده از طریق روش جابجایی آب یا به اصطلاح شستشو با محلول نیم مولار NaOH انجام شد. از آنجایی که متان به سختی قابل حل است و دی اکسیدکربن بسیار قابل حل است، گاز باقیمانده عمدتاً شامل متان است [۳۱]. غبارها و سایر گازهایی که مقدار کمی دارند (مانند سولفید هیدروژن) نیز از طریق این فرآیند حذف می‌شوند.

مقدار انرژی مصرف شده در این مرحله برای ارتقاء بیوگاز ۰/۴ کیلووات ساعت مترمکعب است. این فاز منجر به تولید گازی با ۹۷ درصد محتوای متان می‌شود. حدود ۶۰۰۰ متر مکعب بیوگاز برای ارتقاء روزانه مورد نیاز است. چگالی متان زمانی افزایش می‌یابد که دی اکسیدکربن و سایر آلودگی‌ها از طریق فرآیند ارتقاء حذف شوند و بنابراین بیومتان تولید شده می‌تواند به عنوان جایگزینی برای گاز طبیعی استفاده شود [۳۲]. هنگامی که سدیم هیدروکسید و آب با یکدیگر ترکیب می‌شوند، مقدار زیادی گرما به دلیل واکنش گرمایی تولید می‌شود. هنگامی که گرما از بین می‌رود، بیوگاز خام ممکن است اجازه عبور از محلول را داشته باشد که باعث کاهش دسترسی دی اکسیدکربن در بیوگاز می‌شود.

تهیه نمونه‌های سوخت

برای آماده سازی ترکیبات سوخت، مرحله اولیه احتراق دو بیودیزل/دیزل بدون گوگرد (B5 و B20) با بیوگاز استنباط شده گاز طبیعی در چهار نسبت (۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰٪ حجمی) به صورت جداگانه است. در مرحله دوم، بیواتانول در سه نسبت حجمی (۳، ۵ و ۷ درصد حجمی) به سوخت‌های فوق الذکر اضافه می‌شود که به ترتیب B20E3، B20E5، B20E7، 327 B5E3، B5E5، B5E7 نامیده می‌شوند.

از سوی دیگر، سوخت دیزل با مقدار مشخصی گاز طبیعی به عنوان تیمار کنترل در مقایسه با سوخت‌های تولید شده در نظر گرفته می‌شود. توجه به این نکته ضروری است که کل ترکیب‌ها با بار موتور ۱۰۰ درصد بررسی می‌شوند.

انجام تست موتور

به طور کلی تشخیص داده شده است که به دست آوردن درک عمیق در مورد رفتار موتور و بهبود فناوری موتورهای احتراق تراکمی داخلی می‌تواند منجر به کاهش مصرف سوخت و در نتیجه انتشار موتور شود [۳۳]. استفاده از سوخت‌های جایگزین یکی از رویکردهای اصلی برای رسیدگی به این چالش‌ها است [۳۴]. به طور خاص، احتراق دوگانه سوز جذاب است زیرا می‌توان آن را با تغییرات نسبتاً ساده در یک موتور دیزل معمولی انجام داد. مطالعات متعدد نشان داده اند که از این طریق می‌توان کاهش قابل توجه و پیوسته انتشار اکسیدهای نیتروژن را تنها با اندکی جریمه بر اثربخشی کل موتور به دست آورد [۳۵]. علاوه بر این، استفاده از گاز طبیعی به عنوان سوخت اصلی در موتورهای دیزلی دوگانه سوز برای کاهش انتشار موتور و همچنین بهره مندی از منابع انرژی از نظر اقتصادی مطلوب تر، امیدوارکننده بود [۳۶، ۳۷]. در این مطالعه، از یک موتور دیزل معمولی تک سیلندر، چهار زمانه، همراه با ژنراتور DC (MEZ-BURNO)، که توانی تا حدود ۱۰ کیلو وات تولید می‌کند (جدول ۲ مشخصات موتور دیزل دوگانه سوز را ارائه می‌دهد)، برای تجزیه و تحلیل کارایی و انتشار استراتژی‌های مختلف بر روی دیزل، بیودیزل، بیواتانول و سوخت گازی استفاده شده است.

تست موتور در بار کامل (۱۰۰ درصد) و در دور ثابت (۱۵۰۰ دور در دقیقه) انجام می‌شود. تجزیه و تحلیل گاز مورد استفاده برای اندازه‌گیری انتشار گازهای گلخانه‌ای AVL DiSmoke 4000 است. دقت تجهیزات تجربی و نرخ عدم قطعیت مشخصات در جدول ۳ نمایش داده شده است.

افزودن سوخت گازی از طریق یک میکسر گازی از طریق مجرای ورودی هوا به مینیفولد هوا انجام گرفت. برای تنظیم درصد حجمی بیوگاز ورودی از یک کنتور گاز با قابلیت تنظیم به صورت دستی استفاده شد. برای اجرای سیستم تست موتور دوگانه سوز از روش ارائه شده در مطالعه اردبیلی و همکاران (۲۰۲۱) [۲۶] استفاده شد. در این مطالعه شاخص‌های توان ترمزی موتور، مصرف سوخت ویژه ترمزی و بازده حرارتی ترمزی موتور برای محاسبه عملکرد موتور استفاده می‌شود [۳۸].

جدول ۲- مشخصات موتور دیزل دوگانه سوز

Table 2- The specifications of the dual-fuel diesel engine

Engine parameter	Specifications
Model	DEUTZ F1L511
No. of cylinder	1
Engine type	4 Stroke, Direct injection, naturally aspirated
Cooling system	Air cooling
Compaction ratio	17:1
Displacement volume	0.826
Maximum torque (N.m)	44 N.m @ 1200 rpm
Maximum power (kW)	5.7 kW @ 1500 rpm

جدول ۳- دقت تجهیزات آزمایشی و میزان عدم قطعیت پارامترهای مورد استفاده

Table 3- The accuracy of the test equipment and the degree of uncertainty of the parameters used

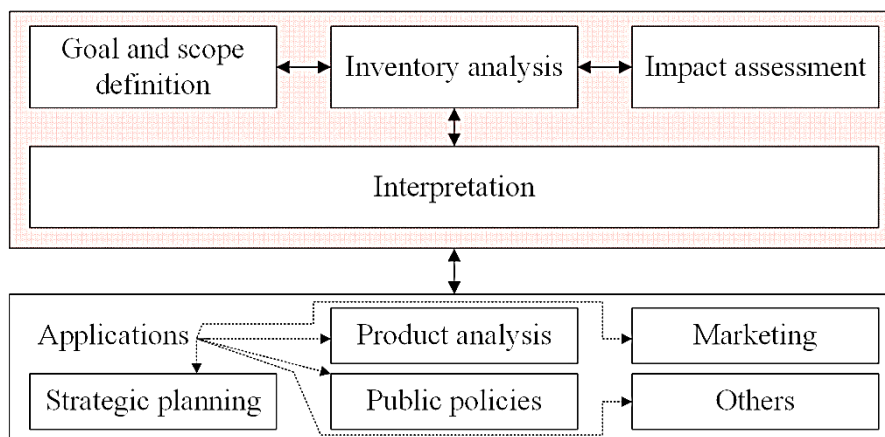
Parameter	Measuring instrument	Accuracy
Experimental parameters:		
DC generator	MEZ-BURNO	1 V
Fuel flow meter	Portable fuel consumption gauges FC-102-2	1 CC/s
Air flow meter	Extech Division AN100	1 m ³ /s
Engine emissions	AVL DiSmoke 4000 gas analyzer	0.01%-1ppm
Calculated parameters:		
Brake power (BP)		< 1%
Brake specific fuel consumption (BSFC)		< 1%
Brake thermal efficiency (BTE)		< 1%

ارزیابی چرخه حیات

ارزیابی چرخه حیات ابزاری است که برای ارزیابی اثرات احتمالی محیطی و منابع، فرآیند یا خدمات یک محصول در طول عمر، از دستیابی به مواد خام، تولید و مراحل تا سیستم‌های مختلف تولید استفاده می‌شود [۳۹]. ارزیابی چرخه حیات با استراتژی مقایسه اثرات زیست محیطی محصولات شروع می‌شود. ارزیابی چرخه حیات یک روش استاندارد برای ارائه یک پایه علمی معتبر از پایداری زیست محیطی برای صنعت و دولت است. ارزیابی چرخه حیات اثرات زیست محیطی مربوط به قابلیت بازیافت ترکیبات مواد را ارزیابی می‌کند [۳۹].

با استفاده از روش ارزیابی چرخه حیات، اثرات زیست محیطی در هر مرحله از گهواره تا دروازه چرخه حیات، از تولید ماده خام، شامل هر تولید مرتبط، حمل و نقل، استفاده از کاربر و دسترسی به زباله‌های پس از استفاده است. به طور کامل

تجزیه و تحلیل شد [۷، ۳۹، ۴۰]. چهار مرحله در ارزیابی چرخه حیات وجود دارد، از جمله: تشریح هدف و دامنه، تجزیه و تحلیل موجودی، ارزیابی تأثیر و تفسیر چرخه عمر. شماتیکی از مراحل ارزیابی چرخه حیات در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- شماتیک مراحل ارزیابی چرخه حیات

Figure 1- Schematic diagram of life cycle assessment procedure

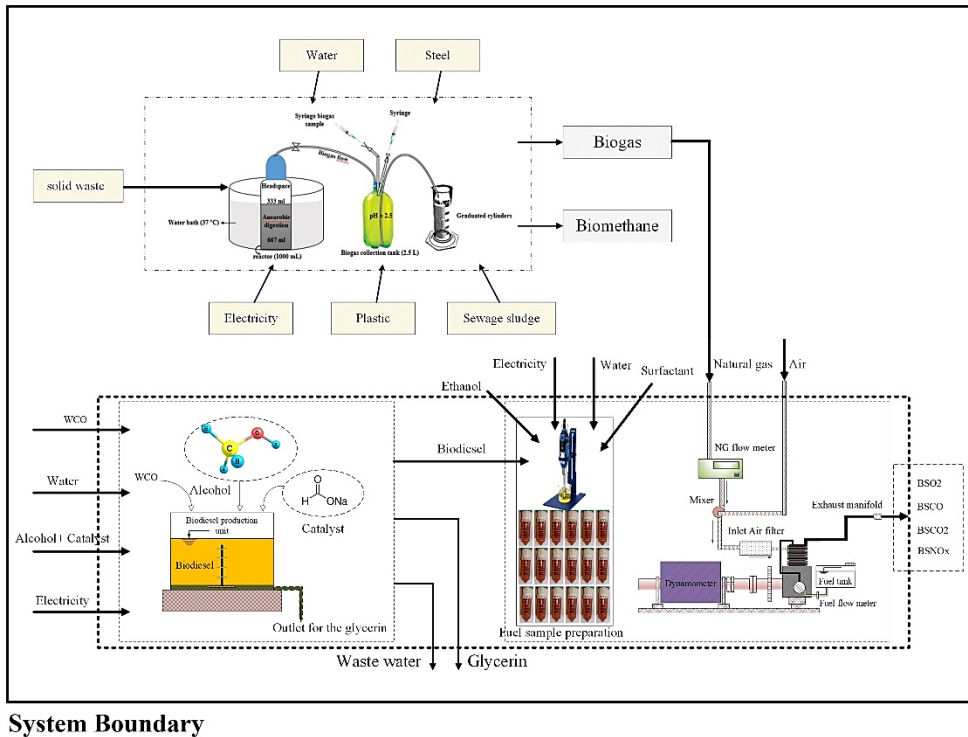
در روش ارزیابی چرخه حیات، محدوده شامل مرزهای سیستم و سطح تفصیلی است که بستگی به موضوع و کاربرد ویژه مطالعه در نظر گرفته شده دارد. بسته به هدف یک ارزیابی چرخه حیات خاص، عمق و وسعت ارزیابی چرخه حیات می‌تواند به طور قابل توجهی متفاوت باشد. در این تحقیق مرز سیستم از مرحله کاشت تا مرحله احتراق موتور است و شامل مراحل کاشت و برداشت، آماده سازی و استخراج روغن و تولید سوخت و در نهایت احتراق سوخت در موتور است. می‌توان آن را به عنوان یک ارزیابی از گهواره تا گور شناسایی کرد. شکل ۲ مرز سیستم را نشان می‌دهد.

هدف ارزیابی چرخه حیات فعلی، ارزیابی کامل چشم‌اندازهای زیست‌محیطی در چرخه کل تولید و مصرف سوخت، با افزودنی‌هایی برای دستیابی به راندمان بهتر موتور و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای است.

واحد عملکردی در ارزیابی چرخه حیات معنی قابل توجهی دارد که نشان دهنده یک واحد مرجع برای اطلاعات موجودی است. در تجزیه و تحلیل چند منظوره، بسته به دامنه ارزیابی چرخه حیات از واحد عملکردی مختلف استفاده می‌شود.

