

ارزیابی چرخه حیات تأثیر methyl tert-butyl ether به عنوان افزودنی اکسیژن دار در عملکرد و آلایندگی موتور اشتعال جرقه‌ای

غلامحسین شاهقلی^{۱*}، سینا فیض‌اله زاده اردبیلی^۲

۱- استاد، مهندسی بیوسیستم، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران، Shahgholi@uma.ac.ir

۲- استادیار، گروه علوم مهندسی، دانشکده فناوری‌های نوین، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران، sina.faiz@uma.ac.ir

* نویسنده مخاطب

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۱، دریافت آخرین اصلاحات: ۱۴۰۳/۰۳/۲۵، پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۰۱)

چکیده: استفاده از افزودنی‌های سوخت یک راه‌حل مهندسی برای دستیابی به احتراق تمیز با بازده ترمودینامیکی بالا است. کیفیت سوخت در انواع موتورهای احتراق داخلی عمدتاً به خواص ترموفیزیکی سوخت مربوط می‌شود. بر این اساس، تمایل خاصی برای توسعه فرمول‌های جدید سوخت بنزین برای افزایش قدرت ترمز و کاهش مصرف سوخت موتور جرقه‌زنی و انتشار گازهای گلخانه‌ای وجود دارد. ارزیابی چرخه حیات یک روش قابل اعتماد برای بررسی تأثیرات زیست‌محیطی یک فرایند محسوب می‌شود. این مطالعه به بررسی عملکرد موتور بنزینی و انتشار گازهای گلخانه‌ای با استفاده از مخلوط بنزین Methyl tert-butyl ether اختصاص یافته است. بخشی از این تحقیق تلاشی برای بررسی تأثیر چرخه حیات نمونه‌های سوخت با هدف به‌دست آوردن مخلوط سوختی است که بتواند علاوه بر کاهش آلاینده‌ها موجب افزایش عملکرد موتور، شود. تمام آزمون‌ها در دور موتور ثابت و بار کامل موتور انجام می‌شود. بر اساس نتایج به دست آمده می‌توان عنوان کرد، افزودن MTBE به بنزین به‌طور تقریبی توانست حدود ۱۰ الی ۲۰ درصد توان ترمزی را افزایش دهد. از طرفی دیگر با افزودن MTBE انتشار دی‌اکسید کربن افزایش یافت (حدود ۲۰ الی ۳۵ درصد). همچنین با افزایش MTBE انتشار مونوکسید کربن تا حدودی کاهش یافته است. افزودن MTBE همچنین به‌طور نسبی موجب کاهش متغیرهای مربوط به تأثیرات زیست‌محیطی شد. با پیشرفت فناوری، و بروز سیستم‌های کنترل هوشمند انتشار، حرکت به سمت مدیریت و بهینه‌سازی افزودنی‌های اکسیژن‌دار و دستیابی به فرمول‌های سوخت پایدارتر از نظر زیست‌محیطی رواج می‌یابد.

کلیدواژگان: موتور بنزینی؛ افزودنی سوخت؛ افزودنی‌های اکسیژن‌دار؛ آلایندگی موتور.

مقدمه

در ۱۰۰ سال گذشته، سوخت‌های مبتنی بر نفت به‌عنوان مهم‌ترین و تنها منبع انرژی برای وسایل نقلیه و صنایع استفاده شده است. سوخت‌های مشتق شده از نفت از منابع فسیلی استخراج می‌شوند [۱، ۲]. افزایش نگرانی جهانی در مورد آلودگی ناشی از استفاده از موتورهای احتراق داخلی منجر به گرایش و علاقه به استفاده از سوخت‌های سازگار با محیط‌زیست شده است. در طول دو دهه گذشته، محققان و سازندگان موتورهای احتراق داخلی راه‌حل‌های مختلفی را برای کاهش سطح آلاینده‌های تولید شده توسط موتور ارائه کرده‌اند [۳].

امروزه منابع انرژی و حفاظت از محیط‌زیست یکی از مهم‌ترین مسائل حمل‌ونقل و صنعت است. برای برآوردن این الزامات، شرکت‌های بزرگ خودروسازی و بسیاری از مؤسسات تحقیقاتی در حال توسعه فناوری‌های موتور جدید برای رعایت

مقررات آلاینده‌گی هستند. موتور احتراق داخلی اگرچه بازده احتراق بالایی دارد و از مزیت کاهش مصرف انرژی برخوردار است، اما از نظر آلاینده‌گی دارای معایبی است [۴-۶].

موتورهای اشتعال جرقه‌ای (SI) سنگ بنای حمل‌ونقل مدرن هستند که عمدتاً در وسایل نقلیه بنزینی استفاده می‌شود [۷،۴]. با تشدید مقررات زیست‌محیطی، فشار فزاینده‌ای برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و در عین حال حفظ عملکرد موتور وجود دارد [۸، ۹]. افزودنی‌های سوخت با افزایش راندمان احتراق و کاهش آلاینده‌ها، نقش مهمی در دستیابی به این تعادل دارند. در میان این افزودنی‌ها، اکسیژن‌ها به دلیل پتانسیل آن‌ها برای افزایش احتراق و کاهش انتشار مورد توجه قرار گرفته‌اند [۵].

افزودنی‌های اکسیژن‌دار ترکیبات شیمیایی حاوی اکسیژن هستند که برای بهبود احتراق و کاهش انتشارات مضر مانند مونوکسید کربن (CO) و هیدروکربن‌های نسوخته (HC) به سوخت وارد می‌شوند [۵، ۱۰، ۱۱]. با ارائه اکسیژن اضافی، این افزودنی‌ها می‌توانند احتراق کامل‌تری را تقویت کنند که منجر به افزایش راندمان موتور و کاهش آلاینده‌های خاص می‌شود [۱۲، ۱۳]. افزودنی‌های اکسیژن‌دار متداول شامل اتانول، متانول و متیل ترت بوتیل اتر (MTBE) است که هر کدام دارای خواص و تأثیرات منحصر به فردی بر عملکرد موتور هستند.

افزودنی‌های اکسیژن‌دار پرکاربرد نوع افزودنی‌ها در بنزین هستند که به دلیل عدد اکتان بالا و توانایی بهبود عملکرد موتور شناخته شده‌اند. این افزودنی‌ها به‌طور گسترده در برآوردن الزامات نظارتی برای سوخت‌های اکسیژن‌دار و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از موتورهای SI استفاده می‌شوند [۵].

بابازاده و همکاران مطالعه (۱۳۹۲) ترت بوتیل الکل و متیل ترت بوتیل اتر را با بنزین پایه پالایشگاهی با نسبت حجمی ۲،۵، ۵، ۷،۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ مخلوط کردند و رفتار فراریت سوخت را ارزیابی کردند. مطابق با استانداردهای ASTM، نتایج نشان داد که در صورت استفاده از اتانول به‌عنوان افزودنی سوخت، باید در فرمول پایه بنزین تغییراتی ایجاد شود که به خودی خود بر سایر مشخصات سوخت از جمله اکتان تأثیر منفی خواهد داشت. تعداد و فشار افزودن ترت بوتیل الکل به بنزین این امر مقدار بخار بنزین را اندکی افزایش می‌دهد و برای کاهش فشار بخار بنزین نیازی به جایگزینی ترکیبات سبک‌تر بنزین پایه با ترکیبات سنگین‌تر نیست.

بلیوگی و همکاران (۱۹۹۵) اثرات متیل ترت بوتیل اتر به‌عنوان یک افزودنی بنزین را بر عملکرد موتور جرقه‌زنی و انتشار گازهای گلخانه‌ای بررسی کرد.

