



Semnan University



Research Article

The effect of bioethanol as a gasoline fuel additive on the performance and emissions of a gasoline engine: from a life cycle assessment perspective

Hadi Ghaebi^{a,*}, Sina Faizollahzadeh Ardabili^b, Mohammad Hosseinzadeh^a

^a Department of Mechanical Engineering, Technical and Engineering Faculty, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, hghaebi@uma.ac.ir, mohammadhossinzadeh1373823@gmail.com

^b Assistant Professor, Faculty of Modern Technologies, Department of Modern Engineering, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, sina.faiz@uma.ac.ir

PAPER INFO

Paper history:

Received: 2022-03-13

Revised: 2022-05-12

Accepted: 2022-10-19

Keywords:

Bioethanol, spark ignition engine, life cycle assessment, sustainable power generation

ABSTRACT

This research aims to evaluate the life cycle of the impact of using bioethanol in gasoline engines and the emission of greenhouse gases in each of the above stages. The production of bioethanol was obtained from the used biomass in a retention time of five days. In this research, the engine test was done with a two-stroke, single-cylinder engine. Performance parameters (braking power, brake-specific fuel consumption, and engine braking efficiency) and emission parameters (carbon dioxide emission, carbon monoxide emission, and nitrogen oxide emission) were recorded. Then, the list of power production cycles (to produce 1 kW of power) was prepared. Next, by applying the ISO14040 standard and the IMPACT2002+ assessment method, the life cycle assessment was performed with SIMAPRO software. According to the results obtained from the engine's performance test stage, increasing the bioethanol percentage in gasoline fuel reduced the amount of power production. Also, increasing the rate of bioethanol in gasoline fuel increased the consumption of special brake fuel. Further, with the increase in the percentage of bioethanol in gasoline fuel, from zero to five percent, the braking thermal efficiency of the engine decreased and increased from five to seven percent. According to the results obtained from the engine emission study, increasing the percentage of bioethanol from zero to two percent increased the emission of carbon monoxide, and from 2 to seven percent decreased the emission of carbon monoxide. By examining the results of the life cycle assessment, it can be said that increasing the amount of bioethanol in gasoline-containing fuel from zero to seven percent on average reduces EQ, r, CCh, and HH by 2 to 20 percent.

DOI: <https://doi.org/10.22075/jme.2024.31282.2495>

© 2024 Published by Semnan University Press.

This is an open access article under the CC-BY 4.0 license. (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

* Corresponding author.

E-mail address: hghaebi@uma.ac.ir

UNCORRECTED PROOF

تأثیر بیواتانول به عنوان افزودنی سوخت بنزین بر عملکرد و آلاینده‌گی یک موتور بنزینی: از دیدگاه ارزیابی چرخه حیات

هادی غائبی^{۱*}، سینا فیض اله زاده اردبیلی^۲، محمد حسین زاده^۱

اطلاعات مقاله	چکیده
دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۳/۲۰	هدف از اجرای این پژوهش ارزیابی چرخه حیات تأثیر استفاده از بیواتانول در موتور بنزینی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در هر یک از مراحل می‌باشد. تولید بیواتانول در زمان ماند پنج روزه از زیست توده مورد استفاده به دست آمد. در این تحقیق انجام آزمون موتور با یک موتور دوزمانه تک سیلندر انجام گرفت. پارامترهای عملکردی (توان ترمزی، مصرف سوخت ویژه ترمزی و بازده ترمزی موتور) و پارامترهای آلاینده‌گی (انتشار دی اکسیدکربن، انتشار مونوکسیدکربن و انتشار اکسیدهای نیتروژن) ثبت شدند. سپس سیاهه چرخه تولید توان (برای تولید ۱ کیلووات توان) تهیه شد. در ادامه به کارگیری استاندارد ISO14040 و روش ارزیابی IMPACT2002+، ارزیابی چرخه حیات با نرم افزار SIMAPRO انجام شد. مطابق با نتایج به دست آمده از مرحله آزمون عملکردی موتور، افزایش درصد بیواتانول در سوخت بنزین، میزان تولید توان را کاهش داد. همچنین افزایش درصد بیواتانول در سوخت بنزین موجب افزایش مصرف سوخت ویژه ترمزی شد. در ادامه با افزایش درصد بیواتانول در سوخت بنزین، از صفر تا پنج درصد، میزان بازدهی حرارتی ترمزی موتور کاهش یافته و از پنج تا هفت درصد افزایش یافت. مطابق با نتایج به دست آمده از بررسی آلاینده‌گی موتور، افزایش درصد بیواتانول از صفر تا دو درصد موجب افزایش انتشار مونوکسیدکربن شده و از ۲ تا هفت درصد موجب کاهش انتشار مونوکسیدکربن شد. با بررسی نتایج ارزیابی چرخه حیات می‌توان عنوان کرد افزایش میزان بیواتانول در سوخت حاوی بنزین از صفر تا هفت درصد به طور متوسط EQ، r، CCh و HH را به میزان ۲ الی ۲۰ درصد کاهش داد.
بازنگری مقاله: ۱۳۹۵/۰۶/۲۰	
پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۷/۱۵	
واژگان کلیدی: افزودنی‌های سوخت، بیواتانول، موتور اشتعال جرقه‌ای، ارزیابی چرخه حیات، تولید توان پایدار	