واحد عملکردی به طور کلی با توجه به خروجی تولید شده سیستم توصیف می‌شود. در این تحقیق، واحد عملکردی نهایی ۱ گیگاژول توان محور تولید شده از احتراق هر ترکیب سوخت در نظر گرفته شده است. علاوه بر این، به منظور تحقق اثرات زیست محیطی هر مرحله، بسیاری از زیرسیستم‌ها بدون محرومیت از مراحل قبلی مورد بررسی قرار می‌گیرند. در واقع، این روش محاسبه در ارزیابی چرخه حیات می‌تواند چشم انداز بیشتری را در مورد ماهیت عملیاتی هر مرحله از نقطه نظر اثرات زیست محیطی پیشنهاد کند. در این بخش، واحد عملکردی مختلف برای پیشنهاد پیامدهای معقول و تفسیر دقیق برای هر مرحله شامل یک تن عملکرد گل آفتابگردان در سیستم پرورشی، یک تن روغن آفتابگردان در فرآیند استخراج روغن، یک تن بیودیزل و تولید بیواتانول به عنوان محصول جانبی در بیودیزل مورد بررسی قرار گرفته است.

ارزیابی سیاهه چرخه حیات به عنوان کمی سازی ورودی‌ها و خروجی‌های یک سیستم، یعنی ماده و انرژی آن نامگذاری می‌شود. این مرحله به چهار مرحله فرعی تقسیم می‌شود که همزمان اتفاق می‌افتد. در مرحله اول، تمام فرآیندهای درگیر در چرخه عمر محصولات باید شناسایی شوند. تمام فرآیندها با استخراج مواد خام و انرژی از محیط آغاز می‌شود. داده‌های مربوط به هر فرآیند باید در مرحله دوم جمع‌آوری شوند. این سخت‌ترین مرحله در ارزیابی چرخه حیات است و مصرف در این زمان در

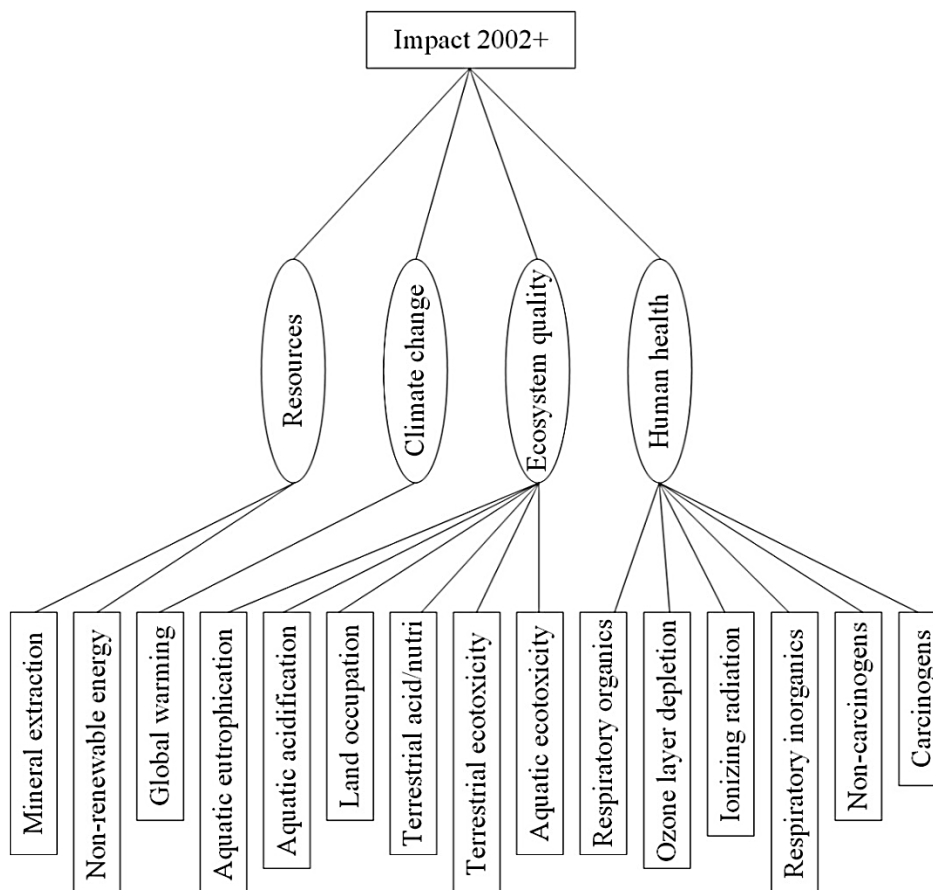


شکل ۲- مرز سیستم مورد مطالعه
Figure 2- The system boundary for the study

زمان در بالاترین سطح خود قرار دارد. داده‌ها را می‌توان از تحقیقات علمی، انتشارات توسط پزشکان ارزیابی چرخه حیات، صنعت و اسناد دولتی به دست آورد. مرحله سوم، توضیح مجدد مرزهای سیستم برای کنترل دقیق تر مرزهای سیستم و حذف فرآیندهایی است که فراتر از سیستم هستند. در نهایت، ورودی‌ها و خروجی‌ها از همه فرآیندها با توجه به واحد عملکردی تنظیم می‌شوند.

مرحله ارزیابی سياهه چرخه حیات مرحله سوم در ارزیابی چرخه حیات است. هدف ارزیابی سياهه چرخه حیات ارائه اطلاعات اضافی برای ارزیابی پیامدهای LCI یک سیستم محصول به منظور درک دقیق اهمیت محیطی آن است. هدف LCIA کمک به درک اهمیت تأثیرات محیطی بالقوه برای یک سیستم تولید است که بر اساس پیامدهای تجزیه و تحلیل LCI استوار است. LCIA باید تأثیرات بالقوه را بر "مناطق حفاظتی" شامل محیط طبیعی، سلامت انسان، محیط ساخت انسان و منابع طبیعی ارزیابی کند. روش‌های زیادی در دهه گذشته برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی گسترش یافته‌اند، به عنوان مثال روش‌های Eco-indicator 99، EPS2000، IMPACT 2002+، و روش‌های CML [۴۱] و غیره. در این تحقیق از IMPACT 2002+ برای ارزیابی بارهای محیطی استفاده شده است. این یک اجرای عملی از یک استراتژی نقطه میانی / آسیب تشکیل شده را ارائه می‌دهد، که انواع پیامدهای LCI (جریان‌های اولیه و سایر مداخلات) را از طریق چهارده طبقه بندی نقطه میانی به چهار طبقه بندی آسیب، شامل سلامت انسان، کیفیت اکوسیستم، تغییرات آب و هوا و منابع مرتبط می‌کند. استراتژی نقطه میانی قرار است کمتر از نظر علمی مورد آزمایش قرار گیرد و کمتر مشکوک باشد. از سوی دیگر، شاخص نقطه پایانی در مناطق حفاظتی توصیف می‌شود در حالی که شاخص نقطه میانی اثراتی را بین پیامد موجودی و نقطه پایانی نشان می‌دهد.

استراتژی نقطه پایانی دارای دوگانگی بسیار بیشتری است، اما می‌تواند منجر به پیامدهای نسبتاً قابل درک شود، که رسیدن به یک تصمیم را آسان تر می‌کند. اتصالات بین نقاط میانی و پایانی روش IMPACT 2002+ در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳- اتصالات بین نقاط میانی و پایانی روش IMPACT 2002+

Figure 3- The connections between midpoint and endpoint indicators for IMPACT 2002+

تفسیر چرخه حیات مرحله نهایی فرآیند LCA است که در آن پیامدهای LCI یا LCIA یا هر دو برای نتایج، پیشنهادات و تصمیم‌گیری مطابق با اهداف خلاصه می‌شود.

تحلیل حساسیت

تجزیه و تحلیل حساسیت مطالعه‌ای است در مورد اینکه چگونه تاثیرپذیری خروجی یک مدل یا سیستم ریاضی (اعدادی یا به روش‌های دیگر) می‌تواند به منشأهای مختلف تاثیرگذاری در ورودی‌های آن تقسیم شود. تجزیه و تحلیل حساسیت چهار طبقه‌بندی آسیب بر ورودی‌ها و ضریب خروجی با اصلاح محتوای آنها با $\pm 10\%$ انجام می‌شود. انتشارات اکزوز، تولید NG، تولید بیودیزل، تولید بیواتانول، تولید بیوگاز، روش استخراج روغن و تولید آفتابگردان به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته می‌شوند در حالی که متغیرهای وابسته چهار طبقه بندی آسیب هستند.

برای محاسبه پارامترها و تحلیل‌های مختلف در این تحقیق از صفحه گسترده Excel 2013 استفاده شده است. علاوه بر این، از نرم افزار SimaPro V9 برای انجام تجزیه و تحلیل بر روی LCA استفاده می‌شود.

نتایج و بحث

آنالیز سیاهه چرخه حیات

هدف ارزیابی چرخه حیات برای تعیین کمیت آسیب زیست محیطی نمونه‌های سوخت احتراق، ارائه مشخصات محیطی آنها با هدف شناسایی نقاط داغ آنها است. واحد عملکردی به عنوان یک گیگاژول انرژی تولید شده توسط نمونه‌های سوخت مورد بررسی قرار می‌گیرد. چندین بخش برای تولید نمونه‌های سوخت مورد نیاز است. بخش اول استخراج روغن آفتابگردان است که در آن از روغن در ترانس استریفیکاسیون برای بیودیزل استفاده می‌شود. بخش بعدی تولید بیواتانول است و بخش آخر تولید بیوگاز و تصفیه آن جهت به کارگیری به عنوان سوخت گازی است. احتراق نمونه‌های سوخت تولید شده به عنوان آخرین بخش در نظر گرفته می‌شود. در این قسمت تمامی قسمت‌های فوق به عنوان قسمت‌های سیاهه چرخه حیات وارد می‌شوند. اگرچه واحد عملکردی در هر بخش متفاوت است، اما در نهایت نرخ هر بخش بر اساس نمونه‌های سوخت مورد نیاز تنظیم می‌شود. جدول ۴ سیاهه مراحل مختلف تهیه نمونه سوخت و تولید انرژی را ارائه می‌دهد.

جدول ۴- سیاهه چرخه حیات

Table 4- Life cycle inventory

<i>Oil extraction process</i>	
<i>Transportation (t.km)</i>	600
<i>Steel (kg)</i>	15
<i>Electricity (kWh)</i>	1200
<i>Biodiesel production</i>	
<i>Steel (kg)</i>	1.15
<i>Water (kg)</i>	860
<i>HCl (kg)</i>	7.8
<i>Methanol (kg)</i>	181.2
<i>NaOH (kg)</i>	8.71
<i>Wastewater (kg)</i>	22.51
<i>Electricity (kWh)</i>	51.13
<i>Bioethanol production</i>	
<i>Wheat straw (kg)</i>	2.5
<i>Water (kg)</i>	8.5
<i>Enzyme (kg)</i>	0.01
<i>Liquor (kg)</i>	0.012
<i>Purified biogas</i>	
<i>Steel (kg)</i>	0.0004
<i>Water (kg)</i>	27
<i>Manure (kg)</i>	27
<i>NaOH (kg)</i>	0.38
<i>Wastewater (kg)</i>	23
<i>Electricity (kWh)</i>	1.2
<i>Combustion of fuel samples</i>	
<i>Diesel fuel (kg)</i>	Based on fuel sample required
<i>Sunflower oil (kg)</i>	Based on fuel sample required
<i>Biodiesel (kg)</i>	Based on fuel sample required
<i>Bioethanol (kg)</i>	Based on fuel sample required
<i>Natural gas (kg)</i>	Based on fuel sample required
<i>Iron (kg)</i>	0.000015
<i>Steel (kg)</i>	0.000002
<i>Aluminum</i>	0.000008

خواص نمونه سوخت‌ها

جدول ۵ خواص اساسی همه ترکیبات سوخت مورد استفاده در آزمایش‌ها را نشان می‌دهد. دستورالعمل استاندارد ASTM برای به دست آوردن خواص مخلوط سوخت استفاده می‌شود. افزایش مقادیر بیودیزل و بیواتانول با افزایش ویسکوزیته و چگالی همراه است در حالی که همبستگی غیرمستقیم با ارزش حرارتی دارد. نمونه سوخت B20A7 دارای حداکثر ویسکوزیته، چگالی و حداقل ارزش حرارتی است.