مطالعه‌ای که توسط قبادیان و همکاران (۲۰۰۸) انجام شد، تأثیر اتانول افزوده شده بر رفتار خورنده فلزات در سیستم سوخت خودرو را بررسی کرد. آزمون خوردگی بر روی بنزین با نسبت‌های مختلف اتانول با استفاده از روش کاهش وزن و همچنین روش طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی انجام شد. سطح نمونه‌های مورد آزمایش پس از صد و چهل و چهار روز غوطه‌ور شدن در محلول‌های مورد بررسی توسط میکروسکوپ الکترونی مورد بررسی قرار گرفت. محصولات خوردگی نیز با استفاده از روش EDX آنالیز شدند. اثر هیدراتاسیون با افزودن مقدار ثابت ۱ درصد به تمام محلول‌های آزمایش شده با استفاده از روش EIS بررسی شد. نتایج افزایش هماهنگ در نرخ خوردگی فلز سیستم سوخت با افزایش نسبت اتانول و آب در بنزین را نشان داد. نتایج آزمایش نشان داد که آلیاژهای جوشکاری و آلیاژهای آلومینیوم از خوردگی کمتری نسبت به آلیاژهای سیستم سوخت متحمل شدند. همچنین کلر و گوگرد به‌عنوان اجزای اصلی اکثر محصولات خوردگی شناخته شده‌اند، بنابراین کنترل این دو جزء در سیستم تأمین سوخت ضروری است.

با این حال، استفاده از این افزودنی‌ها به دلیل نگرانی‌های زیست‌محیطی، به‌ویژه در مورد آلودگی آب‌های زیرزمینی، بحث‌برانگیز بوده‌اند. با وجود این مسائل نمی‌توان نقش آن را در افزایش عملکرد موتور و کاهش آلودگی هوا نادیده گرفت.

¹ Methyl tert-butyl ether

MTBE به دلیل عدد اکتان بالا می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. علاوه بر این، توانایی آن در افزایش محتوای اکسیژن در بنزین می‌تواند منجر به احتراق کامل‌تر و در نتیجه کاهش انتشار CO و HC شود. این مزایا به استفاده گسترده از آن در فرمولاسیون بنزین، به‌ویژه در مناطقی با استانداردهای دقیق کیفیت هوا کمک کرده است. علی‌رغم مزایای آن، MTBE به دلیل خطرات زیست‌محیطی و بهداشتی با انتقادات قابل توجهی مواجه شده است. حلالیت بالای آن در آب و ماندگاری در محیط، آن را به‌عنوان یک آلاینده بالقوه آب‌های زیرزمینی و منابع آب آشامیدنی تبدیل می‌کند. این خطرات منجر به اقدامات نظارتی محدود یا ممنوعیت استفاده از MTBE در برخی مناطق شده است. بنابراین، ارزیابی چرخه حیات به‌کارگیری از MTBE برای درک ردپای کامل محیطی آن و هدایت تصمیمات سیاست آبی بسیار مهم است.

چالش صنعت خودرو و سوخت ایجاد تعادل بین افزایش عملکرد موتور و به حداقل رساندن آسیب‌های زیست‌محیطی است. در حالی که MTBE مزایای عملکردی را ارائه می‌دهد، پتانسیل آن برای ایجاد آسیب زیست‌محیطی سؤالاتی را در مورد پایداری آن به‌عنوان یک افزودنی سوخت ایجاد می‌کند. ارزیابی چرخه عمر اثرات MTBE می‌تواند دید جامعی از تأثیر آن ارائه دهد و به سهامداران کمک کند تا تصمیمات آگاهانه‌ای در مورد استفاده از آن در بنزین بگیرند.

ارزیابی چرخه حیات (LCA)^۱ یک رویکرد سیستماتیک برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی یک محصول یا فرآیند از گهواره تا گور است. با بررسی هر مرحله از چرخه عمر MTBE - از تولید و استفاده تا دفع و سرنوشت محیطی - LCA می‌تواند بینش‌هایی را در مورد تأثیر کلی این افزودنی بر عملکرد موتور، انتشار گازهای گلخانه‌ای و سلامت محیط ارائه دهد. این دیدگاه کل‌نگر برای درک مبادلات و هدایت استراتژی‌های فرمولاسیون سوخت در آینده ضروری است [۱۲، ۱۴-۱۶].

این مطالعه با هدف ارزیابی اثر MTBE به‌عنوان یک افزودنی اکسیژن بر عملکرد موتور SI و آلودگی از طریق رویکرد چرخه عمر انجام می‌شود. با تجزیه و تحلیل تأثیر افزودنی بر راندمان موتور، انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلودگی محیطی بالقوه، این مطالعه به دنبال ارائه یک ارزیابی متعادل از نقش MTBE در سوخت‌های مدرن است. این یافته‌ها به درک بهتری از مزایا و خطرات افزودنی کمک می‌کند و به سیاست‌ها و شیوه‌های صنعت آینده اطلاع می‌دهد.

این مطالعه برای بررسی ابعاد مختلف تأثیر MTBE بر موتورهای SI و محیط طراحی شده است. این مقاله با بررسی جامع نقش MTBE در فرمولاسیون سوخت و اثرات آن بر عملکرد موتور آغاز می‌شود. در مرحله بعد، خطرات زیست‌محیطی مرتبط با MTBE را بررسی می‌کند و بر پتانسیل آن برای آلودگی و اثرات بهداشتی تمرکز می‌کند. این مطالعه با بحث در مورد معاوضه بین عملکرد و ایمنی محیطی به پایان می‌رسد و توصیه‌هایی برای تحقیقات و سیاست‌های آینده ارائه می‌دهد.

مواد و روش‌ها

این بخش از مطالعه از سه قسمت اصلی تشکیل شده است. بخش اول به ارائه آماده‌سازی نمونه‌های سوخت می‌پردازد. بخش دوم آزمون‌های موتور مقتضی را انجام می‌دهد و بخش سوم به ارائه نحوه انجام فرایند مربوط به ارزیابی چرخه حیات می‌پردازد.

آماده‌سازی نمونه‌های سوخت

در این بخش جزییات آماده‌سازی نمونه سوخت‌ها ارائه می‌گردد. سوخت بنزین به‌عنوان سوخت شاهد و درصد‌های پایین MTBE (شامل ۰، ۳، ۶ و ۹ درصد) به‌عنوان افزودنی سوخت بنزین استفاده شد. جدول ۱ به ارائه مقادیر مربوط به هر نمونه سوخت می‌پردازد. مطابق با جدول ۱، نمونه سوخت‌ها در حجم‌های ۵۰۰ میلی‌لیتر آماده شد.

^۱ Life cycle assessment

جدول ۱- جزئیات آماده‌سازی نمونه سوخت‌ها

Table 1- Details of fuel samples preparation				
Total volume (mL)	MTBE	Gasoline	Index	order
500	0	500	GM0	1
500	15	485	GM3	2
500	30	470	GM6	3
500	45	455	GM9	4

برای همگن کردن نمونه‌های سوخت از هموژنایزر (Polytron®) در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه استفاده شد. در همین راستا ترکیب سورفکتانت توئین به اسپن ۸۰ با نسبت ۱ به ۲ استفاده شد. پایداری نمونه سوخت‌های آماده شده، حاوی غلظت‌های مختلف افزودنی‌ها با قرار دادن نمونه سوخت‌ها در دمای اتاق به مدت ۳۰ روز بدون جابجایی مطابق با روش ارائه شده توسط فیض‌اله زاده اردبیلی و همکاران (۲۰۲۱) مورد مطالعه قرار گرفت [۱۷]. افزودنی‌های سوخت در طول دوره آزمایشی پایدار بودند و هیچ‌گونه رسوبی مشاهده نشد.

خواص فیزیکی-حرارتی نمونه سوخت‌ها، از جمله تأثیرگذارترین عوامل در عملکرد و انتشار آلاینده‌گی موتور است. از جمله این پارامترها، می‌توان به چگالی، ویسکوزیته، و ارزش حرارتی، اشاره کرد (جدول ۲). در این مطالعه، چگالی نمونه‌های سوخت در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد با به‌کارگیری دستگاه اندازه‌گیری چگالی مدل DA-130N اندازه‌گیری شد. در ادامه ویسکوزیته نمونه‌های سوخت با استفاده از ویسکومتر بروکفیلد مدل DV-II Prime در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد. ارزش حرارتی نمونه‌های سوخت با به‌کارگیری دستگاهی به نام بمب کالری متر Par-PM52 اندازه‌گیری شد روش کار به این شکل است که پس از اندازه‌گیری دمای اولیه و ثانویه، مقادیر در رابطه ۱ قرار داده می‌شوند تا میزان ارزش حرارتی سوخت حاصل شود.