DOI: <https://doi.org/10.22075/jme.2024.31282.2495>

© 2024 Published by Semnan University Press.

This is an open access article under the CC-BY 4.0 license. (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

۱-مقدمه^۱
فرآیندهای پایان عمر استفاده می‌کند. هر مرحله از چرخه حیات مسئول مصرف منابع، تولید پسماند و کمک به انتشار در محیط را دارد [۳، ۴]. بنابراین، ارزیابی چرخه حیات پروتکلی برای درک تأثیرات بالقوه انتخاب‌های فن آوری در تخلیه منابع، مشارکت در تغییرات آب و هوایی، تولید و سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌ها، اشتغال و سلامت انسان ارائه

انرژی یک جنبه اساسی از جامعه مدرن است و پرداختن به اهمیت آن غیرممکن است [۱، ۲]. مطالعات ارزیابی چرخه حیات از روش "گهواره تا گور" یا "گهواره به گهواره" برای تعیین کمیت انرژی و مصرف مواد و ضایعات حاصل از بدست آوردن مواد اولیه، پردازش مواد، تولید، استفاده و

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: hghaebi@uma.ac.ir

۱. دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۲. دانشکده فناوری‌های نوین، گروه مهندسی نوین، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

سوخت زیستی، همه ترکیب‌های ارزیابی شده به طور بالقوه کاهش جزئی در تغییرات آب و هوایی (از ۰.۸٪ به ۱۰.۱٪) را در مقایسه با خودروی بنزینی مرجع تضمین می‌کنند. ترکیب حاوی بیونفتا کمترین میزان را در تغییرات آب و هوایی داشت. BEV حدود ۴۱ درصد کمتر از خودروی مرجع انتشار گازهای گلخانه‌ای منتشر کرد. اگرچه ICEV و BEV کاهش را در تغییرات آب و هوایی و منابع فسیلی نشان دادند، اما این تصویر برای ۱۴ دسته تاثیر دیگر چندان ساده نیست [۸].

شی و همکاران (۲۰۲۲) زمین شور-قلیایی موجود برای کاشت سورگوم شیرین در شمال غربی چین را با استفاده از تجزیه و تحلیل چند عاملی تخمین زدند، پتانسیل بیواتانول آن را کمی کردند و ردپای کربن تولید بیواتانول زیستی مبتنی بر ساقه سورگوم شیرین را در این زمین با استفاده از ارزیابی چرخه حیات مورد بررسی قرار دادند. کشت سورگوم شیرین بیشترین ردپای کربن در هر منطقه (۴۵.۳۰-۴۰.۱۸٪) را تشکیل می‌دهد. در مقایسه با بنزین، ردپای کربن برای اتانول زیستی خالص در مناطق انتخاب شده با یا بدون استفاده مجدد از محصول مشترک باگاس، ۴۹.۹۴-۳۳.۴۲٪ کاهش یافت. ردپای کربن بیواتانول ۲.۶۸-٪ کاهش یافت. بنابراین، امکان کشت سورگوم شیرین در زمین شور-قلیایی منتخب در شمال غربی چین برای تولید بیواتانول وجود دارد. با این حال، مطالعات آینده برای (۱) بهبود ژنوتیپ‌های سورگوم شیرین و شناسایی مدیریت زراعی بهینه برای مواد اولیه، (۲) فناوری‌های پیشرفته برای تولید بیواتانول، (۳) توسعه گونه‌های مخمر و باکتری مقاوم به بیواتانول، و (۴) تحریک حمایت از سیاست مورد نیاز برای تولیدکنندگان و صنعت گران برای تسریع تولید پاک تر است [۹].