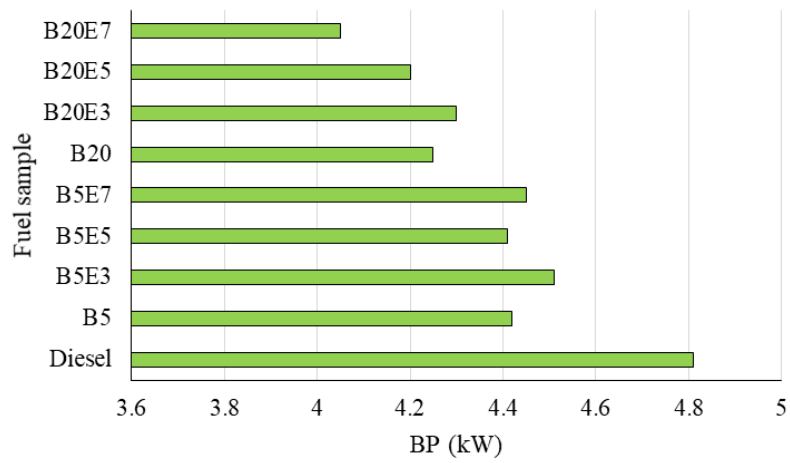
جدول ۵- خواص نمونه سوخت‌ها

Table 5- Properties of fuel samples

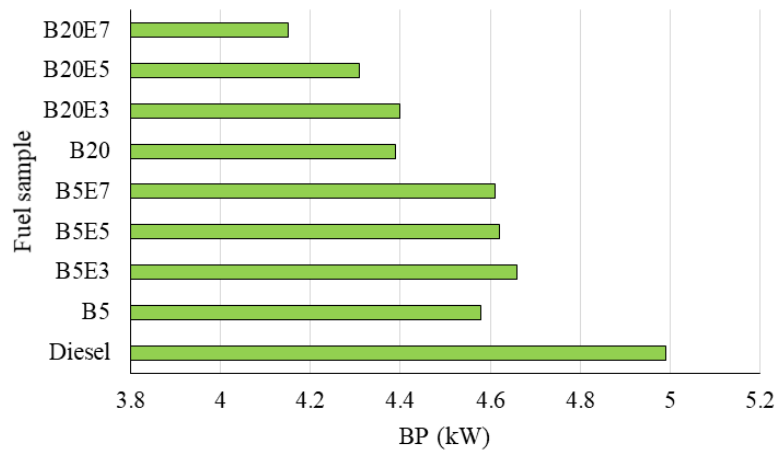
Fuel samples	Density	Kinematic viscosity	Calorific value	Flash point	Cloud point
	kg/m ³	cSt	MJ kg ⁻¹	°C	°C
Standard No.	D-445	D-7042	D-6751	D-92	D-2500
BOE0 (Diesel)	872.1	2.08	40.9	92.5	-7
B5	873.0	2.14	40.7	94.2	-6
B5E3	873.9	2.51	40.5	94.4	-2
B5E5	874.2	2.83	40.2	94.6	-1
B5E7	875.1	2.95	40.0	94.7	0
B20	875.3	2.36	40.1	98.1	-4
B20E3	876.2	2.78	39.6	98.5	-2
B20E5	877.2	3.01	38.7	99.1	0
B20E7	889	3.31	37.9	101.0	+3

نتایج پارامترهای عملکردی موتور

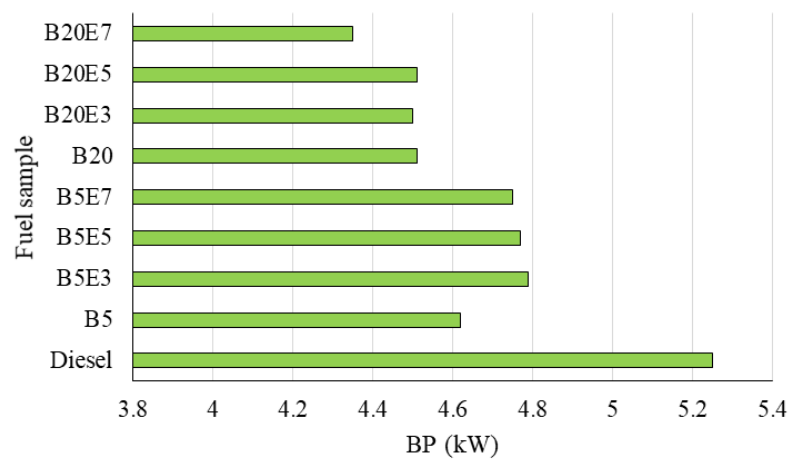
شکل ۴ اثرات نرخ سوخت گازی را بر تولید توان ترمزی در حضور نمونه سوخت‌ها و سوخت شاهد (دیزل خالص) نشان می‌دهد. همانطور که انتظار می‌رود، با افزایش نرخ گاز طبیعی توان ترمزی افزایش می‌یابد. دلیل این روند در مطالعه اردبیلی و همکاران افزایش فشار داخل محفظه احتراق به دلیل حضور سوخت گازی ادعا شد [۴۲]. همچنین در مطالعه اکبریان و همکاران ادعا شد حضور سوخت گازی با افزایش دما و فشار داخل محفظه احتراق همراه می‌باشد که موجب افزایش گشتاور موتور و به دنبال آن افزایش توان ترمزی می‌شود [۴۳]. مطابق با شکل ۴ توان ترمزی با افزودن بیودیزل کاهش می‌یابد که به دلیل کم بودن ارزش حرارتی سوخت بیودیزل نسبت به سوخت دیزل است [۴۴]. حضور افزودنی بیواتانول در کنار بیودیزل در نمونه سوخت B5E3 موجب بهبود توان ترمزی نسبت به سوخت B5 شده است (حدود ۵، ۴، ۶ و ۲ درصد به ترتیب برای نرخ گاز ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درصد). اما با افزایش درصد بیواتانول توان ترمزی تولید شده نسبت به سوخت دیزل، B5 و B20 کاهش یافته است. یکی از دلایل این روند غلبه ارزش حرارتی پایین بیواتانول به ارزش حرارتی کل سوخت است.



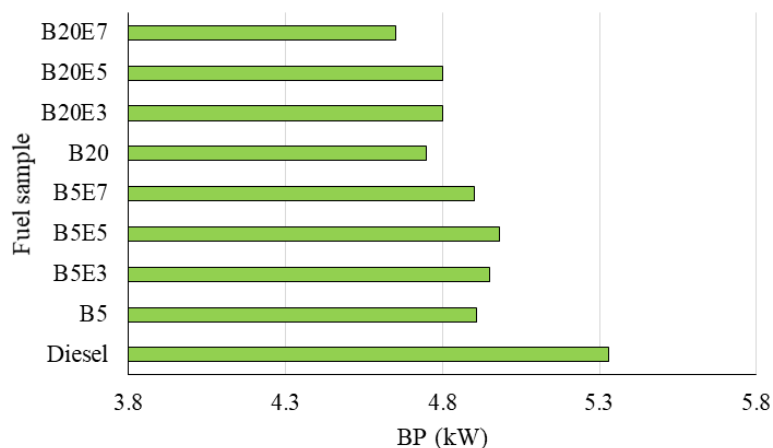
(a)



(b)



(c)

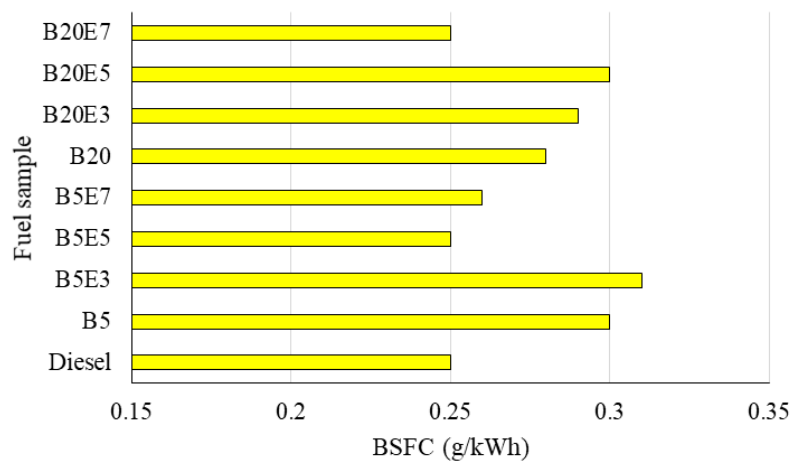


(d)

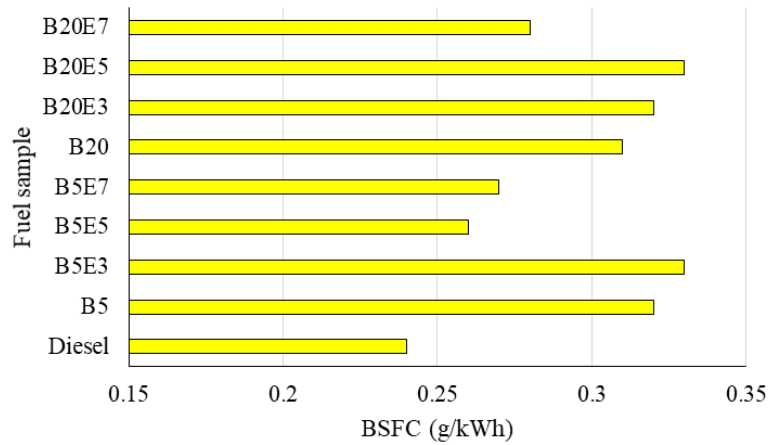
شکل ۴- نتایج مربوط به تغییرات توان ترمزی تحت نمونه سوخت‌های مختلف. الف) سوخت گازی ۵۰ درصد. ب) سوخت گازی ۶۰ درصد. ج) سوخت گازی ۷۰ درصد. د) سوخت گازی ۸۰ درصد.

Figure 4- The results related to changes in brake power under different fuel samples. A) 50% gas fuel, b) 60% gas fuel, c) 70% gas fuel, d) 80% gas fuel.

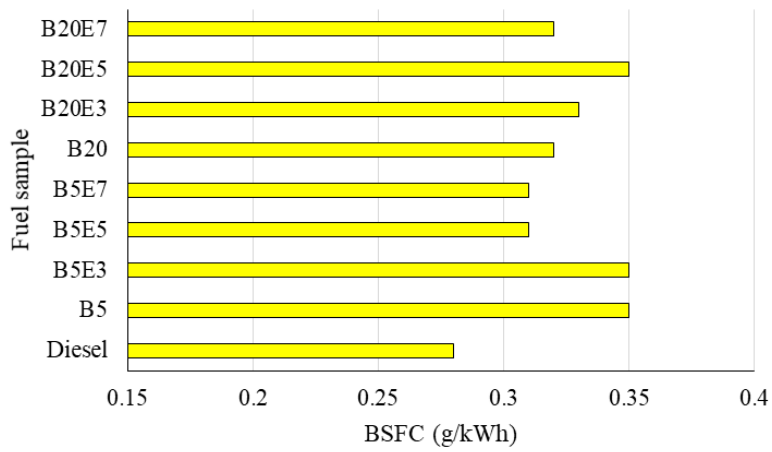
شکل ۵ به ارایه نتایج مربوط به مصرف سوخت ویژه ترمزی می‌پردازد. مطابق با آنچه از شکل ۵ می‌توان مشاهده کرد، افزایش نرخ سوخت گازی موجب کاهش مصرف سوخت به دلیل افزایش توان ترمزی تولید شده می‌شود. از طرفی دیگر، می‌توان مشاهده کرد حضور بیودیزل در سوخت به طور متوسط موجب افزایش مصرف سوخت به میزان ۲۵ و ۲۰ درصد نسبت به B5 و B20 می‌شود.



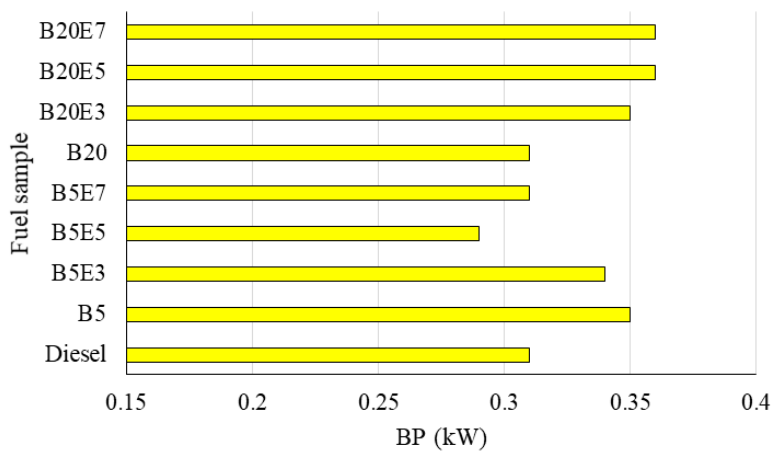
(a)



(b)



(c)

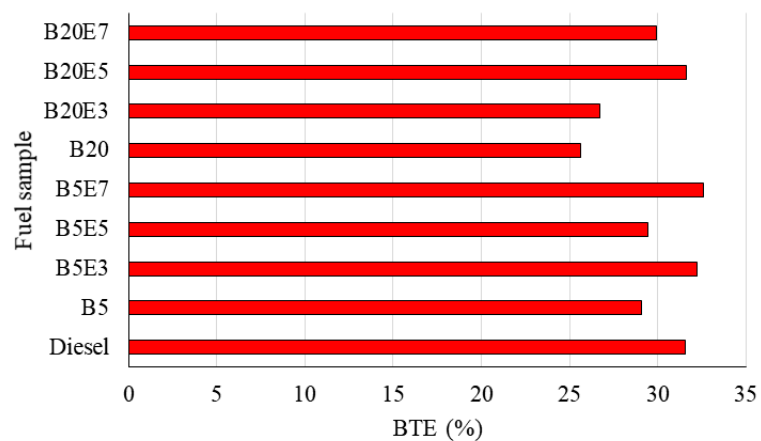


(d)

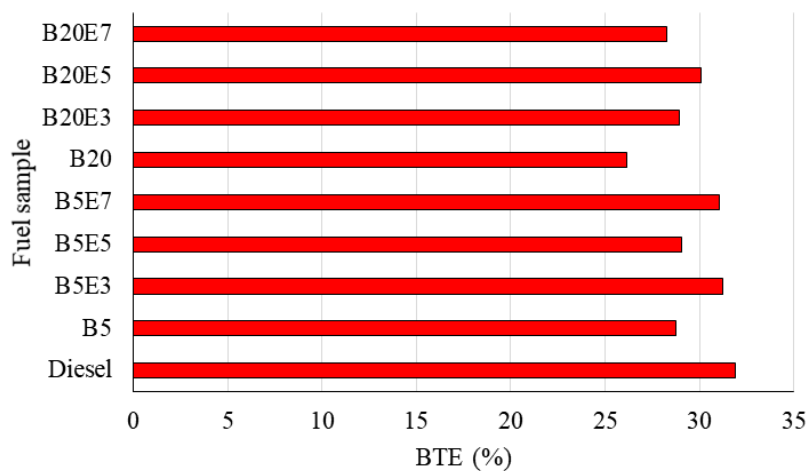
شکل ۵- نتایج مربوط به تغییرات مصرف سوخت ویژه ترمزی تحت نمونه سوخت‌های مختلف. الف) سوخت گازی ۵۰ درصد. ب) سوخت گازی ۶۰ درصد. ج) سوخت گازی ۷۰ درصد. د) سوخت گازی ۸۰ درصد.