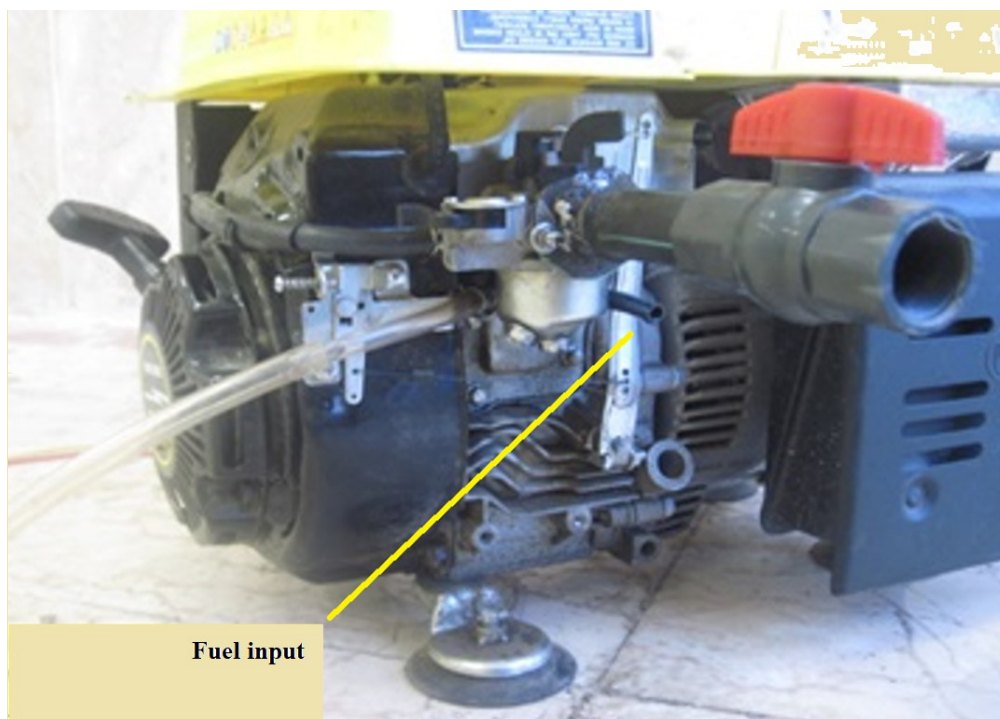
$$(۱) \text{ گرمای نهان سوخت} - (\text{میزان کربنات} + ۲/۳ \times \text{طول سیم}) \times ۲۴۲۶ = (\text{دمای اولیه} - \text{دمای ثانویه}) \times \text{ارزش حرارتی سوخت}$$

در این رابطه، اعداد ۲۴۲۶ و ۲/۳ اعداد ذاتی مربوط به نوع دستگاه بمب کالری متر بوده که ممکن است برای وسیله‌ای از نوع دیگر صادق نباشد.

انجام آزمون موتور

نمونه سوخت‌های آماده شده داخل بطری‌های نیم لیتری ریخته شدند سپس به‌طور تجربی در یک موتور احتراق جرقه‌ای تک سیلندر چهار زمانه، مدل rme1000 با حجم جابجایی ۹۸cc و حداکثر توان ۸۰۰W مورد آزمون قرار گرفتند. در این تحقیق به منظور استفاده از نمونه سوخت‌ها در موتور ژنراتور rme1000 و همچنین اندازه‌گیری میزان سوخت مصرفی با تعبیه‌ی یک مجرای مجزا در پشت کاربراتور، و تعبیه یک شیر در مسیر انتقال سوخت، تلاش بر ایجاد کنترل روی سوخت مصرفی شد. به این صورت که سوخت از یک مخزن مجزا و با عبور از یک لوله شیشه‌ای مدرج به روش جابجایی قابلیت اندازه‌گیری داشت و همچنین توسط مخزن اولیه و شیر تعبیه شده، هر لحظه می‌توانستیم به سوخت شاهد دسترسی پیدا کنیم. برای تحت بار قرار دادن موتور از یک مقاومت متغیر نوع TDGC2-5kVA و یک هیتر 1 kW استفاده شد. با اندازه‌گیری توان موتور مقدار آمپر و ولتاژ برق اندازه‌گیری شد (حاصل ضرب آمپر و ولتاژ برق مستقیم (DC) نشان‌دهنده میزان توان مصرفی است). از آلاینده سنج مدل QRO-401 ساخت شرکت QROTECH، برای اندازه‌گیری مقادیر آلاینده‌های خروجی از آگروز موتور استفاده شد (شکل ۱).

در هنگام آزمون موتور، ابتدا موتور توسط سوخت شاهد راه‌اندازی شد و پس از ۵ دقیقه و گرم شدن موتور، مسیر سوخت شاهد بسته شده و همزمان مسیر ورود نمونه سوخت‌ها باز شد. در این حالت مقدار نمونه سوخت و هوای ورودی طوری تنظیم می‌شد که شرایط کاری موتور به حالت پایدار برسد. پس از پایداری، داده‌های مربوط به توان برق تولید شده و انتشار گازهای آلاینده CO₂ و CO و UHC اندازه‌گیری و یادداشت می‌شد.



شکل ۱- محل ورودی سوخت و ورودی هوا به موتور تحت آزمون
Figure 1- Location of fuel inlet and air inlet to the engine under test

ارزیابی چرخه حیات

ارزیابی چرخه حیات یک رویه تخصصی است که برای ارزیابی منابع، فرآیندها و خدمات مورد استفاده در طول چرخه تولید، از اکتساب مواد خام، تولید و مراحل تا سیستم‌های مختلف تولید و اثرات بالقوه زیست‌محیطی آن فعالیت‌ها استفاده می‌شود. در ابتدا، ارزیابی چرخه حیات از روشی استفاده می‌کند که چگونه آیت‌های مختلف بر محیط تأثیر می‌گذارند. ارزیابی چرخه حیات یک رویکرد استاندارد برای ارائه یک پایه علمی محکم برای پایداری محیطی برای کسب و کارها و دولت‌ها است [۱۲]. ارزیابی چرخه حیات اثرات اکولوژیکی مواد کامپوزیتی را در مورد ماهیت قابل بازیافت آن‌ها تجزیه و تحلیل می‌کند [۱۸]. تجزیه و تحلیل از گهواره تا گور اثرات زیست‌محیطی یک محصول یا خدمات را از زمان تصور تا زمان دور انداختن آن، از جمله تمام مراحل ساخت، حمل‌ونقل، مصرف کاربر نهایی و دفع زباله بررسی می‌کند [۱۲]. ارزیابی چرخه حیات دارای چهار مرحله است: تعریف اهداف و دامنه، انجام تجزیه و تحلیل موجودی، انجام ارزیابی تأثیر و تفسیر نتایج.

روش ارزیابی چرخه حیات شامل مرزهای سیستم و میزان جزئیات مورد نیاز است که می‌تواند بر اساس کاربرد خاص و موضوع تحقیق متفاوت باشد. عمق و دامنه یک مطالعه ارزیابی چرخه حیات بسته به اهداف مطالعه می‌تواند به طور قابل توجهی متفاوت باشد. برای مطالعه حاضر، مرزهای سیستم شامل آماده‌سازی نمونه سوخت و مرحله احتراق نمونه‌های سوخت می‌شود

[۱۶]. هدف اصلی این مطالعه ارزیابی چرخه حیات انجام یک ارزیابی جامع از اثرات زیست‌محیطی آماده‌سازی نمونه سوخت‌های حاوی بنزین و افزودنی اکسیژن‌دار، و تولید و استفاده از انرژی برای افزایش راندمان موتور و به حداقل رساندن آلاینده‌ها است.

در ارزیابی چرخه حیات، واحد عملکردی به مجموعه‌ای از مراجع برای داده‌های موجودی اشاره دارد [۱۶]. واحد عملکردی معمولاً در خروجی سیستم توضیح داده می‌شود [۱۲]. در این مطالعه، واحد عملکردی نهایی برای هر مخلوط سوخت ۱ گیگاژول از توان شفت تولید شده توسط احتراق تعیین می‌شود. علاوه بر این، برای درک اثرات زیست‌محیطی هر مرحله، زیرسیستم‌های متعددی مستقل از مراحل قبل بررسی می‌شوند. در واقع، این نوع محاسبات در ارزیابی چرخه حیات می‌تواند بینش بیشتری در مورد ماهیت عملیاتی هر مرحله از منظر اثرات محیطی ارائه دهد.