هدف غنی و همکاران (۲۰۲۱) ارزیابی پتانسیل در دسترس بودن، عملکرد انرژی و پایداری زیست محیطی اتانول زیستی از ملاس نیشکر در پاکستان بود. مشخص شد که پتانسیل فعلی اتانول زیستی مبتنی بر ملاس برای جایگزینی حدود ۷ درصد از کل مصرف بنزین در کشور کافی است. نتایج نشان داد که استفاده از ترکیب ۱۰ درصد بیواتانول با بنزین به جای بنزین باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای تا ۸ درصد، سمیت سرطان زا برای انسان تا ۳ درصد و تأثیرات کمبود منابع فسیلی تا ۹ درصد می‌شود. با این حال، ترکیب ۱۰ درصد بیواتانول با بنزین تأثیر نسبتاً

می‌دهد. از نتایج ارزیابی چرخه حیات می‌توان برای شناسایی سیستماتیک فرصت‌ها برای کاهش اثرات خالص زیست محیطی با انتخاب ترکیبی از فرآیندهای صنعتی کم تأثیر در طول چرخه زندگی استفاده کرد. ارزیابی چرخه حیات به سرعت در حال توسعه است و به همین ترتیب، روش‌های انجام ارزیابی چرخه حیات هنوز در حال پیشرفت و تحت بررسی مداوم هستند [۵، ۶].

مطالعات متعددی در زمینه به کارگیری از روش ارزیابی چرخه حیات در بررسی توان تولید شده از موتورهای احتراق داخلی انجام شده است. صفری پور و همکاران (۲۰۲۱) مزایای زیست محیطی بالقوه ای را که می‌توان با تبدیل محلی کاه گندم، باقیمانده دانه گندم - یکی از محصولات اصلی غلات، به بیواتانول در کرمانشاه، به دست آورد، بررسی کردند. برای شناسایی و توصیه استراتژی‌هایی برای پرداختن به نقاط داغ اثرات زیست‌محیطی تولید و مصرف اتانول مبتنی بر کاه گندم ۱ مگاژول در مقایسه با بنزین، ارزیابی چرخه زندگی از گهواره تا گور با استفاده از روش TRACI 2.1 انجام شد. زیرسیستم‌های در نظر گرفته شده در محدوده سیستم این مطالعه شامل تولید و جمع آوری کاه گندم، انتقال کاه گندم به پالایشگاه زیستی، تبدیل کاه به بیواتانول و الکتریسیته به عنوان محصول جانبی و توزیع و احتراق بیواتانول بود. نتایج نشان داد که زیرسیستم تولید و جمع‌آوری کاه، عامل اصلی تأثیرات زیست‌محیطی چرخه زندگی بیواتانول در همه دسته‌ها، عمدتاً به دلیل انتشار در مزرعه و مصرف برق برای آبیاری بود. در مقایسه با بنزین، تولید و مصرف اتانول از انتشار دی‌اکسید کربن جلوگیری کرد. ترسیب کربن در طول زیرسیستم کشت گندم و اعتبار برق مازاد تولید شده در زیرسیستم پالایشگاه زیستی اتانول، اکثر اثرات منفی سایر بخش‌های چرخه حیات را جبران می‌کند. تجزیه و تحلیل عدم قطعیت به منظور ارزیابی اثر تغییرات ذاتی در ورودی‌های مدل ارزیابی چرخه حیات تولید نی بر روی ردپای کربن سیستم انجام شد [۷].