Figure 5- The results related to changes in brake specific fuel consumption under different fuel samples. A) 50% gas fuel, b) 60% gas fuel, c) 70% gas fuel, d) 80% gas fuel.

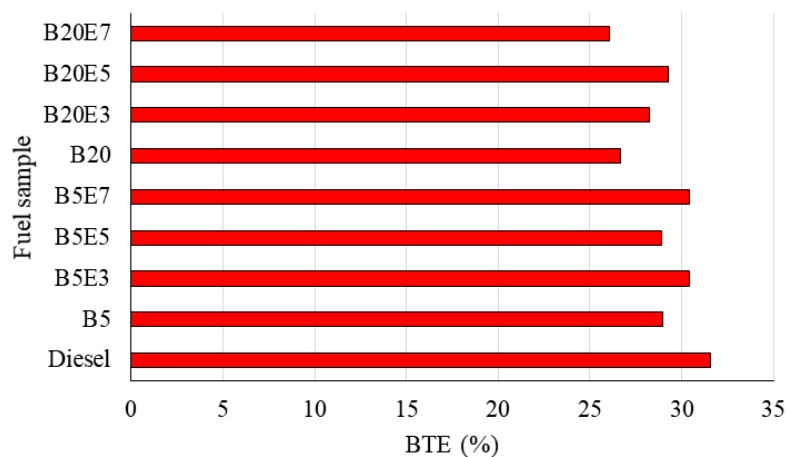
شکل ۶ به ارایه نتایج مربوط به بازده حرارتی ویژه ترمزی در حضور نمونه سوخت‌ها و سوخت گازی در بار ثابت می‌پردازد.

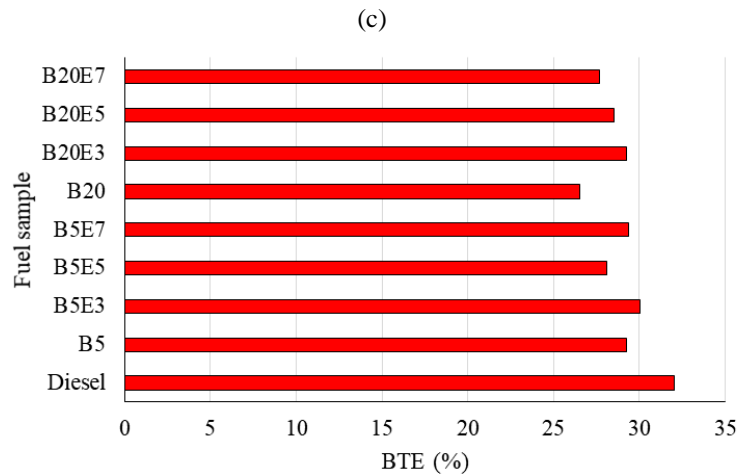


(a)



(b)





(d)

شکل ۶- نتایج مربوط به تغییرات بازده حرارتی ویژه ترمزی تحت نمونه سوخت‌های مختلف. الف) سوخت گازی ۵۰ درصد. ب) سوخت گازی ۶۰ درصد. ج) سوخت گازی ۷۰ درصد. د) سوخت گازی ۸۰ درصد.

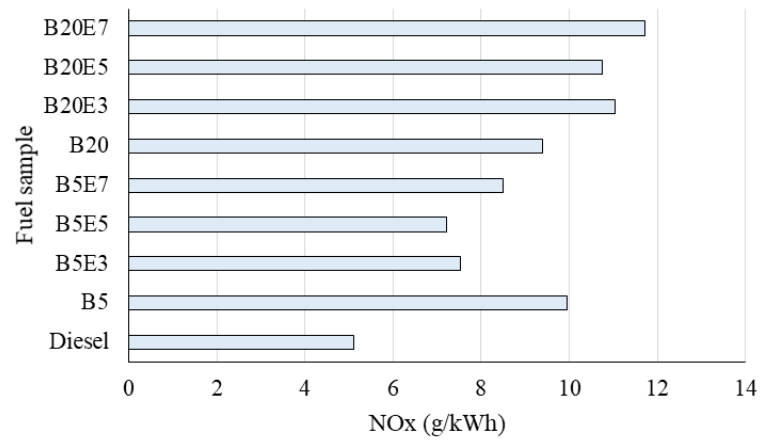
Figure 6- The results related to changes in brake thermal efficiency under different fuel samples. A) 50% gas fuel, b) 60% gas fuel, c) 70% gas fuel, d) 80% gas fuel.

مطابق با شکل ۶، بالاترین بازده حرارتی ترمزی در درصد‌های بالای نرخ سوخت گازی رخ می‌دهد. یکی از دلایل بالا بودن بازده حجمی داخل محفظه احتراق در درصد‌های بالای سوخت گازیاست. استفاده از سوخت‌های مکمل گازی در مطالعه هاشمی نژاد و همکاران [۴۵] و نجفی و همکاران [۴۶] نیز به عنوان راهکاری برای افزایش بازده حجمی داخل محفظه سیلندر ارایه شده است. مطابق با شکل ۶ بالاترین بازده حرارتی در سوخت شاهد و کمترین بازده حرارتی در سوخت حاوی B20 رخ داده است که می‌تواند به دلیل ارزش حرارتی پایین سوخت حاوی بیودیزل و درصد اکسیژن پایین محتوای سوخت باشد که تاثیر مستقیمی در روند عدم ایجاد احتراق کامل دارد.

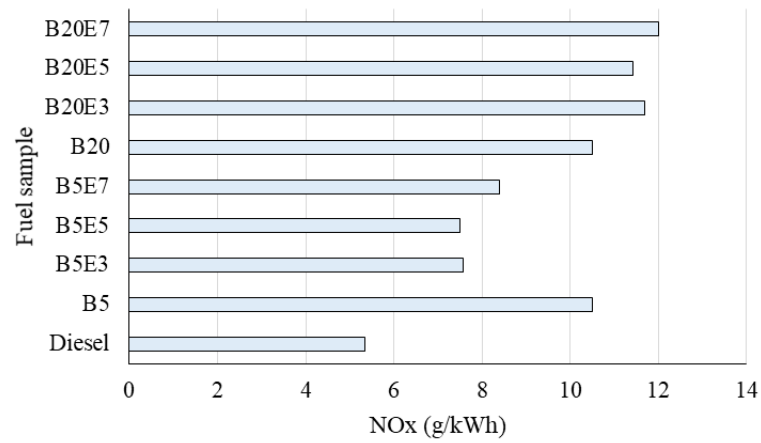
نتایج پارامترهای آلاینده‌گی موتور

شکل ۷ تغییرات انتشار اکسیدهای نیتروژن در حضور نمونه سوخت‌ها را ارایه می‌دهد. انتشار اکسیدهای نیتروژن تابعی از دمای داخل سیلندر، اکسیژن اضافی و بازه زمانی سوختن است که در دمای بالا در داخل سیلندر در قالب تله حرارتی و تمرکز دمایی باقی می‌مانند [۴۷، ۴۸]. اگر گرمای نهان تبخیر سوخت زیاد باشد، سوخت گرمای اضافی را در طول مدت به تعویق افتاده از محفظه احتراق می‌گیرد و در نتیجه کاهش دمای اوج درون سیلندر اتفاق می‌افتد و در نتیجه انتشار اکسیدهای نیتروژن کاهش می‌یابد و برعکس [۴۹، ۵۰].

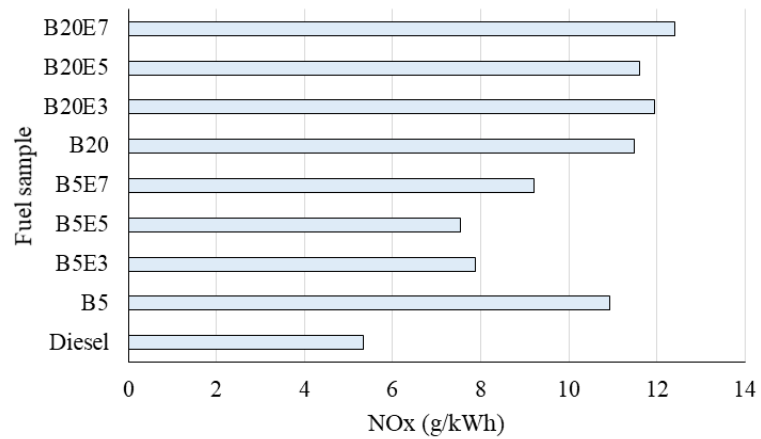
مطابق با شکل ۷، با افزایش نرخ سوخت گازی، میزان انتشار اکسیدهای نیتروژن به دلیل تأثیر دما و فشار افزایش می‌یابد. افزایش کسر سوخت گازی رابطه مستقیمی با انتشار اکسیدهای نیتروژن دارد که به دلیل افزایش دمای داخل سیلندر است. علاوه بر این، با افزایش کسر سوخت گازی، نیتروژن و اکسیژن زمان بیشتری برای تولید اکسیدهای نیتروژن بیشتری در فرآیند احتراق دارند. مطابق با شکل ۷، کمترین انتشار اکسیدهای نیتروژن در سوخت شاهد و بیشترین آن در نمونه سوخت B20E7 رخ داده است که به طور متوسط حدود ۵۰ درصد بالاتر از انتشار برای سوخت شاهد است.



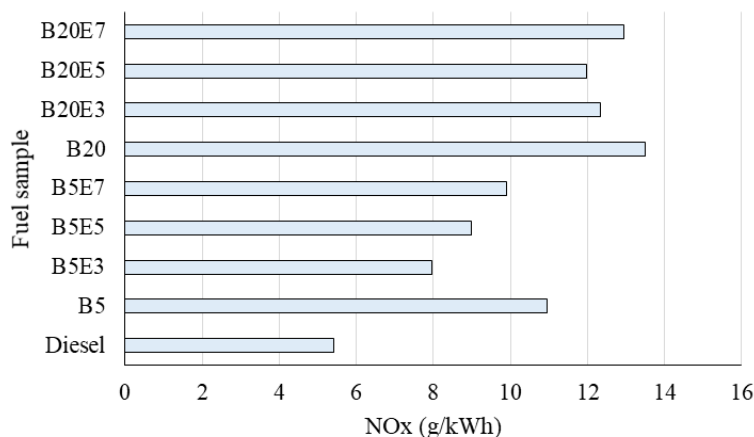
(a)



(b)



(c)



(d)

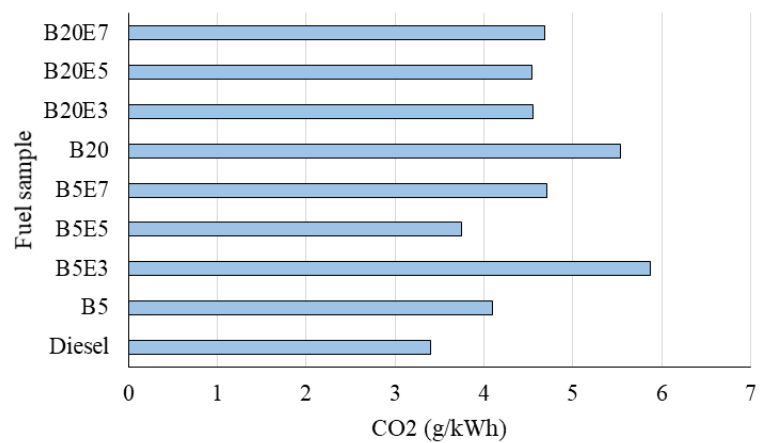
شکل ۷- نتایج مربوط به انتشار اکسیدهای نیتروژن تحت نمونه سوخت‌های مختلف. الف) سوخت گازی ۵۰ درصد. ب) سوخت گازی ۶۰ درصد. ج) سوخت گازی ۷۰ درصد. د) سوخت گازی ۸۰ درصد.