سیاهه چرخه حیات بخش مهمی از فرآیند ارزیابی چرخه عمر است که هدف آن کمی کردن تمام ورودی‌ها و خروجی‌های یک سیستم است. این مرحله شامل چهار مرحله فرعی است که به‌صورت همزمان انجام می‌شود [۱۲]. در مرحله اول، تمام عملیات درگیر در چرخه عمر محصول، از برداشت انرژی و مواد خام از محیط‌زیست، باید شناسایی شوند. مرحله دوم چالش برانگیزترین مرحله است و نیاز به استخراج داده‌های ضروری برای هر روش دارد. داده‌ها را می‌توان از مطالعات علمی، انتشارات متخصص ارزیابی چرخه حیات، و سوابق تجاری و دولتی به دست آورد. مرحله سوم شامل بازنگری مرزهای سیستم برای شناسایی بردارهای مهم مرزهای سیستم و حذف فرآیندهایی است که از مرزهای سیستم فراتر می‌روند [۱۹]. در نهایت، تمام ورودی‌ها و خروجی‌های فرآیندها توسط واحد عملکردی تنظیم می‌شوند [۱۶]. ارزیابی چرخه حیات به‌طور کلی از دو جزء کلیدی، انتشار مستقیم و غیرمستقیم تشکیل شده است.

انتشار مستقیم از منابعی می‌آید که کسب‌وکار گزارش دهنده مالک یا کنترل آن‌ها است. این مطالعه انتشار مستقیم را با مرحله احتراق، که به‌عنوان انتشار آگروز شناخته می‌شود، مرتبط می‌کند. تحقیقات قبلی CO_2 ، O_2 ، NO_x و CO را به‌عنوان آلاینده‌های اصلی آگروز موتور احتراق تراکمی شناسایی کردند [۱۶].

انتشار غیرمستقیم آن‌هایی هستند که از عملیات سازمان گزارش‌دهنده می‌آیند، اما از منابعی می‌آیند که متعلق به سایر طرف‌ها هستند یا توسط آن اداره می‌شوند. در واقع، این انتشارات مربوط به ایجاد مواد شیمیایی متعدد در اجزای مختلف سیستم تولید برق است. مقدار هر ورودی موردنیاز برای این انتشارات. جدول ۲ سیاهه تهیه شده برای این مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۲- سیاهه چرخه حیات

Table 2- Life cycle inventory

Item	Value	Unit
<i>Fuel sample preparation (FU= 1 kg of fuel sample)</i>		
Ethanol	Based on fuel sample requirement	kg
Span	Based on fuel sample requirement	kg
Tween	Based on fuel sample requirement	kg
Water	Based on fuel sample requirement	kg
Gasoline	Based on fuel sample requirement	kg
MTBE	Based on fuel sample requirement	kg
Steel	0.00024	kg
Polyethylene	0.0008	kg
Acrylonitrile Butadiene Styrene	0.0013	kg
Electricity	0.38	kWh
<i>Combustion of fuel samples (FU= 1 MJ shaft power produced)</i>		
Indirect emissions		
Gasoline	According to PF sample	kg
Engine body	0.000025	kg
Direct emissions		
NOx	Measured for each scenario	kg
UHC	Measured for each scenario	kg
CO2	Measured for each scenario	kg
CO	Measured for each scenario	kg

هدف ارزیابی سیاهه چرخه حیات ارائه اطلاعات بیشتر در مورد اثرات سیاهه چرخه حیات یک سیستم محصول است تا اهمیت آن‌ها برای محیط‌زیست بهتر درک شود. هدف ارزیابی سیاهه چرخه حیات این است که به مردم کمک کند تا بر اساس نتایج ارزیابی سیاهه چرخه حیات درک کنند که تأثیرات محیطی ممکن برای سیستم‌های تولیدی چقدر حیاتی است. ارزیابی سیاهه چرخه حیات باید به اثرات بالقوه روی "مناطق حفاظت شده" از جمله چشم‌انداز اکولوژیکی^۱، سلامت انسان^۲، تغییرات آب و هوایی^۳ و کیفیت منابع^۴ نگاه کند. در ده سال گذشته، روش‌های بسیاری برای ارزیابی اثرات بر محیط‌زیست بهبود یافته است. برای اندازه‌گیری بارهای محیطی در این تحقیق از Impact2002+ استفاده شده است.

از سوی دیگر، شاخص نقطه پایانی مناطق حفاظت شده را توصیف می‌کند، در حالی که شاخص نقطه میانی نشان می‌دهد که نتایج موجودی و نقاط پایانی چگونه بر یکدیگر تأثیر می‌گذارند. استراتژی نقطه پایانی بسیار کمتر واضح است اما می‌تواند نتایج کاملاً واضحی داشته باشد و تصمیم‌گیری را آسان‌تر می‌کند.

آخرین مرحله از فرآیند ارزیابی چرخه حیات، تفسیر چرخه حیات است. این روند جایی است که اثرات سیاهه چرخه حیات، ارزیابی سیاهه چرخه حیات یا هر دو خلاصه می‌شود تا بتوان نتیجه‌گیری، پیشنهادات و تصمیماتی را اتخاذ کرد که با اهداف هماهنگ باشد.

تجزیه و تحلیل حساسیت همه چیز در مورد تجزیه و تحلیل منابع عدم قطعیت در ورودی‌های یک مدل یا سیستم ریاضی و اثرات آن‌ها بر خروجی مدل یا سیستم است [۱۶]. با ایجاد تغییرات ۱۰ درصدی در اطلاعات و ضریب خروجی، می‌توانیم تجزیه و تحلیل حساسیت چهار دسته آسیب را انجام دهیم. چهار پیامد آسیب به عنوان متغیرهای وابسته در نظر گرفته می‌شوند و متغیرهای مستقل ترکیبات سوخت شامل درصد بیواتانول و بنزین، در فرآیند احتراق هستند. پارامترها و چندین تجزیه و تحلیل با استفاده از صفحه گسترده Excel 2019 محاسبه می‌شوند. علاوه بر این، از نرم‌افزار SimaPro V8.2.3 برای انجام تحقیقات بر روی دسته‌بندی ارزیابی چرخه حیات استفاده می‌شود.

نتایج و بحث

این بخش از مقاله به ارائه نتایج به دست آمده از مرحله آزمون تجربی می‌پردازد. بخش اول نتایج به ارائه نتایج مربوط به خواص فیزیکی-حرارتی سوخت، بخش دوم به ارائه نتایج آزمون تجربی موتور و بخش سوم به ارائه نتایج مربوط به ارزیابی چرخه حیات و تحلیل زیست‌محیطی می‌پردازد.

نتایج اندازه‌گیری خواص فیزیکی-حرارتی نمونه سوخت‌ها

جدول ۳ نتایج مربوط به خواص نمونه‌های سوخت را ارائه می‌دهد. مطابق با جدول، ارزش حرارتی نمونه‌های سوخت با اضافه کردن افزودنی سوخت کاهش می‌یابد. زیرا ارزش حرارتی افزودنی MTBE از ارزش حرارتی بنزین کمتر است. از طرفی دیگر، با اضافه کردن افزودنی‌ها به نمونه سوخت حاوی بنزین، ویسکوزیته و دانسیته نمونه سوخت‌ها نیز کاهش می‌یابد. زیرا ویسکوزیته و دانسیته MTBE کمتر از بنزین است (جدول ۳).