در مطالعه پوریچلی و همکاران (۲۰۲۲)، روش ارزیابی چرخه عمر برای ارزیابی اثرات زیست محیطی یک وسیله نقلیه موتور احتراق داخلی متوسط و یک وسیله نقلیه الکتریکی با باتری متوسط استفاده شد. برای ICEV، چهار ترکیب بنزینی نوآورانه در نظر گرفته شد. این ترکیبات نوآورانه از بنزین و سوخت‌هایی مانند اتیل ترت بوتیل اتر فسیلی تشکیل شده است. پس از انتخاب اولیه جایگزین‌های

زیست محیطی را در بر می‌گیرد، برای برجسته کردن مبادلات زیست محیطی اساسی است [۱۳].

هدف ریلای و همکاران (۲۰۲۱) ارزیابی عملکرد زیست محیطی اتانول تولید شده از خمیر کاساوا و استفاده از آن به عنوان سوخت حمل و نقل بود. نتایج نشان داد که بهترین سناریو، کارخانه اتانول است که به طور کامل از جایگزینی بیوگاز نفت کوره برای تولید بخار استفاده می‌کند و در آن خمیر کاساوا با استفاده از ارزش اقتصادی تخصیص داده می‌شود. تأثیر تغییر آب و هوا استفاده از سوخت مبتنی بر اتانول در خودرو کمتر از بنزین است و به ترتیب ۶٪، ۱۰٪ و ۴۸٪ باعث صرفه جویی در گازهای گلخانه‌ای برای E10، E20 و E85 می‌شود. کاهش فسیلی نیز به ترتیب ۱۴٪، ۱۹٪ و ۵۹٪ کاهش یافت. هر دو E10 و E20 در مقایسه با بنزین از نظر اسیدی شدن زمین، سمیت انسانی و تشکیل اکسیداسیون فتوشیمیایی تأثیرات کمی متفاوت دارند. در مقابل، E85 منجر به افزایش اثرات منفی مربوط به اتروفیکاسیون آب شیرین، TA، HT، و POF می‌شود. با این حال تأثیر بر CC و FD کمتر از بنزین بود [۱۴].

در مطالعه اسپادا و همکاران (۲۰۲۱)، امکان سنجی زیست محیطی فرآیند کاردون به بیواتانول با استفاده از ارزیابی چرخه زندگی مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این منظور، سه فرآیند شامل پیش تیمارهای مختلف زیست توده (اسید رقیق (DA)، انفجار بخار منفرد (SE) و انفجار بخار+استخراج قلیایی (SE + AE)) با استفاده از SuperPro Designer 9.5 شبیه سازی شد. نتایج شبیه سازی و داده های ادبیات برای انجام LCA با استفاده از نرم افزار Gabi 6.0 استفاده شد. نتایج LCA نشان داد که مرحله پیش تصفیه به دلیل نیاز به انرژی زیاد، عامل اصلی تأثیر کلی در مورد اسید رقیق است. استفاده از پیش تیمارهای مبتنی بر انفجار بخار به شدت اثرات زیست محیطی را در مورد فرآیند DA کاهش می‌دهد، زیرا کودها، مواد شیمیایی و تولید آنزیم از عوامل اصلی مهم هستند. با ترکیب انفجار تک بخار و متعاقب آن استخراج قلیایی، عملکرد محیطی در مقایسه با انفجار بخار منفرد به دلیل کاهش مصرف انرژی بهبود می‌یابد. با این حال، اثرات سمیت بالاتر عمدتاً به دلیل مقدار بیشتری از آنزیم و مواد شیمیایی مورد نیاز به دست آمد. انتشار گازهای گلخانه‌ای و تعادل انرژی بیواتانول از کاردون در مقادیر گزارش شده برای مواد خام لیگنوسلولزی مشابه است. در نهایت، مطالعه

بالاتری نسبت به بنزین بر اسیدی شدن ۲۰٪ و بر روی آبرسانی آب شیرین تا ۴۳٪ دارد. مزایای بیشتر اتانول زیستی مبتنی بر ملاس از نظر افزایش انرژی بالا مشهود بود که در آن هر MJ از کل انرژی ورودی حدود ۲ مگا ژول انرژی خروجی از بیواتانول فراهم می‌کرد و هر MJ انرژی ورودی مبتنی بر فسیل منجر به تولید حدود ۶ مگا ژول انرژی می‌شد. انرژی خروجی از بیواتانول علاوه بر این، با در نظر گرفتن شیوه های مختلف موجود و ترتیبات کارخانه، بهبودهای قابل توجهی در عملکرد نشان داده شد [۱۰].