Figure 7- The results related to emission of nitrogen oxides under different fuel samples. A) 50% gas fuel, b) 60% gas fuel, c) 70% gas fuel, d) 80% gas fuel.

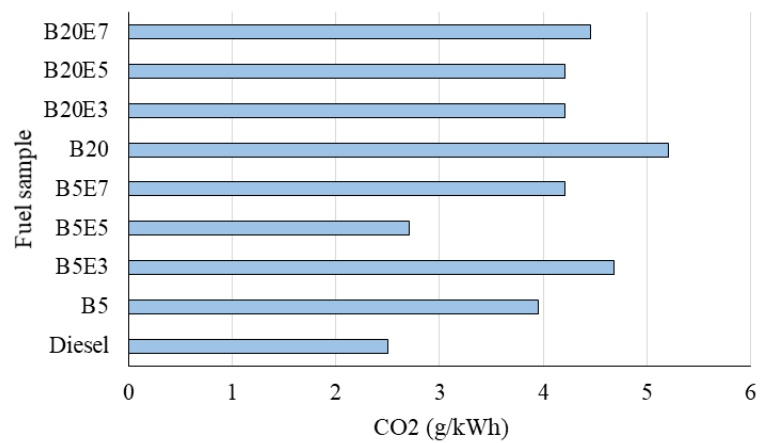
انتشار اکسیدهای نیتروژن در طول احتراق B5 با نرخ‌های مختلف افزودنی بیواتانول و سوخت گازی نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که با افزودن ۵ درصد بیودیزل به سوخت، انتشار اکسیدهای نیتروژن افزایش می‌یابد. این به دلیل افزایش محتوای اکسیژن سوخت است که شرایط واکنش را برای تولید بیشتر اکسیدهای نیتروژن بهبود می‌بخشد. همچنین در این حالت افزایش دما و فشار داخل سیلندر به دلیل افزایش بار موتور، رابطه مستقیمی با انتشار اکسیدهای نیتروژن دارد. افزایش کسر سوخت گازی رابطه مستقیمی با انتشار اکسیدهای نیتروژن دارد زیرا در کسر سوخت گازی بالاتر، فشار و دمای محفظه احتراق افزایش می‌یابد و احتراق اضافی سوخت گازی زمان بیشتری نسبت به دیزل برای تولید اکسیدهای نیتروژن نیاز دارد.

همانطور که مشاهده می‌شود، افزودن ۳ درصد بیواتانول به عنوان افزودنی در B5E3 اثرات مثبت قابل توجهی بر انتشار اکسیدهای نیتروژن (کاهش انتشار اکسیدهای نیتروژن) دارد.

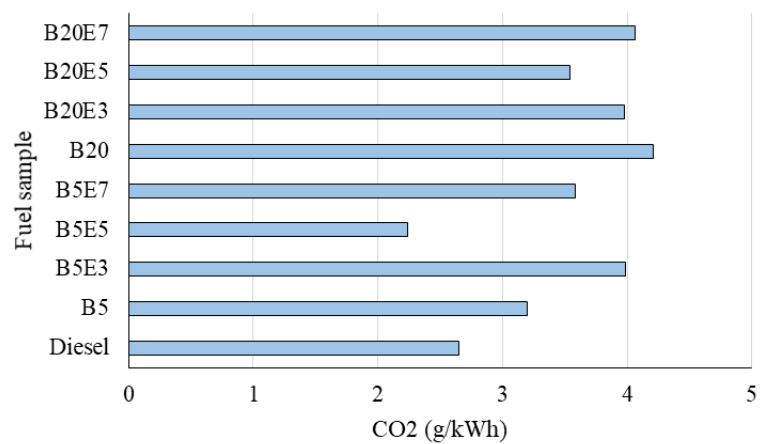
شکل ۸ نتایج انتشار دی اکسیدکربن مربوط به نمونه‌های سوخت را ارائه می‌دهد. با وجود اینکه دی اکسیدکربن یکی از تاثیرگذارترین انتشارات گازهای گلخانه‌ای در گرمایش جهانی است، اما در احتراق موتور، به عنوان یک محصول شیمیایی واکنش احتراق کامل سوخت‌های مبتنی بر هیدروکربن شناخته می‌شود. با افزایش نرخ سوخت گازی، میزان انتشار دی اکسیدکربن کاهش می‌یابد. دلیل این نتیجه این است که افزایش قابل توجه در تولید نیرو با افزایش بار موتور باعث انتشار کمتر دی اکسیدکربن در هر کیلووات ساعت می‌شود. بر اساس نتایج، با افزودن ۵ درصد بیودیزل، انتشار دی اکسیدکربن در مقایسه با دیزل خالص افزایش می‌یابد. این عمدتاً به دلیل محتوای اکسیژن بیودیزل است که منجر به واکنش به احتراق کامل می‌شود و در نتیجه دی اکسیدکربن بیشتری تولید می‌کند. افزایش کسر سوخت گازی شامل احتراق ناقص است که منجر به کاهش انتشار دی اکسیدکربن می‌شود. علاوه بر این، افزایش تولید توان ترمزی در کسر سوخت گازی بالاتر وضعیت را تشدید می‌کند. با افزودن ۳ درصد بیواتانول در B5E3، با توجه به مزایای ذکر شده افزودنی در فرآیند احتراق، میزان انتشار دی اکسیدکربن در مقایسه با B5 افزایش می‌یابد. در نمونه سوخت‌های B5E5 و B5E7 به دلیل کاهش کیفیت سوخت در مقایسه با B5E3، انتشار دی اکسیدکربن به دلیل کاهش کیفیت احتراق کاهش می‌یابد.



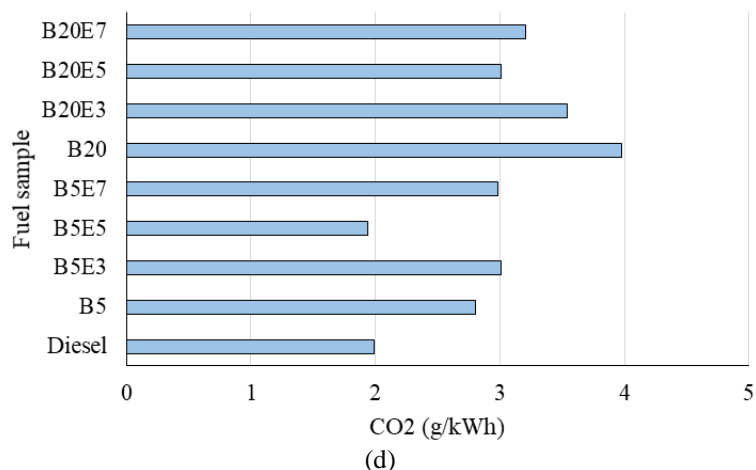
(a)



(b)



(c)

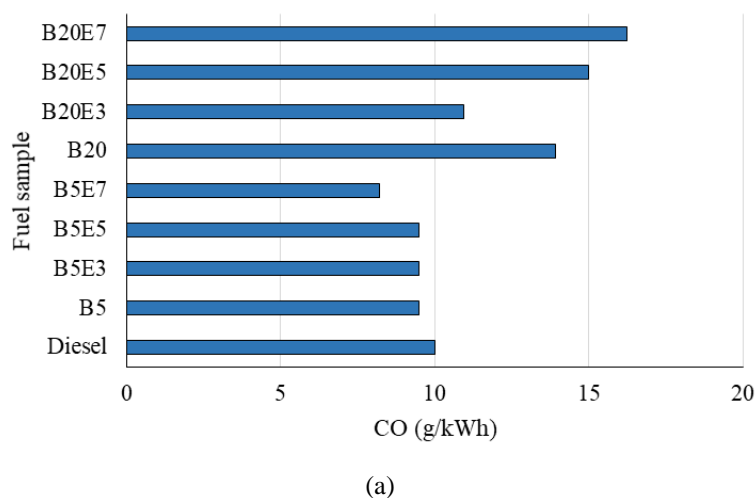


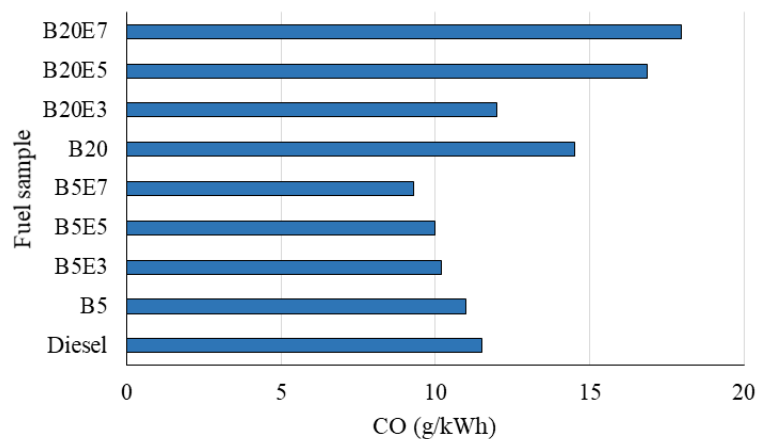
شکل ۸- نتایج مربوط به انتشار دی اکسیدکربن تحت نمونه سوخت‌های مختلف. الف) سوخت گازی ۵۰ درصد. ب) سوخت گازی ۶۰ درصد. ج) سوخت گازی ۷۰ درصد. د) سوخت گازی ۸۰ درصد.

Figure 8- The results related to emission of carbon dioxides under different fuel samples. A) 50% gas fuel, b) 60% gas fuel, c) 70% gas fuel, d) 80% gas fuel.

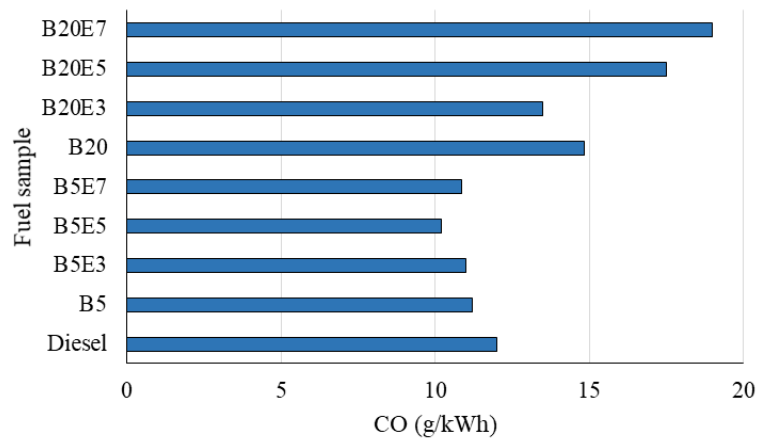
شکل ۹ میزان انتشار مونوکسیدکربن در حضور نمونه سوخت‌ها را ارایه می‌دهد. انتشار مونوکسیدکربن یکی از انتشارات قابل توجه است و همچنین نشان دهنده کمبود انرژی شیمیایی است. نسبت هم ارزی سوخت-هوا مهم ترین پارامتری است که بر انتشار مونوکسیدکربن تأثیر می‌گذارد [۵۱]. همانطور که از شکل ۹ مشاهده می‌شود افزایش کسر سوخت گازی به دلیل اثرات منفی بر اثر احتراق، انتشار مونوکسیدکربن بیشتری تولید می‌کند. علاوه بر این، افزایش دما و فشار در بارهای بیشتر موتور منجر به واکنش به احتراق کامل می‌شود و در نتیجه انتشار مونوکسیدکربن کمتری ایجاد می‌کند.

در نمونه سوخت B5 به دلیل محتوای اکسیژن سوخت، واکنش به سمت احتراق کامل پیش می‌رود و در نتیجه انتشار مونوکسیدکربن کاهش می‌یابد. در B5E5 و B5E7 به دلیل کیفیت پایین تر احتراق و تولید توان پایین در مقایسه با B5، انتشار مونوکسیدکربن بیشتری رخ می‌دهد. B5E3 به دلیل محتوای اکسیژن و کیفیت احتراق بهتر در همه ترکیبات، انتشار مونوکسید کمتری دارد. در تمام احتراق ترکیبی B5، افزایش بار موتور باعث تولید گازهای گلخانه‌ای کمتری می‌شود زیرا منجر به واکنش به احتراق کامل می‌شود.