¹ Ecosystem quality

² Human health

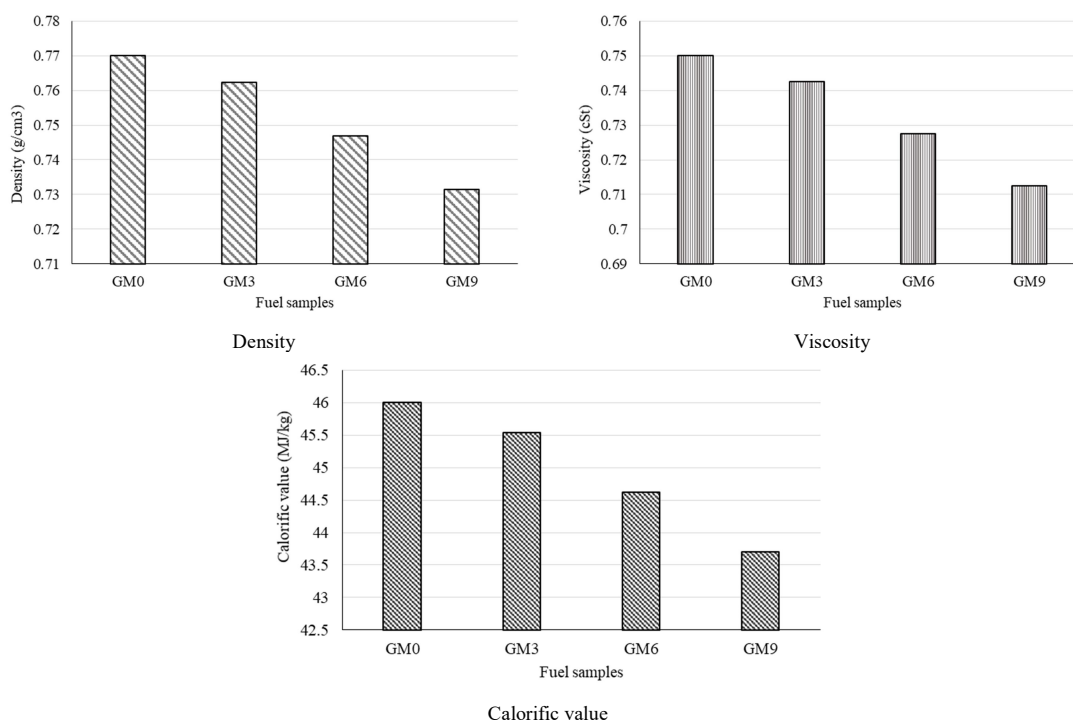
³ Climate change

⁴ Resources

جدول ۳- خواص سوخت

Order	Index	Density (g/cm ³)	LHV (MJ/kg)	Viscosity (cSt)
1	GM0	0.77	46.00	0.75
2	GM3	0.76	45.54	0.74
3	GM6	0.74	44.62	0.72
4	GM9	0.73	43.70	0.71

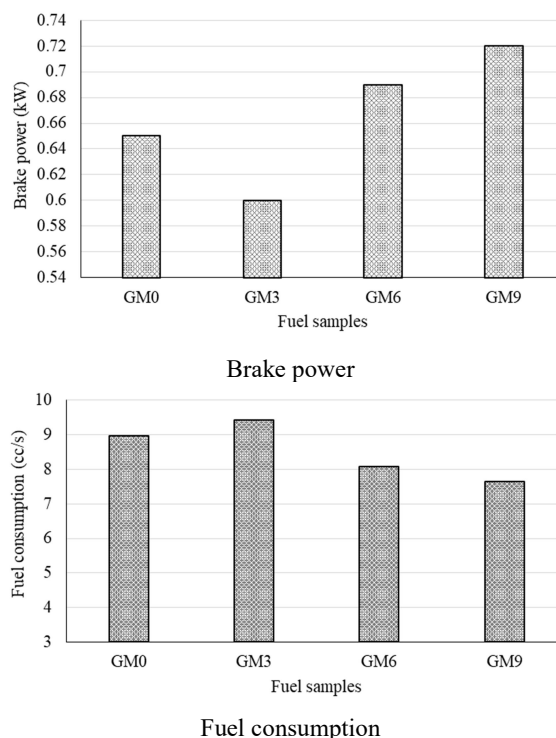
شکل ۲ روند تغییرات خواص فیزیکی-حرارتی نمونه سوخت‌ها را به صورت گرافیکی نشان می‌دهد.



شکل ۲- روند تغییرات خواص فیزیکی-حرارتی نمونه‌های سوخت
Figure 2- Changes in physical-thermal properties of fuel samples

نتایج آزمون موتور

در این بخش نتایج به دست آمده از مرحله آزمون موتور ارائه می‌گردد. بخش اول به ارائه نتایج عملکرد موتور و بخش دوم به ارائه نتایج انتشار آلاینده‌های موتور می‌پردازد. مطابق با شکل ۳ می‌توان مشاهده کرد، افزودن MTBE به بنزین به‌طور تقریبی توانسته است حدود ۱۰ الی ۲۰ درصد توان ترمزی را افزایش دهد. تنها در نمونه سوخت GM3 توان ترمزی در حدود ۸ درصد کاهش داشته است. یکی از دلایل این افزایش توان، بالا بودن عدد اکتان افزودنی MTBE نسبت به نمونه سوخت بنزین است. از طرفی دیگر با توجه به کم بودن ویسکوزیته افزودنی MTBE نسبت به بنزین، عمل اتمیزه شدن و اختلال نمونه سوخت با هوای ورودی به پیستون نیز می‌تواند تحت تأثیر قرار گرفته و موجب بهبود توان خروجی از موتور شود.



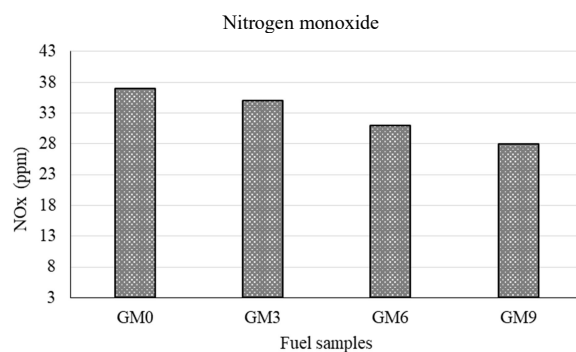
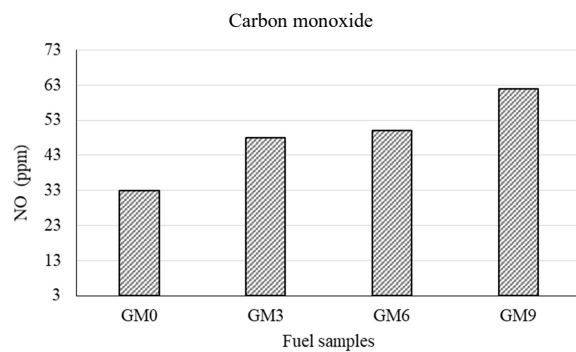
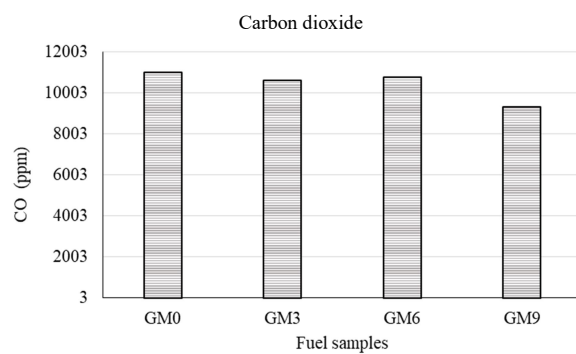
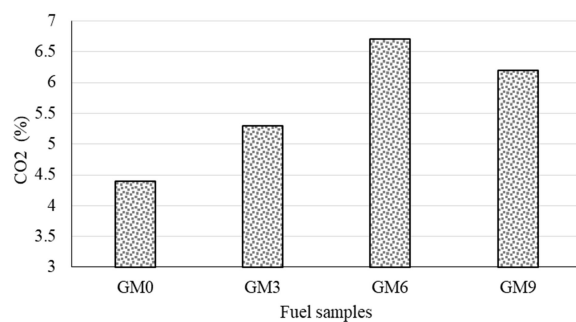
شکل ۳- روند تغییرات پارامترهای عملکردی موتور بنزینی در حضور نمونه سوخت‌ها
Figure 3- Trend of engine performance parameters in the presence of fuel samples

از طرفی دیگر مطابق با شکل ۳ می‌توان نتیجه گرفت با افزایش توان ترمزی، مصرف سوخت موتور کاهش داشته است. به طوری که با افزایش درصد MTBE در نمونه سوخت‌ها با توجه به بهبود بازدهی و توان ترمزی موتور، میزان مصرف سوخت کاهش نسبی داشته است.