مطالعه‌ی حسین و همکاران (۲۰۲۱) در کشور مالزی، تولید بیواتانول از زیست توده جنگلی (نظیر بقایای درخت روغن پالم و خاکاره چوب لاستیک) را به صورت تجربی بررسی کرده و علاوه بر تولید آزمایشگاهی، تحلیل هزینه چرخه عمر و شبیه‌سازی جایگزینی بنزین با E5 و E10 در بخش حمل‌ونقل این کشور را نیز انجام داده است. این مطالعه نشان می‌دهد که بیواتانول تولیدشده از پسماند جنگلی می‌تواند به عنوان سوخت جایگزین، دارای جنبه‌های اقتصادی و تجاری مهمی باشد [۱۱].

مطالعه هانده و همکاران (۲۰۲۱) نیز به طور تجربی استفاده از بیواتانول تولیدشده از پسماند انار را بررسی کرده است. آن‌ها چهار مخلوط (PE10، PE15، PE20 و PE25) را روی موتور بررسی کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که مخلوط PE15 عملکرد حرارتی مناسبی دارد و همچنین منجر به کاهش آلایندگی‌هایی مانند HC و CO شده است. این مطالعه تأکید دارد که مخلوط PE15 می‌تواند به عنوان گزینه‌ای قابل قبول برای جایگزینی بنزین مطرح شود [۱۲].

مطالعه آگوستینی و همکاران (۲۰۲۱) با هدف ارزیابی عملکرد زیست محیطی سوخت‌های زیستی پیشرفته تولید شده از محصولات انرژی‌زای چندساله (میسکانتوس و بید) رشد یافته در نوارهای بافر انرژی زیستی و مقایسه آن‌ها با عملکرد زیست محیطی سیستم‌های جایگزین ارائه شده همان عملکرد توسعه یافته است. شواهد فزاینده از اثرات بالقوه منفی زیست محیطی مسیرهای انرژی زیستی، نیازمند تلاش‌های مجدد در شناسایی مسیرهای انرژی زیستی برد-برد است، بنابراین قادر به کاهش تغییرات آب و هوایی بدون بدتر شدن سایر اثرات زیست محیطی است. بنابراین، یک رویکرد کل نگر که تمام زمینه‌های مربوط به نگرانی‌های

مختلف بیواتانول و بنزین بر عملکرد و انتشار موتور و مقایسه این نتایج با استفاده از بنزین بدون هیچ گونه افزودنی است. این ارزیابی به تعیین ترکیب بهینه بیواتانول و بنزین برای دستیابی به عملکرد خوب موتور و در عین حال به حداقل رساندن انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک می‌کند. با انجام مطالعه حاضر می‌توان برخی شکاف‌های مطالعاتی را پوشش داد. مهمترین شکاف‌های تخصصی که می‌تواند با انجام مطالعه حاضر پوشش داده شوند و به عنوان نوآوری اصلی این مطالعه مطرح شوند عبارتند از:

- بیواتانول را می‌توان یک افزودنی سوخت پایدار در مقایسه با افزودنی‌های سنتی بنزین در نظر گرفت. استفاده از اتانول زیستی به عنوان یک افزودنی سوخت به طور بالقوه می‌تواند انتشار گازهای گلخانه‌ای، آلودگی هوا و وابستگی به سوخت‌های فسیلی را کاهش دهد.
 - بررسی ترکیب‌های مختلف بیواتانول و بنزین می‌تواند منجر به بهینه‌سازی عملکرد موتور و انتشار گازهای گلخانه‌ای شود. این می‌تواند به کاهش انتشار آلاینده‌های مضر مانند NO_x و ذرات معلق کمک کند و در عین حال عملکرد موتور را حفظ یا حتی بهبود بخشد.
 - بررسی تاثیر مواد اولیه مختلف بیواتانول و فرآیندهای تولید می‌تواند منجر به شناسایی مواد اولیه و فرآیندهای تولید پایدارتر و سازگار با محیط زیست شود. این می‌تواند به کاهش اثرات زیست محیطی تولید بیواتانول و زنجیره تامین کمک کند.
- استفاده از ارزیابی چرخه عمر برای ارزیابی اثرات زیست محیطی بیواتانول به عنوان یک افزودنی سوخت می‌تواند به بینش جدیدی در مورد اثرات زیست محیطی افزودنی‌های مختلف سوخت و توسعه روش‌های دقیق تر و جامع تر برای ارزیابی اثرات زیست محیطی منجر شود.