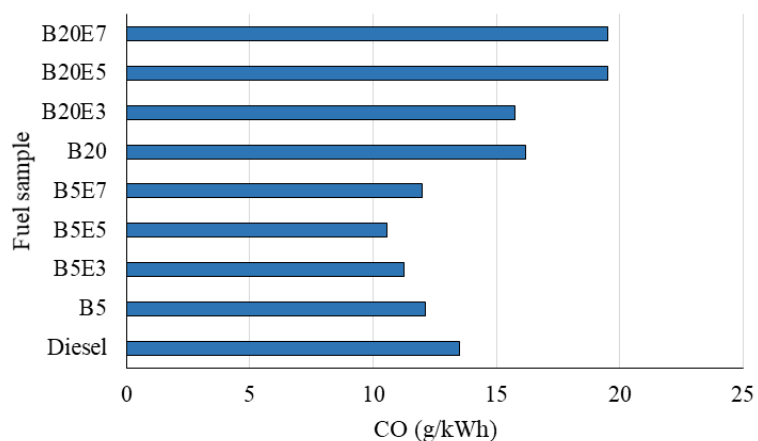




(b)



(c)



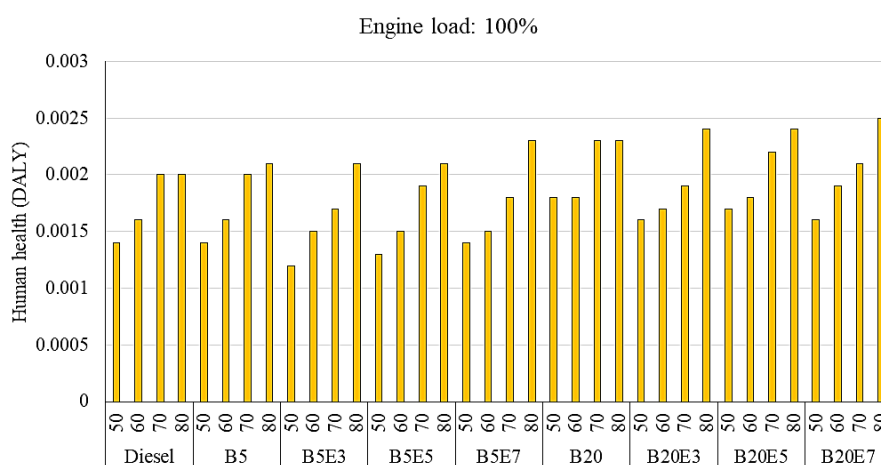
(d)

شکل ۹- نتایج مربوط به انتشار مونواکسیدکربن تحت نمونه سوخت‌های مختلف. الف) سوخت گازی ۵۰ درصد. ب) سوخت گازی ۶۰ درصد. ج) سوخت گازی ۷۰ درصد. د) سوخت گازی ۸۰ درصد.

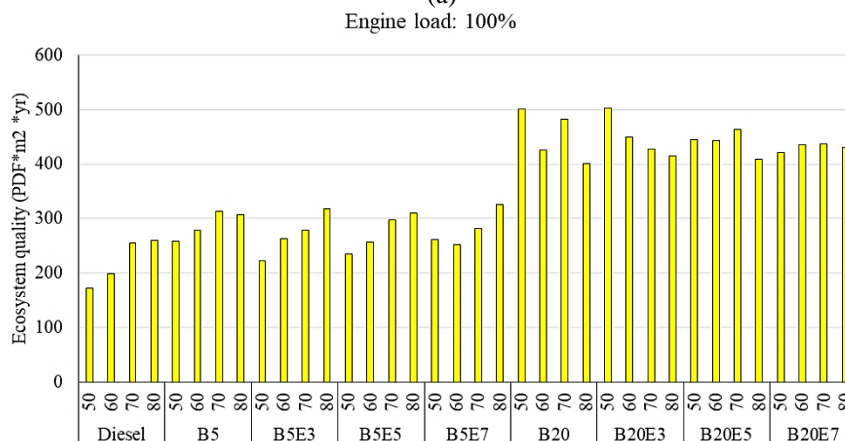
Figure 9- The results related to emission of carbon monoxide under different fuel samples. A) 50% gas fuel, b) 60% gas fuel, c) 70% gas fuel, d) 80% gas fuel.

نتایج ارزیابی چرخه حیات

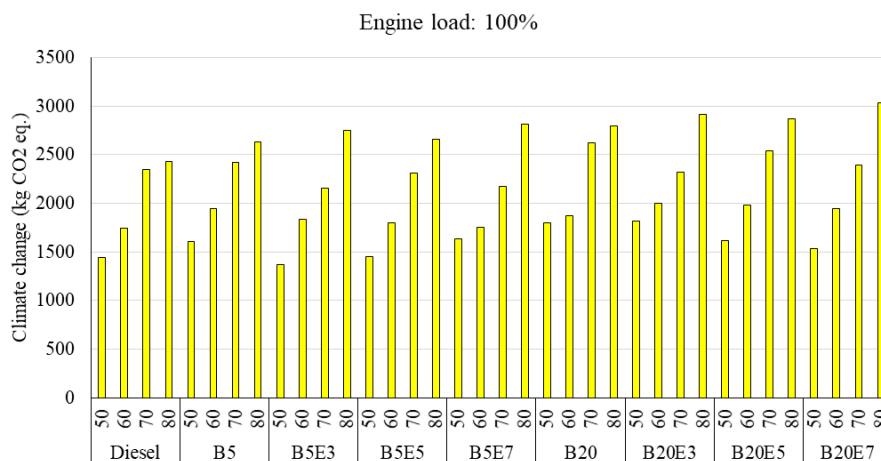
شکل ۱۰ پیامدهای زیست محیطی را برای نمونه سوخت‌ها با رویکرد تولید نهاده‌ها و تبدیل به احتراق بر اساس تابع عملکردی نشان می‌دهد. هر یک از نتایج پیامدهای زیست محیطی یک ارزیابی چرخه حیات جامع است که شامل روغن گیری از دانه‌های آفتابگردان، تولید بیودیزل، تولید بیواتانول، تولید و تصفیه بیوگاز، سوخت دیزل، بدنه موتور و گازهای منتشر شده از آگزوز است. این نمونه سوخت‌ها در چهار دسته آسیب (کیفیت اکوسیستم، سلامت انسان، منابع و تغییرات آب و هوا) محاسبه می‌شوند. نتایج در همان واحد (Pt) برای مقایسه بهتر با کمک وزن دهی خلاصه می‌شوند. همانطور که در شکل نشان داده شده است، ترکیب شماره B5E7 به عنوان بهترین ترکیب از نظر کل پیامدهای زیست محیطی انتخاب شده است. این ترکیب، با کسر سوخت گازی ۵۰ درصد و در حداکثر بار موتور کمترین آسیب کل را دارد.



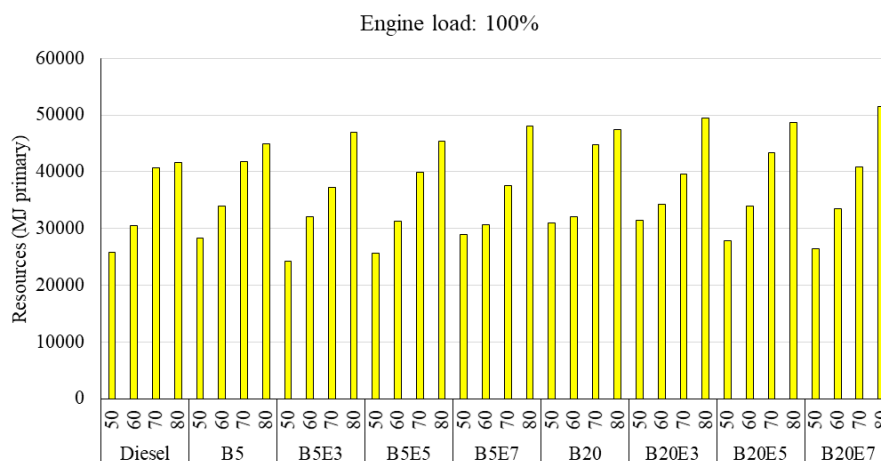
(a)



(b)



(c)



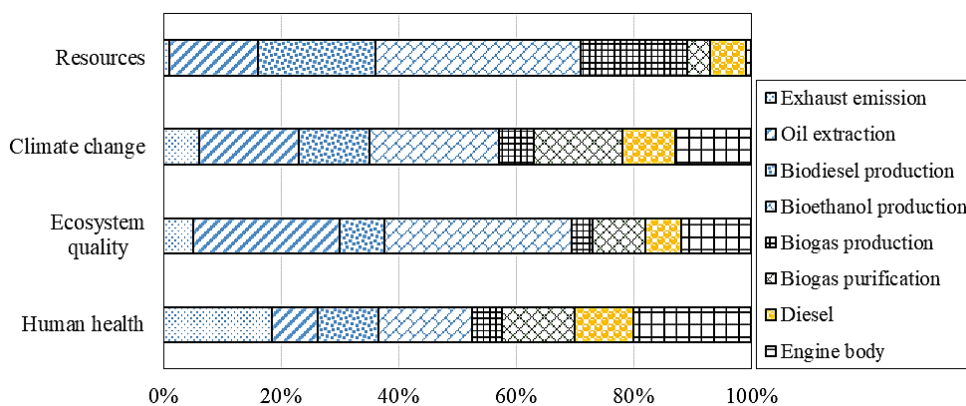
(d)

شکل ۱۰- نتایج مربوط به شاخص‌های زیست محیطی پایانی در سناریوهای مختلف. الف) سوخت گازی ۵۰ درصد. ب) سوخت گازی ۶۰ درصد. ج) سوخت گازی ۷۰ درصد. د) سوخت گازی ۸۰ درصد.

Figure 10- The results related to the endpoint environmental indicators in different scenarios. A) 50% gas fuel, b) 60% gas fuel, c) 70% gas fuel, d) 80% gas fuel.

شکل ۱۱ سهم مراحل مختلف از تولید تا احتراق را از بهترین ترکیب در سلامت انسان، کیفیت اکوسیستم، تغییرات اقلیمی و آسیب منابع نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، تولید بیواتانول و تولید بیوگاز خالص بیشترین تأثیر را در تمام دسته‌های آسیب دارد. افزایش سهم سوخت گازی حاصل از بیوگاز خالص در بهترین ترکیب نشان می‌دهد که در حالت دوگانه، افزودن گاز می‌تواند سهم سایر ورودی‌ها را تا حدودی کاهش دهد. با این حال، در کسرهای سوخت گازی بالا، این روند معکوس است. به طور کلی، حالت دوگانه مبتنی بر دیزل در مقایسه با حالت دوگانه مبتنی بر گاز، پیامدهای زیست محیطی کمتری را نشان می‌دهد. در رده آسیب به سلامت انسان، به دلیل انتشار مستقیم تولید بیوگاز مانند متان و اکسیدهای سولفور، بیشترین سهم از این دسته آسیب مربوط به بیوگاز خالص مشتق شده سوخت گاز طبیعی است. علاوه بر این، انتشار آگروز اثرات قابل توجهی بر سلامت انسان دارد. در رده آسیب کیفیت اکوسیستم، به دلیل میزان بالای انتشار آب و گاز به هوا در فرآیند تولید بیوگاز، بیشترین سهم خسارت مربوط به سوخت گاز طبیعی حاصل از بیوگاز تصفیه شده است. از سوی دیگر، مصرف انرژی و ماشین آلات در مجاورت اثرات منفی بیوسیدها و کودهای شیمیایی در بخش کشاورزی، فرآیند استخراج روغن از

آفتاب گردان را سهم بسزایی در سهم کلی می‌کند. در دسته آسیب تغییرات آب و هوایی، نرخ بالایی از برق از نیروگاه سوخت فسیلی تولید می‌شود، بنابراین سوخت گازی حاصل از بیوگاز خالص به عنوان مهم‌ترین عامل تبدیل می‌شود. در رده خسارت منابع، بیشترین میزان مصرف آب در فرآیند تولید بیوگاز مهم‌ترین عامل است که پس از آن مصرف دیزل به عنوان مهم‌ترین انرژی تجدیدناپذیر قرار دارد. لازم به ذکر است که دسته‌های خسارت محاسبه‌شده، به جز کیفیت اکوسیستم، از بهترین ترکیب در بین تمام نمونه‌های سوخت حداقل است در حالی که حداقل کیفیت اکوسیستم در نمونه گازوئیل خالص به دلیل حذف پیامدهای قابل توجه تولید آفتابگردان برای بیودیزل و بیودیزل به دست می‌آید.



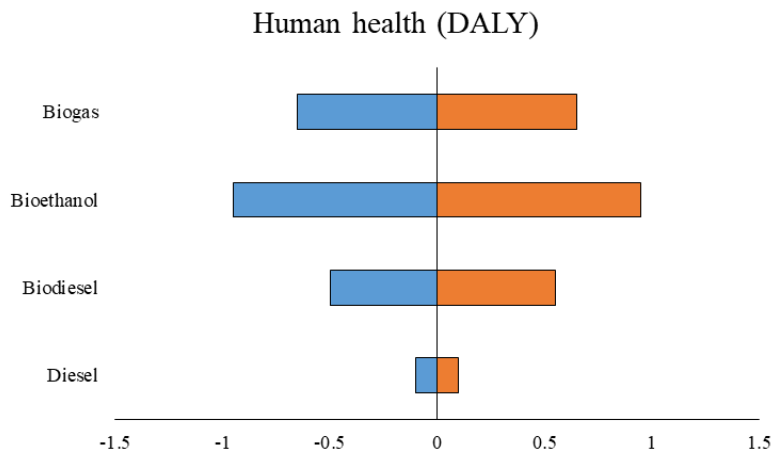
شکل ۱۱- نتایج مربوط به سهم نهاده‌ها از شاخص‌های زیست محیطی پایانی در سناریوهای مختلف

Figure 11- The results related to the contribution of inputs from the endpoint environmental indicators in different scenarios.