شکل ۴ به ارائه نتایج مربوط به انتشار آلایندگی موتور در حضور نمونه سوخت‌ها می‌پردازد. مطابق با شکل ۴ می‌توان نتیجه گرفت، با افزودن MTBE انتشار دی‌اکسید کربن افزایش یافته است. این روند می‌تواند نشان از بهبود کیفیت احتراق با افزودن MTBE در موتور تحت آزمون باشد. این ادعا در روند انتشار مونوکسید کربن در شکل ۴ نیز مشاهده می‌شود. به طوری که با افزایش MTBE انتشار مونوکسید کربن تا حدودی کاهش یافته است.

مطابق با شکل ۴، انتشار اکسیدهای نیتروژن با افزایش درصد MTBE کاهش یافته است. یکی از دلایل این کاهش، افزایش عدد اکتان سوخت با افزودن MTBE و بهبود احتراق که می‌تواند دمای داخل محفظه احتراق را تحت تأثیر قرار داده و به تبع آن انتشار اکسیدهای نیتروژن را تحت تأثیر قرار دهد.

در این حوزه مطالعات متعددی انجام شده است و نتایج مشابهی در شرایط کاری مختلف موتور به دست آمده است. در مطالعه توپگول و همکاران، آزمایش‌ها در دور موتور ۱۵۰۰-۵۰۰ دور در دقیقه با افزایش ۵۰۰ دور در دقیقه در بار کامل و نسبت تراکم ۱۰:۱ انجام شد. نتیجه آزمایشات موتور نشان داد که توان موتور مشابه یا نزدیک به بنزین بدون سرب (MTBE0) در درصد MTBE تا ۱۰٪ است. علاوه بر این، ترکیبات MTBE مصرف سوخت را بهبود بخشید و مصرف انرژی ویژه ترمز را کاهش داد. با توجه به انتشار آگروز، انتشار CO و NOx با افزایش محتوای MTBE در سوخت مخلوط کاهش یافت. این یافته تقریباً مشابه با نتایج به دست آمده از مطالعه حاضر بود. علاوه بر این، غلظت NO برای مخلوط‌های MTBE به دلیل غنی‌سازی اکسیژن افزایش یافت. که کاملاً منطبق با یافته‌های مطالعه حاضر است [۲۰].



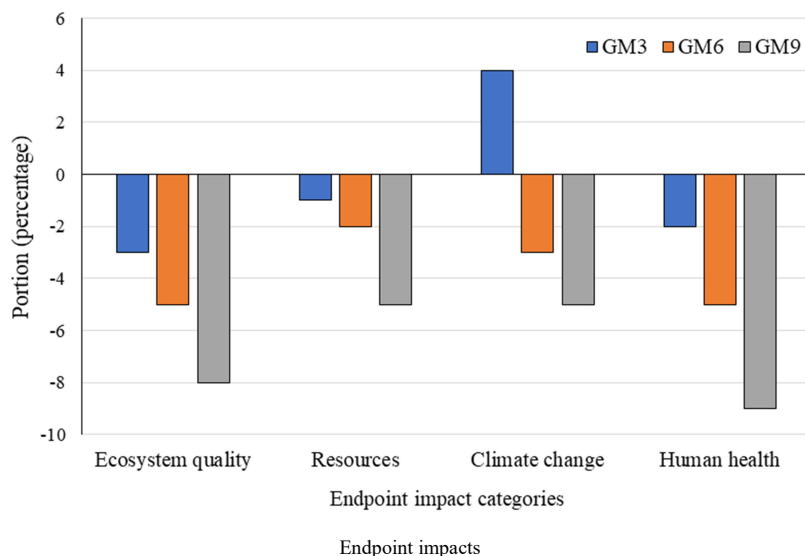
Nitrogen oxides

شکل ۴- روند تغییرات انتشار آلاینده‌های موتور بنزینی در حضور نمونه سوخت‌ها
Figure 4- Trend of engine emission parameters in the presence of fuel samples

مطالعه انجام شده توسط حسین و همکاران با هدف بررسی استفاده از MTBE به عنوان یک تقویت کننده اکتان با بنزین معمولی با اکتان پایین در نسبت اضافه ۵٪، ۱۰٪ و ۱۵٪ بر اساس حجم علاوه بر بنزین خالص محلی ضریب تغییرات در شرایط کارکرد ثابت دور موتور ۴۰۰۰ دور در دقیقه محاسبه شده است. نتایج نشان می‌دهد که توان ترمزی موتور با افزودن MTBE افزایش یافت و مصرف سوخت نیز کاهش یافت که می‌توان عنوان کرد روند تغییرات پارامترهای عملکردی موتور منطبق با یافته‌های مطالعه حاضر بود [۲۱]. نتایج مشابه در مطالعه سزار و همکاران نیز به دست آمد [۲۲]. یکی از اصلی‌ترین دلایل این تغییرات در پارامترهای عملکردی و آلاینده‌ی موتور بنزینی در حضور MTBE محتوای اکسیژن این افزودنی اشاره شده است. در این حوزه مطالعات متعددی انجام گرفته است که بسیاری از آن‌ها به استفاده از درصد‌های مختلف و تیمارهای مختلف MTBE به عنوان افزودنی سوخت بنزین در راستای یافتن بهترین ترکیب سوخت با بالاترین ضریب بهبود و کمترین هزینه تولید توان اشاره کرده‌اند [۲۳].

نتایج ارزیابی چرخه حیات

این بخش از نتایج به ارائه نتایج مربوط به خروجی ارزیابی چرخه حیات می‌پردازد. نتایج ارزیابی چرخه حیات در دسته‌بندی تأثیرات پایانی (شکل ۵) است. شکل ۵ روند تغییرات تأثیرات پایانی را نسبت به نمونه سوخت شاهد ارائه می‌دهد. مطابق با شکل ۵، افزودن MTBE به‌طور نسبی موجب کاهش متغیرهای مربوط به تأثیرات زیست‌محیطی شده است.



شکل ۵- روند تغییرات پارامترهای زیست‌محیطی خروجی از ارزیابی چرخه حیات نسبت به نمونه سوخت شاهد

Figure 5- Trend of the environmental parameters output from the life cycle assessment compared to the control fuel sample

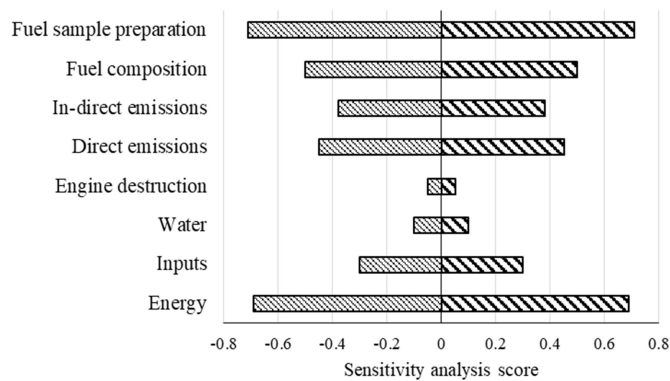
MTBE حاوی اکسیژن است که باعث احتراق کامل‌تر در موتورهای جرقه‌زنی می‌شود. این احتراق تقویت شده می‌تواند انتشار هیدروکربن‌های نسوخته (HC) و مونوکسید کربن (CO) (شکل ۴) را کاهش دهد، که هر دو عامل مهمی در تغییرات پارامترهای زیست‌محیطی و تشکیل دود هستند. با بهبود راندمان احتراق، MTBE می‌تواند به کاهش بار کلی محیطی مرتبط با انتشارات موتور کمک کند. از طرفی دیگر، MTBE دارای درجه اکتان بالایی است که به جلوگیری از ضربه زدن موتور کمک می‌کند و امکان عملکرد نرم‌تر موتور را فراهم می‌کند. این مزیت می‌تواند منجر به راندمان بهتر موتور و کاهش احتمال احتراق

ناقص شود. در نتیجه، خودرو می‌تواند با آلاینده‌گی کمتر و بازده سوخت بهتر کار کند، که به کاهش اثرات زیست‌محیطی در طول چرخه عمر موتور کمک می‌کند.