۲- مواد و روش‌ها

این بخش به ارائه روش تحقیق در سه مرحله شامل تولید بیواتانول و آماده سازی نمونه های سوخت، انجام تست موتور و انجام ارزیابی چرخه حیات می‌پردازیم. بیواتانول با استفاده از روش تخمیر، از محصولات کشاورزی مانند قند یا نشاسته ذرت، نیشکر و گندم تولید میشود. همچنین آماده

تطبیقی بیواتانول از بنزین کاردون و فسیلی نشان می‌دهد که فرآیندهای مبتنی بر انفجار بخار از نظر زیست‌محیطی در بیشتر دسته های تاثیر برتر هستند و کاهش چشمگیری در تقاضای انرژی اولیه (۸۰٪) و انتشار گازهای گلخانه‌ای (۴۵٪) به دست می‌آورد [۱۵].

خونگ و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای به بررسی تاثیر بیواتانول و مخلوط‌های آن با بنزین بر خواص روانکارهای موتورهای بنزینی پرداختند. آن‌ها عنوان کردند که با توجه به کاهش منابع سوخت‌های فسیلی و افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای، بیواتانول به عنوان سوخت زیستی جایگزین مورد توجه قرار گرفته است و استفاده از آن می‌تواند باعث کاهش آلاینده‌های خروجی مانند دوده و اکسیدهای کربن شود [۱۶].

مطالعه‌ی منازتی و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی مشخصات آلاینده‌ی مخلوط‌های بیواتانول-بنزین پرداخته و نشان داده است که ترکیباتی مانند بنزآلدئید، استالدهید، فرمالدهید و VOCها در فرآیند احتراق آزاد می‌شوند و افزودنی‌هایی مانند ETBE و MTBE نیز می‌توانند بر پروفایل آلاینده‌ی تاثیر بگذارند. این پژوهش تاکید می‌کند که پیاده‌سازی فناوری‌های جدید کاتالیستی می‌تواند به کاهش اثرات سمی این ترکیبات کمک کند [۱۷].

هدف اصلی از این پژوهش شامل انجام یک LCA جامع از کل چرخه حیات بیواتانول به عنوان یک افزودنی سوخت بنزین است. این هدف شامل جمع آوری داده‌ها در مورد اثرات زیست محیطی تولید خوراک، حمل و نقل، پردازش و استفاده و تجزیه و تحلیل تاثیر بر طیف وسیعی از شاخص‌های زیست محیطی، مانند انتشار گازهای گلخانه‌ای، آلودگی هوا، استفاده از آب و تغییر کاربری زمین است. هدف این است که درک دقیقی از اثرات زیست محیطی استفاده از بیواتانول به عنوان یک افزودنی سوخت بنزین ارائه شود. هدف بعدی شامل مقایسه اثرات زیست محیطی استفاده از بیواتانول به عنوان یک افزودنی سوخت بنزین با اثرات زیست محیطی استفاده از بنزین بدون هیچ گونه افزودنی است. این مقایسه بینش‌هایی را در مورد عملکرد نسبی زیست محیطی استفاده از بیواتانول به عنوان یک افزودنی سوخت ارائه می‌دهد و به شناسایی مناطقی که می‌توان در آنها بهبود داد کمک می‌کند. هدف سوم شامل ارزیابی تاثیر استفاده از مخلوط‌های

حذف می‌شود. در میان چهار ضایعات عمده کشاورزی ذکر شده، کاه برنج می‌تواند بیش از ۲۰۰ میلیارد لیتر سوخت زیستی در سال تولید کند که فراوان ترین خوراک زیست توده پسماند در جهان است [۲۳].