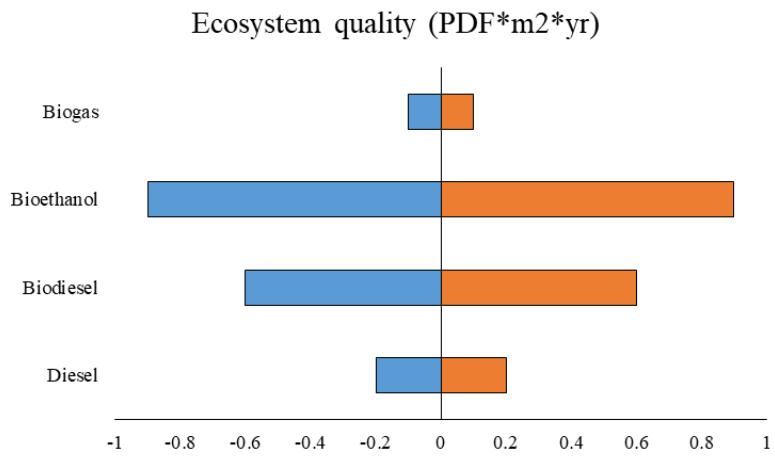
تحلیل حساسیت

تجزیه و تحلیل حساسیت برای دسته‌های مختلف آسیب مرتبط با بهترین ترکیب پارامترها در رابطه با ورودی و خروجی در شکل ۱۲ ارائه شده است. میانگین تأثیر زیست محیطی هر دسته آسیب در خط عمودی در نمودار نشان داده شده است. همانطور که از نتایج تجزیه و تحلیل حساسیت مشاهده می‌شود، تولید بیواتانول خالص بیشترین تغییر را در تمام دسته‌های آسیب دارد، که از نقش اساسی آن در سهم کلی ناشی می‌شود. در رده آسیب سلامت انسان، تولید بیودیزل در رتبه دوم قرار دارد که نشان دهنده نقش مهم بیودیزل است. تولید بیوگاز به دلیل فرآیندهای پس‌زمینه مانند مزرعه و بارگذاری سوپسترا، جایگاه دوم را در کیفیت اکوسیستم دارد که می‌توان با استفاده از پسماند برای تولید بیوگاز مدیریت کرد.

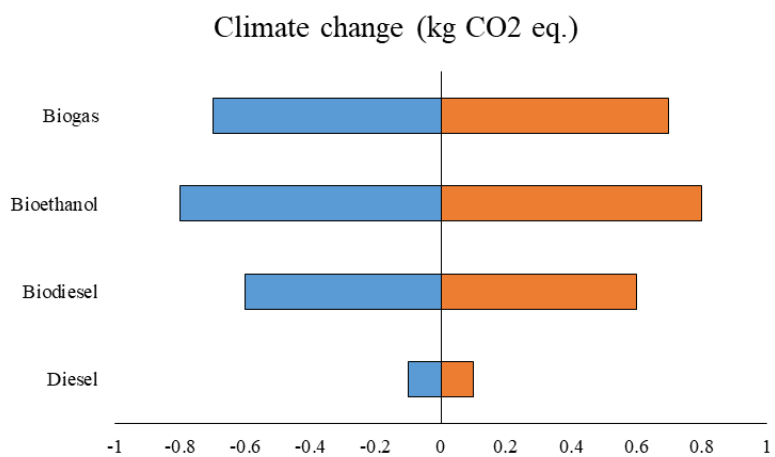
می‌توان نتیجه گرفت که تولید بیواتانول به منظور افزودنی سوخت دیزل/بیودیزل در موتور دوگانه گزینه خوبی برای بهبود عملکرد موتور نیست، اما نتایج نشان می‌دهد که کاهش انتشار گازهای خروجی می‌تواند مفید باشد. شناسایی B5E7 به عنوان بهترین سوخت از منظر پیامدهای زیست محیطی دلیلی بر این ادعاست. استفاده از موتور دیزل در کسر سوخت گازی بالاتر در حالت دوگانه به دلیل افزایش مصرف سوخت ویژه ترمزی و کاهش بازده حرارتی ترمزی نتایج مطلوبی از نظر عملکرد موتور ندارد اما در نسبت‌های کم می‌تواند مفید باشد. با توجه به پیامدهای زیست محیطی قابل توجه فرآیند تولید سوخت گازی مشتق از بیوگاز خالص، تلاش برای کاهش این اثرات، از طریق استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و پایدار مانند انرژی خورشیدی، می‌تواند در کاهش بیشتر این اثرات مفید باشد.



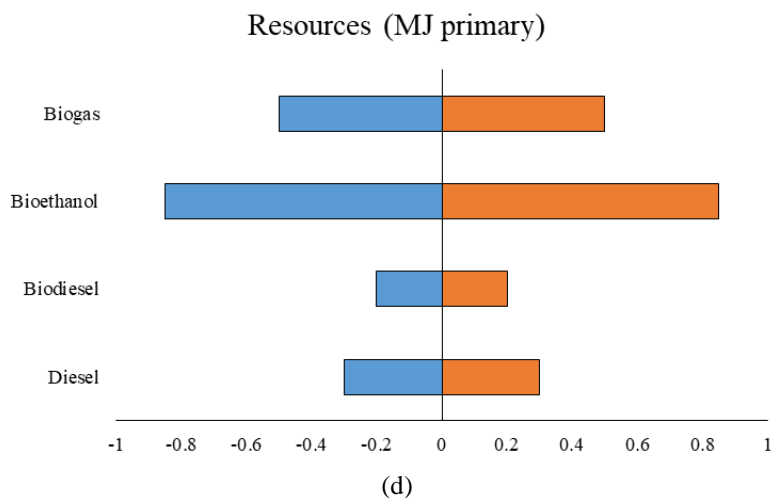
(a)



(b)



(c)



شکل ۱۲- نتایج مربوط به شاخص‌های زیست محیطی پایانی در سناریوهای مختلف. الف) سلامت انسان. ب) کیفیت اکوسیستم. ج) تغییرات آب و هوایی. د) منابع.

Figure 12- The results related to the endpoint environmental indicators in different scenarios. A) Human health, b) Ecosystem quality, c) Climate change, d) Resources.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، یک ارزیابی جامع چرخه حیات و عملکرد در یک موتور دیزل دوگانه‌سوز با مخلوط‌های حاوی بیودیزل مشتق شده از روغن آفتابگردان با افزودنی بیواتانول و بیوگاز مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. در واقع، از تولید نهاده تا احتراق در دیدگاه ارزیابی چرخه حیات یک موضوع خلاقانه برای این افزودنی‌های سوخت است. مراحل این مطالعه شامل استخراج روغن از دانه‌های آفتابگردان، تولید بیودیزل و بیواتانول، سوخت گازی حاصل از تصفیه بیوگاز و احتراق نمونه‌های سوخت است. بخش احتراق بر اساس دو رویکرد، یعنی عملکرد موتور و آلایندگی‌های منتشر شده از آگروز بررسی می‌شود. نتایج زیر بدست آمد:

مقایسه بین B5 و B20 با سوخت دیزل در عملکرد موتور نشان می‌دهد که سوخت دیزل وضعیت بهتری در بین همه دارد. علاوه بر این، B5 در عملکرد موتور به خصوص در شاخص توان ترمزی موتور دوگانه سوز کارآمدتر از B20 است. ضمناً بررسی آلایندگی‌های آگروز نشان می‌دهد که B5 بهترین و B20 و سوخت دیزل به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

افزودن ۳ درصد بیواتانول به نمونه‌های سوخت، در مقایسه با نمونه‌های بدون افزودنی و نمونه‌های با ۵ و ۷ درصد افزودنی بیواتانول، تأثیر مثبتی بر عملکرد موتور و انتشار آگروز دارد. این نتایج نشان می‌دهد که افزودن بیش از ۳ درصد گلیسرول به ترتیب رابطه مستقیمی با کاهش بازده عملکرد موتور و افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد.

نرخ‌های مختلف کسر سوخت گازی به‌عنوان سوخت دوم در مخلوط‌ها نشان می‌دهد که نرخ پایین سوخت گازی شرایط بهتری هم در عملکرد موتور و هم در انتشار آگروز دارد. از این رو، در بین همه دامنه‌ها، بهترین کسر متعلق به ۵۰٪ است. بدیهی است که افزایش کسر سوخت گازی اثرات بدتری بر دو شاخص فوق ایجاد می‌کند.

در مرحله نهایی، تجزیه و تحلیل جامع نمونه‌های سوخت از تولید نهاده تا احتراق نشان می‌دهد که B5A7 با نرخ سوخت گازی ۵۰ درصد در بار کامل موتور، ترکیبی سازگار با محیط‌زیست در میان تمام نمونه‌های سوخت است. علاوه بر این، تمام دسته‌های خسارت، به جز کیفیت اکوسیستم، در همه ترکیب‌ها در حداقل نرخ قرار دارند.

تحقیقات آینده باید بر روی زمینه‌های دانش زیر متمرکز شود که کمتر روی آنها کار شده است:

- ۱- بررسی پتانسیل زیست توده برای تولید بیودیزل و جنبه‌های اقتصادی افزودنی‌های مختلف در مطالعات آتی ضروری خواهد بود.
- ۲- ویژگی‌های سازگاری افزودنی‌های سوخت در شرایط عملکردی مختلف را می‌توان از نظر فنی در نظر گرفت.
- ۳- موتور دوگانه استاندارد برای بکارگیری سیستم‌های تولید درون کشاورزی به عنوان منابع بالقوه اصلی برای تولید سوخت‌های زیستی طراحی شود.

منابع

- [1] A. Singh and D. Rathore, *Biohydrogen production: sustainability of current technology and future perspective*. Springer, 2017.
- [2] A. Singh, S. Seveda, I. M. Abu Reesh, K. Vanbroekhoven, D. Rathore, and D. Pant, "Biohydrogen production from lignocellulosic biomass: technology and sustainability," *Energies*, vol. 8, no. 11, pp. 13062-13080, 2015.
- [3] S. Faizollahzadeh Ardabili, B. Najafi, S. J. E. P. Shamshirband, and S. Energy, "Fuzzy logic method for the prediction of cetane number using carbon number, double bounds, iodine, and saponification values of biodiesel fuels," vol. 38, no. 2, pp. 584-599, 2019.
- [4] S. Faizollahzadeh Ardabili, B. Najafi, S. Shamshirband, B. Minaei Bidgoli, R. C. Deo, and K.-w. Chau, "Computational intelligence approach for modeling hydrogen production: A review," *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, vol. 12, no. 1, pp. 438-458, 2018.
- [5] B. Najafi, S. Faizollahzadeh Ardabili, S. Shamshirband, K.-w. Chau, and T. J. E. A. o. C. F. M. Rabczuk, "Application of ANNs, ANFIS and RSM to estimating and optimizing the parameters that affect the yield and cost of biodiesel production," vol. 12, no. 1, pp. 611-624, 2018.
- [6] H. Hosseinzadeh-Bandbafha, Sh. Rafiee, P. Mohammadi, B. Ghobadian, S. Shiung Lam, M. Tabatabaei and M. Aghbashlo, "Energetic, economic, and environmental life cycle assessment analyses of a heavy-duty tractor diesel engine fueled with diesel-biodiesel-bioethanol blends," *Energy Conversion Management*, vol. 241, p. 114300, 2021.
- [7] M. Mortaza, B. Najafi, and S. J. J. o. E. S. S. Faizollahzadeh Ardabili, "Production of biodiesel with waste cooking oil from a life cycle assessment perspective," vol. 8, no. 3, pp. 6962-6967, 2023.
- [8] T. Ramesh, A. Sathiyagnanam, M. V. D. Poures, and P. Murugan, "A Comprehensive Study on the Effect of Dimethyl Carbonate Oxygenate and EGR on Emission Reduction, Combustion Analysis, and Performance Enhancement of a CRDI Diesel Engine Using a Blend of Diesel and Prosopis juliflora Biodiesel," *International Journal of Chemical Engineering*, vol. 2022, 2022.
- [9] D. Rathore R. Dheeraj, S. Seveda, Sh. Prasad, V. Venkatramanan, A. Kumar Chandel, R. Katakai, S. Bhadra, V. Channashettar, N. Bora, and Anoop Singh, "Bioengineering to Accelerate Biodiesel Production for a Sustainable Biorefinery," vol. 9, no. 11, p. 618, 2022.
- [10] B. A. Oni, S. E. Sanni, B. O. Ezurike, and E. E. J. A. E. J. Okoro, "Effect of corrosion rates of preheated Schinzochytrium sp. microalgae biodiesel on metallic components of a diesel engine," vol. 61, no. 10, pp. 7509-7528, 2022.
- [11] H. Esmaeili, "A critical review on the economic aspects and life cycle assessment of biodiesel production using heterogeneous nanocatalysts," *Fuel Processing Technology*, vol. 230, p. 107224, 2022.
- [12] N. Yilmaz and S. M. Davis, "Diesel blends with high concentrations of biodiesel and n-butanol: Effects on regulated pollutants and polycyclic aromatic hydrocarbons," *Process Safety Environmental Protection*, vol. 166, pp. 430-439, 2022.
- [13] L. Razzaq, M.A. Mujtaba, M.A. Shahbaz, S. Nawaz, H. Mahmood Khan, A. Hussain, U. Ishtiaq, M.A. Kalam, M. Elahi, M. Soudagar, K. Ahmed Ismail, A. Elfakhany, H. Muhammad Rizwan, "Effect of biodiesel-dimethyl carbonate blends on engine performance, combustion and emission characteristics" *Alexandria Engineering Journal*, vol. 61, no. 7, pp. 5111-5121, 2022.
- [14] O. Amini, R. Amani, and S. J. I. J. o. E. Ghaderi, "01 Renewable, Non-Renewable Energy Consumption and Energy Security Risk in Iran: An Application of Structural VAR," vol. 25, no. 4, pp. 81-103, 2023.
- [15] A. Giocoli, V. Motola, N. Scarlat, N. Pierro, S. J. R. Dipinto, and S. E. Transition, "Techno-economic viability of renewable electricity surplus to green hydrogen and biomethane, for a future sustainable energy system: Hints from Southern Italy," vol. 3, p. 100051, 2023.