با ترویج احتراق کامل‌تر، MTBE می‌تواند به‌طور غیرمستقیم تشکیل برخی از ترکیبات مضر مانند هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs) و اکسیدهای نیتروژن (NOx) (شکل ۴) را کاهش دهد. این کاهش در انتشارات سمی به کاهش اثرات زیست‌محیطی ناشی از آلودگی هوا و خطرات بهداشتی مرتبط کمک می‌کند.

MTBE می‌تواند پایداری بنزین را افزایش داده و از تبخیر و تخریب آن در طول زمان جلوگیری کند. این پایداری به کاهش انتشار ترکیبات آلی فرار (VOC) از ذخیره‌سازی و جابجایی بنزین کمک می‌کند. VOCها پیش‌سازهای ازن سطح زمین هستند و به مسائل کیفیت هوا کمک می‌کنند. با کاهش این انتشارات، MTBE به کاهش ردپای محیطی کمک می‌کند. همچنین با بهبود راندمان احتراق و کاهش نیاز به سایر افزودنی‌های بالقوه آلاینده‌تر، MTBE می‌تواند به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای چرخه زندگی (GHG) مرتبط با تولید، حمل‌ونقل و استفاده بنزین کمک کند. در حالی که هنوز انتشار گازهای گلخانه‌ای مرتبط با تولید و استفاده MTBE وجود دارد، اثر خالص ممکن است کاهش انتشار کلی در مقایسه با بنزین بدون اکسیژن باشد.

شکل ۶ به ارائه نتایج مربوط به تحلیل حساسیت می‌پردازد. مطابق با شکل ۶، از میان تمام نهاده‌ها، می‌توان مراحل آماده‌سازی نمونه سوخت و مصرف انرژی در تهیه نمونه سوخت‌ها را عواملی با بالاترین تأثیر در پارامترهای زیست‌محیطی شناسایی کرد. برای این منظور لزوم بهینه‌سازی مراحل آماده‌سازی نمونه‌های سوخت در وسعت کلان برای تولید انواع سوخت‌های پایدار احساس می‌شود. همچنین، با توجه به اینکه مصرف انرژی نیز جزو مؤلفه‌های تأثیرگذار شناسایی شده است، حرکت به سمت تولید و استفاده از انرژی‌های پاک که رد پای کمی از انتشار کربن را دارند، توصیه می‌شود.



شکل ۶- نتایج تحلیل حساسیت
Figure 6- Sensitivity analysis results

ارزیابی زیست‌محیطی و چرخه حیات در موتورهای بنزینی به‌طور محدود مورد مطالعه قرار گرفته است که هنوز پتانسیل وسیعی برای مطالعات بیشتر وجود دارد. با این حال مطابق با مطالعه انجام شده توسط هاشمی و همکاران و هاشمی نژاد و همکاران، یکی از پارامترهای مؤثر در تغییرات نتایج مربوط به ارزیابی چرخه حیات، نحوه تهیه سیاهه چرخه حیات و شرایط آزمایشگاهی انجام مراحل آزمون موتور است. بر این اساس در مقالات مختلف می‌تواند نتایج متفاوتی بر اساس نحوه انجام آزمون‌های آزمایشگاهی و آماده‌سازی سیاهه چرخه حیات به دست آید [۱۶، ۲۴].

مطالعه یانگ و همکاران با ارزیابی چرخه حیات تولید توان از موتور بنزینی در حضور MTBE و اتانول به این نتیجه رسیدند که بالاترین میزان تأثیر بر اساس تحلیل حساسیت مربوط به سیاهه چرخه حیات تولید توان از MTBE است که توصیه افزودن درصد پایینی از اتانول برای کاهش این اثرات را ارائه دادند [۲۳].

MTBE به‌عنوان یک افزودنی اکسیژن‌دار در ترکیب با نمونه سوخت‌ها شناخته می‌شود. به‌کارگیری افزودنی‌های اکسیژن‌دار به دلیل محتوای اکسیژن و بهبود عملکرد موتور و کاهش آلاینده‌های آگروز از نقطه‌نظر ارزیابی زیست‌محیطی نیز در مطالعات مختلف توصیه شده است [۲۶،۲۵،۱۶]. بر این اساس می‌توان عنوان کرد نتایج به دست آمده در مطالعه حاضر می‌تواند قابل اعتماد بوده و دارای ضریب اطمینان بالایی باشد.

مطالعات آینده می‌تواند در راستای بهینه‌سازی زیست‌محیطی و اقتصادی تولید توان در حضور افزودنی‌های اکسیژن‌دار برای رسیدن به تولید توان پایدار باشد.

نتیجه‌گیری

ارزیابی چرخه عمر متیل ترت بوتیل اتر (MTBE) به‌عنوان یک افزودنی اکسیژن در موتورهای جرقه‌زنی (SI) بینش‌های ارزشمندی را در مورد تأثیر آن بر عملکرد موتور و انتشار گازهای گلخانه‌ای ارائه کرده است. از طریق این تجزیه‌وتحلیل، ما مشاهده کردیم که MTBE نقش مهمی در افزایش راندمان احتراق، کاهش انتشار مونوکسید کربن (CO) و اکسیدهای نیتروژن (NOx) و بهبود عملکرد کلی موتور از طریق درجه اکتان بالای آن ایفا می‌کند. این مزایا به کاهش اثرات زیست‌محیطی مرتبط با انتشار وسایل نقلیه و کاهش احتمالی انتشار گازهای گلخانه‌ای چرخه زندگی (GHG) کمک می‌کند. با این حال، این مطالعه همچنین مبادلات حیاتی مربوط به استفاده از MTBE را برجسته می‌کند. در حالی که می‌تواند آلاینده‌های هوا را کاهش دهد، خطرات مرتبط با آلودگی آب‌های زیرزمینی و تداوم زیست‌محیطی نگرانی‌های مهمی را ایجاد می‌کند. حلالیت بالا و پایداری طولانی مدت MTBE در محیط، آن را به یک تهدید بالقوه برای منابع آب تبدیل می‌کند، که نیاز به مدیریت و نظارت دقیق برای کاهش این خطرات دارد. با توجه به این یافته‌ها، واضح است که هنگام در نظر گرفتن استفاده از MTBE در بنزین، یک رویکرد متعادل موردنیاز است. سیاست‌گذاران و سهامداران صنعت باید مزایای احتراق بهبود یافته و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای را در برابر خطرات زیست‌محیطی مرتبط با آلودگی MTBE بسنجید. این رویکرد باید شامل ارزیابی جامع خطر، اقدامات ایمنی سختگیرانه، و چارچوب‌های نظارتی قوی باشد تا اطمینان حاصل شود که مزایای MTBE به قیمت سلامت محیط‌زیست تمام نمی‌شود. تحقیقات آینده باید بر روی توسعه اکسیژن‌های جایگزین که مزایای عملکردی مشابهی را بدون خطرات زیست‌محیطی ناشی از MTBE ارائه می‌کنند، تمرکز کند. به‌علاوه، پیشرفت‌ها در فناوری موتور و سیستم‌های کنترل انتشار ممکن است نیاز به افزودنی‌های با اکسیژن بالا را مدیریت کرده و به فرمول‌های سوخت پایدارتر از نظر زیست‌محیطی دست یابد. نقش MTBE به‌عنوان یک افزودنی اکسیژن در موتورهای SI چشم‌انداز پیچیده‌ای از مزایا و خطرات را ارائه می‌دهد. در حالی که پتانسیل آن برای کاهش آلودگی هوا و بهبود عملکرد موتور قابل توجه است، نگرانی‌های زیست‌محیطی مرتبط با استفاده از آن را نمی‌توان نادیده گرفت. این ارزیابی چرخه عمر بر اهمیت یک دیدگاه جامع در هنگام ارزیابی تأثیر زیست‌محیطی افزودنی‌های سوخت، هدایت توسعه جایگزین‌های ایمن‌تر و پایدارتر تأکید می‌کند.

منابع

- [1] B. R. Kumar and S. Saravanan, "Partially premixed low temperature combustion using dimethyl carbonate (DMC) in a DI diesel engine for favorable smoke/NOx emissions," *Fuel*, vol. 180, pp. 396-406, 2016.
- [2] R. Senthilraja, V. Sivakumar, K. Thirugnanasambandham, and N. Nedunchezian, "Performance, emission and combustion characteristics of a dual fuel engine with Diesel-Ethanol-Cotton seed oil Methyl ester blends and Compressed Natural Gas (CNG) as fuel," *Energy*, vol. 112, pp. 899-907, 2016.

- [3] J. Ghazanfari, B. Najafi, S. Faizollahzadeh Ardabili, and S. Shamshirband, "Limiting factors for the use of palm oil biodiesel in a diesel engine in the context of the ASTM standard," *Cogent Engineering*, vol. 4, no. 1, p. 1411221, 2017.
- [4] R. Mamat, A. Azri, and K. Sudhakar, "Effects of lean combustion on Bioethanol-Gasoline blends using turbocharged spark ignition engine," *International Journal of Automotive Mechanical Engineering*, vol. 18, no. 3, pp. 9140–9148–9140–9148, 2021.
- [5] B. Sugiarto, M. F. Dwinanda, D. Auliady, R. N. Andito, and C. Simanjuntak, "Investigation of Cyclohexanol as an Oxygenated Additive for Gasoline--Bioethanol Mixtures and Its Effect on the Combustion and Emission Characteristics of Spark Ignition Engines," *International Journal of Technology*, vol. 12, no. 5, 2021.
- [6] I. Yusri *et al.*, "Alcohol based automotive fuels from first four alcohol family in compression and spark ignition engine: A review on engine performance and exhaust emissions," *Renewable Sustainable Energy Reviews*, vol. 77, pp. 169-181, 2017.
- [7] M. Deshmukh, D. S. Pendse, and A. Pande, "Effects of blending bioethanol with gasoline on spark-ignition engine-A review," *Journal of Integrated Science and Technology*, vol. 10, no. 2, pp. 87-99, 2022.
- [8] A. Kontses, G. Triantafyllopoulos, L. Ntziachristos, and Z. Samaras, "Particle number (PN) emissions from gasoline, diesel, LPG, CNG and hybrid-electric light-duty vehicles under real-world driving conditions," *Atmospheric Environment*, vol. 222, p. 117126, 2020.
- [9] S.-R. Jhang, Y.-C. Lin, K.-S. Chen, S.-L. Lin, and S. Batterman, "Evaluation of fuel consumption, pollutant emissions and well-to-wheel GHGs assessment from a vehicle operation fueled with bioethanol, gasoline and hydrogen," *Energy*, vol. 209, p. 118436, 2020.
- [10] B. Sugiarto, A. P. Adrian, C. Simanjuntak, N. A. Nubli, and N. Farisa, "The effect of low-grade bioethanol and oxygenated cyclooctanol additive utilization on a 125 CC motor's exhaust gas emission and coefficient of variation," in *AIP Conference Proceedings*, 2021, vol. 2376, no. 1: AIP Publishing.
- [11] P. Verma *et al.*, "An overview of the influence of biodiesel, alcohols, and various oxygenated additives on the particulate matter emissions from diesel engines," *Energies*, vol. 12, no. 10, p. 1987, 2019.
- [12] F. Hashemi, R. Pourdarbani, S. Ardabili, and J. L. Hernandez-Hernandez, "Life Cycle Assessment of a Hybrid Self-Power Diesel Engine," *Acta Technologica Agriculturae*, vol. 26, no. 1, pp. 17-28, 2023.
- [13] S. Faizollahzadeh Ardabili, "Improving the combustion process of biodiesel using additives," Ph.D. thesis Fundamental, Biosystem Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, 2021.
- [14] S. Hossain, S. Akter, C. K. Saha, T. Reza, K. B. Kabir, and K. Kirtania, "A comparative life cycle assessment of anaerobic mono- and co-digestion of livestock manure in Bangladesh," *Waste Management*, vol. 157, pp. 100-109, 2023.
- [15] M. Mortaza, B. Najafi, and S. Faizollahzadeh Ardabili, "Production of biodiesel with waste cooking oil from a life cycle assessment perspective," *Journal of Environmental Science Studies*, vol. 8, no. 3, pp. 6962-6967, 2023.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] R. Pourdarbani, S. Ardabili, E. Akbarpouran, and J. L. Hernandez-Hernandez, "Exergo-Environmental Optimization of a Diesel Engine," *Acta Technologica Agriculturae*, vol. 25, no. 3, pp. 157-168, 2022.
- [19] T. M. Gundoshmian, S. Ardabili, M. Csaba, and A. Mosavi, "Modeling and optimization of the oyster mushroom growth using artificial neural network: Economic and environmental impacts," *Mathematical Biosciences Engineering*, vol. 19, no. 10, pp. 9749-9768, 2022.
- [20] T. Topgül, "The effects of MTBE blends on engine performance and exhaust emissions in a spark ignition engine," *Fuel Processing Technology*, vol. 138, pp. 483-489, 2015.
- [21] A. A. Hussein, O. M. Ali, and N. T. Alwan, "Evaluation of Spark Ignition Engine Performance and Operation Stability with Low Octane Gasoline and Methyl Tert-Butyl Ether Additive," *International Journal on Engineering Applications*, vol. 11, no. 3, 2023.
- [22] I. Sezer and A. Bilgin, "Effects of methyl tert-butyl ether addition to base gasoline on the performance and CO emissions of a spark ignition engine," *Energy Fuels*, vol. 22, no. 2, pp. 1341-1348, 2008.
- [23] Q. Yang *et al.*, "Comparative study on life cycle assessment of gasoline with methyl tertiary-butyl ether and ethanol as additives," *Science of the total environment*, vol. 724, p. 138130, 2020.
- [24] F. Hashemi, "Modeling and investigation of the life cycle of the hybrid power generation process from the diesel engine," Master, Department of Biosystem engineering, University of Mohaghegh Ardabili, University of Mohaghegh Ardabili, 2021.
- [25] O. I. Awad *et al.*, "Overview of the oxygenated fuels in spark ignition engine: Environmental and performance," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 91, pp. 394-408, 2018.
- [26] M. Demirbas and M. K. Yesilyurt, "Investigation of the behaviors of higher alcohols in a spark-ignition engine as an oxygenated fuel additive in energy, exergy, economic, and environmental terms," *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, vol. 148, no. 10, pp. 4427-4462, 2023.

English Abstract

Life cycle assessment of the effect of methyl tert-butyl ether as an oxygen additive on spark ignition engine performance and emissions

Gholamhossein Shahgholi^{1*}, Sina Faizollahzadeh Ardabili^{2*}

1- Professor, Biosystems Engineering, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran, Shahgholi@uma.ac.ir

2- Assistant professor, Department of Engineering Sciences, Faculty of Advanced Technologies, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran, sina.faiz@uma.ac.ir

*Corresponding author

(Received: 2024/05/10, Received in revised form: 2024/06/14, Accepted: 2024/06/21)

The use of fuel additives is an engineering solution to achieve a clean combustion with a high thermodynamic efficiency. Fuel quality in all types of internal combustion engines is mainly related to the thermophysical properties of the fuel. Based on this, there is a special desire to develop new gasoline fuel formulas to increase braking power and reduce spark-ignition engine fuel consumption and greenhouse gas emissions. Life cycle assessment is a reliable method to evaluate the environmental impact of a process. This study is dedicated to investigating the performance of gasoline engine and emission of greenhouse gases using Methyl tert-butyl ether gasoline mixture. Part of this research is an attempt to investigate the impact of the life cycle of fuel samples with the aim of obtaining a fuel mixture that can increase engine performance in addition to reducing pollutants. All tests are performed at constant engine speed and full engine load. Based on the results, it can be said that the addition of MTBE to gasoline was able to increase approximately 10-20% braking power. On the other hand, carbon dioxide emission increased by adding MTBE (about 20-35%). Also, with the increase of MTBE, the emission of carbon monoxide has decreased to some extent. The addition of MTBE also relatively reduced the environmental impact variables. With the advancement of technology, and the emergence of intelligent emission control systems, the movement towards the management and optimization of oxygenated additives and the achievement of more environmentally sustainable fuel formulations is prevalent.

Keywords: Gasoline engine; Fuel additive; Oxygenated additives; Engine emissions.