- [16] S. M. Shaikh and R. L. J. I. J. o. R. E. R. Naik, "Design, Development and Experimental Investigation of H-rotor Vertical Axis Wind Turbine under Low Wind Speeds," vol. 13, no. 1, pp. 49-58, 2023.
- [17] Y. Tan, J. Peng, Y. Luo, H. Li, M. Wang, F. Zhang, J. Ji and A Song "Daylight-electrical-thermal coupling model for real-time zero-energy potential analysis of vacuum-photovoltaic glazing," 2023.
- [18] M. Aghbashlo, M. Tabatabaei, S. Amid, H. Hosseinzadeh-Bandbafha, B. Khoshnevisan, and G. J. R. E. Kianian, "Life cycle assessment analysis of an ultrasound-assisted system converting waste cooking oil into biodiesel," vol. 151, pp. 1352-1364, 2020.
- [19] B. Chatterjee and D. Mazumder, "Role of stage-separation in the ubiquitous development of anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste: a critical review," *Renewable Sustainable Energy Reviews*, vol. 104, pp. 439-469, 2019.
- [20] A. Cornejo, I. Barrio, M. Campoy, J. Lázaro, B. J. R. Navarrete, and S. E. Reviews, "Oxygenated fuel additives from glycerol valorization. Main production pathways and effects on fuel properties and engine performance: A critical review," vol. 79, pp. 1400-1413, 2017.
- [21] Y. Wang, H. Maidment, V. Boccolini, and L. Wright, "Life cycle assessment of alternative marine fuels for super yacht," *Regional Studies in Marine Science*, vol. 55, p. 102525, 2022.
- [22] P. A. R. Ramos, I. Tobío-Pérez, J. S. Hernández, R. Piloto-Rodríguez, and S. Pohl, "On the environmental and economic issues associated with the *Jatropha curcas* shell gasification to heat and electricity for biodiesel production," *Afinidad*, vol. 79, p. 596.
- [23] H. Hosseinzadeh-Bandbafha, F. Nazemi, Z. Khounani, H. Ghanavati, M. Shafiei, K. Karimi, S. Shiung Lam, M. Aghbashlo and M. Tabatabaei., "Safflower-based biorefinery producing a broad spectrum of biofuels and biochemicals: A life cycle assessment perspective," *Science of The Total Environment*, vol. 802, p. 149842, 2022.
- [24] C. Ternel, A. Bouter, and J. Melgar, "Life cycle assessment of mid-range passenger cars powered by liquid and gaseous biofuels: Comparison with greenhouse gas emissions of electric vehicles and forecast to 2030," *Transportation Research Part D: Transport Environment*, vol. 97, p. 102897, 2021.
- [25] L. Bilgili, "Comparative assessment of alternative marine fuels in life cycle perspective," *Renewable Sustainable Energy Reviews*, vol. 144, p. 110985, 2021.
- [26] S. F. Ardabili, B. Najafi, M. Aghbashlo, Z. Khounani, and M. Tabatabaei, "Performance and emission analysis of a dual-fuel engine operating on high natural gas substitution rates ignited by aqueous carbon nanoparticles-laden diesel/biodiesel emulsions," *Fuel*, vol. 294, p. 120246, 2021.
- [27] H. Karimmaslak, B. Najafi, S. S. Band, S. Ardabili, F. Haghghat-Shoar, and A. J. E. A. o. C. F. M. Mosavi, "Optimization of performance and emission of compression ignition engine fueled with propylene glycol and biodiesel-diesel blends using artificial intelligence method of ANN-GA-RSM," vol. 15, no. 1, pp. 413-425, 2021.
- [28] M. Parsaee, M. K. D. Kiani, K. J. B. Karimi, and bioenergy, "A review of biogas production from sugarcane vinasse," vol. 122, pp. 117-125, 2019.
- [29] J. Li, "Land sale venue and economic growth path: Evidence from China's urban land market," *Habitat international*, vol. 41, pp. 307-313, 2014.
- [30] A. Anbalagan, A. Toledo-Cervantes, E. Posadas, E. María Rojo, R. Lebrero, A. González-Sánchez, E. Nehrenheim and R. Muñoz "Continuous photosynthetic abatement of CO₂ and volatile organic compounds from exhaust gas coupled to wastewater treatment: evaluation of tubular algal-bacterial photobioreactor," *Journal of CO₂ Utilization*, vol. 21, pp. 353-359, 2017.
- [31] T. Al Seadi, D. Rutz, H. Prassl, M. Köttner, T. Finsterwalder, S. Volk and R. Janssen, "Biogas handbook, Teodorita," *Esbjerg, Denmark: by University of Southern Denmark Esbjerg, Niels Bohrs Vej*, vol. 910, p. 279, 2008.
- [32] K. Starr, X. Gabarrell, G. Villalba, L. Talens, and L. Lombardi, "Life cycle assessment of biogas upgrading technologies," *Waste management*, vol. 32, no. 5, pp. 991-999, 2012.
- [33] Y.-W. Jeon and D.-H. Lee, "Gas membranes for CO₂/CH₄ (biogas) separation: A review," *Environmental Engineering Science*, vol. 32, no. 2, pp. 71-85, 2015.
- [34] P. Collet, A. Hélias, L. Lardon, M. Ras, R.-A. Goy, and J.-P. Steyer, "Life-cycle assessment of microalgae culture coupled to biogas production," *Bioresource technology*, vol. 102, no. 1, pp. 207-214, 2011.
- [35] S. Park and S. Song, "Model-based multi-objective Pareto optimization of the BSFC and NO_x emission of a dual-fuel engine using a variable valve strategy," *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, vol. 39, pp. 161-172, 2017.

- [36] B. Rahmadian, M. R. Safaei, S. N. Kazi, G. Ahmadi, H. F. Oztop, and K. Vafai, "Investigation of pollutant reduction by simulation of turbulent non-premixed pulverized coal combustion," *Applied thermal engineering*, vol. 73, no. 1, pp. 1222-1235, 2014.
- [37] A. Carlucci, A. Ficarella, D. Laforgia, and L. Strafella, "Improvement of dual-fuel biodiesel-producer gas engine performance acting on biodiesel injection parameters and strategy," *Fuel*, vol. 209, pp. 754-768, 2017.
- [38] R. Papagiannakis, S. Krishnan, D. Rakopoulos, K. Srinivasan, and C. J. F. Rakopoulos, "A combined experimental and theoretical study of diesel fuel injection timing and gaseous fuel/diesel mass ratio effects on the performance and emissions of natural gas-diesel HDDI engine operating at various loads," vol. 202, pp. 675-687, 2017.
- [39] R. Papagiannakis and D. Hountalas, "Combustion and exhaust emission characteristics of a dual fuel compression ignition engine operated with pilot diesel fuel and natural gas," *Energy conversion and management*, vol. 45, no. 18-19, pp. 2971-2987, 2004.
- [40] S. Faizollahzadeh Ardabili, "Improving the combustion process of biodiesel using additives," Ph.D. thesis Fundamental, Biosystem Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, 2021.
- [41] F. Hashemi, R. Pourdarbani, S. Ardabili, and J. L. J. A. T. A. Hernandez-Hernandez, "Life Cycle Assessment of a Hybrid Self-Power Diesel Engine," vol. 26, no. 1, pp. 17-28, 2023.
- [42] A. Hashemi-Nejhad, B. Najafi, S. Ardabili, G. Jafari, and A. J. I. J. o. E. R. Mosavi, "The Effect of Biodiesel, Ethanol, and Water on the Performance and Emissions of a Dual-Fuel Diesel Engine with Natural Gas: Sustainable Energy Production through a Life Cycle Assessment Approach," vol. 2023, 2023.
- [43] W. T. França, M. V. Barros, R. Salvador, A. C. de Francisco, M. T. Moreira, and C. M. J. T. I. J. o. L. C. A. Piekarski, "Integrating life cycle assessment and life cycle cost: A review of environmental-economic studies," vol. 26, pp. 244-274, 2021.
- [44] E. Akbarian, B. Najafi, M. Jafari, S. Faizollahzadeh Ardabili, S. Shamsirband, and K.-w. Chau, "Experimental and computational fluid dynamics-based numerical simulation of using natural gas in a dual-fueled diesel engine," *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, vol. 12, no. 1, pp. 517-534, 2018.
- [45] A. Hashemi-Nejhad, B. Najafi, S. Ardabili, G. Jafari, and A. Mosavi, "The Effect of Biodiesel, Ethanol, and Water on the Performance and Emissions of a Dual-Fuel Diesel Engine with Natural Gas: Sustainable Energy Production through a Life Cycle Assessment Approach," *International Journal of Energy Research*, vol. 2023, 2023.
- [46] B. Najafi, F. Haghghatshoar, S. Ardabili, S. S. Band, K. W. Chau, and A. Mosavi, "Effects of low-level hydroxy as a gaseous additive on performance and emission characteristics of a dual fuel diesel engine fueled by diesel/biodiesel blends," *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, vol. 15, no. 1, pp. 236-250, 2021.
- [47] S. Saravanan, G. Nagarajan, G. L. N. Rao, and S. Sampath, "Theoretical and experimental investigation on effect of injection timing on NOx emission of biodiesel blend," *Energy*, vol. 66, pp. 216-221, 2014.
- [48] S. P. R. Yadav, C. Saravanan, and M. Kannan, "Influence of injection timing on DI diesel engine characteristics fueled with waste transformer oil," *Alexandria Engineering Journal*, vol. 54, no. 4, pp. 881-888, 2015.
- [49] D. Qi, H. Chen, L. Geng, and Y. Bian, "Effect of diethyl ether and ethanol additives on the combustion and emission characteristics of biodiesel-diesel blended fuel engine," *Renewable energy*, vol. 36, no. 4, pp. 1252-1258, 2011.
- [50] G. Kannan and R. Anand, "Experimental investigation on diesel engine with diestrol-water micro emulsions," *Energy*, vol. 36, no. 3, pp. 1680-1687, 2011.
- [51] E. Alptekin, "Emission, injection and combustion characteristics of biodiesel and oxygenated fuel blends in a common rail diesel engine," *Energy*, vol. 119, pp. 44-52, 2017.

English Abstract

Sustainable power generation from a dual fuel diesel engine in the presence of biodiesel, bioethanol and biogas: evaluation using the life cycle method

Razieh Pourdarbani^{1*}, Ali Mousavi²

1- Biosystem Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, r_pourdarbani@uma.ac.ir

2- Biosystem Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, ali.mousavi.9764@gmail.com

*Corresponding author

(Received: 2023/11/01, Received in revised form: 2024/01/29, Accepted: 2024/02/05)

The investigation of alternative fuels, such as biodiesel, have been prompted by the detrimental emissions resulting from the combustion of fossil fuels. Undoubtedly, the primary concern in fuel selection lies in the examination of emissions. Hence, the present study aims to examine the performance and environmental life cycle assessment methodologies of a dual fuel diesel engine. Furthermore, a fuel blend is made by combining biodiesel sourced from sunflower oil with varying concentrations of bioethanol (3%, 5%, and 7%) and pure biogas, with a percentage ranging from 50% to 80%. This fuel blend is intended for use in the combustion process. In this study, a total of eight fuel samples were meticulously produced and subsequently examined, alongside diesel fuel which served as the control fuel. The entire life cycle evaluation encompasses several stages, starting with the manufacturing of inputs to the combustion of fuel samples. This includes the extraction of oil from sunflower seeds, the production of biodiesel and bioethanol, as well as the generation of natural gas produced from pure biogas. These processes are regarded as captivating and pioneering topics within the field. The provided samples underwent combustion within a dual fuel engine. The findings indicate that the B5 fuel sample, when combined with a 3% bioethanol additive, demonstrates superior engine performance and reduced exhaust emissions. Furthermore, enhanced conditions were achieved in terms of engine performance and exhaust emissions when operating at the lowest rate of natural gas fractionation, which was 50%. The findings of a thorough life cycle evaluation, which examines the entire process from farm to combustion, indicate that the blend B5E7, consisting of 50% natural gas portion at maximum engine load, demonstrates both environmental friendliness and appropriate performance characteristics.

Keywords: Life cycle assessment; Bioethanol; Biodiesel; Biogas; Stable power generation; Diesel engine