به عنوان جایگزینی برای بقایای سلولزی کشاورزی، یک کاندید مناسب برای مواد خامی که پتانسیل تولید بیواتانول را دارد، پسماندهای جامد شهری است که می‌تواند دفع پسماندهای خانگی را حل کند و بنابراین مشکلات زیست محیطی را که ممکن است به دلیل چنین مشکلاتی رخ دهد محدود کند [۲۴]. انواع محصولات پرمحصول به عنوان جایگزینی برای بقایای چوبی و کشاورزی مورد توجه زیادی قرار گرفته اند، زیرا تقریباً ۷۰٪ از کل مواد اولیه موجود برای تولید بیواتانول را ارائه می‌دهند.

هیدرولیز آنزیمی یک فرآیند مهم در تبدیل سلولز در زیست توده پیش تیمار شده ارائه می‌کند. مسیر آن در شکل ۶ ارائه شده است. تبدیل سلولز به گلوکز توسط آنزیم‌های سلولاز تحت شرایط ملایم مانند دمای ۴۰ تا ۵۰ درجه سانتیگراد و pH در حدود ۴.۵ و ۵ انجام می‌شود. فرآیند زیست توده لیگنوسلولزی چنین فرآیند پیش تصفیه شامل حذف لیگنین، فرآیند حلالیت همی‌سلولز، مدت زمان هیدرولیز و بارگذاری آنزیم است. ساختار کریستالی سلولز بر سرعت هیدرولیز تأثیر می‌گذارد، زیرا همی‌سلولز و لیگنین فعلی آن با سلولز پیوند برقرار می‌کنند و بنابراین فرآیند هیدرولیز را محدود می‌کنند. سورفکتانت‌های غیر یونی یا پلیمرهای حاوی پلی (اتیلن گلیکول) مانند PEG برای افزایش کارایی هیدرولیز شناخته شده اند، زیرا می‌توانند خواص سطحی سلولز را تغییر دهند و در نتیجه بار آنزیم را کاهش دهند [۲۵]. طبق مطالعه Børjesson، PEG جذب شده روی لیگنوسلولز به دلیل PEG آبگریز و قسمت هیدروژنی لیگنین در لیگنوسلولز است، جایی که PEG مانند سایر پلی (اتیلن اکسیدها)، به لیگنین جذب می‌شود.

چنین پلیمرهای جذب شده PEG روی سطح لیگنوسلولز که منجر به برهمکنش‌های حجمی حذف شده می‌شوند، می‌توانند آنزیم‌های اتصال به سطح لیگنین را مسدود کنند. بنابراین، غلظت بالایی از آنزیم برای تجزیه سلولز در دسترس است [۲۶]. علاوه بر این، افزودن PEG برای تسهیل هیدرولیز آنزیمی مواد لیگنوسلولزی در مطالعه ای توسط لی (۲۰۱۹) نیز ثابت شد، که در آن PEG به طور

سازی نمونه سوخت‌ها در این پژوهش، از بنزین به عنوان سوخت پایه و شاهد و از اتانول به عنوان افزودنی سوخت بنزین (در چهار سطح ۰، ۲، ۵ و ۷ درصد) استفاده می‌شود. و تست موتور تک سیلندر ۴ زمانه که به یک ژنراتور ۵ کیلووات ساعت کوپل شده انجام می‌گیرد. در انتهای این بخش روشی برای انجام بهینه سازی پیشنهاد می‌شود.

۲-۱- تولید بیواتانول

منابع لیگنوسلولزی بزرگترین منابع تجدیدپذیر جهان برای تولید بیواتانول هستند و می‌توان آنها را به سه نوع اصلی تقسیم کرد: (۱) جلبک‌های دریایی، (۲) پسماندهای کشاورزی و پسماندهای جامد شهری، (۳) و مواد اولیه چوبی جنگل. گروه‌های مختلفی از مواد خام بسته به ساختار و ترکیب آنها برای تولید بیواتانول در دسترس هستند. بسیاری از گزارش‌های تحقیقاتی، ضایعات لیگنوسلولزی مختلف مانند ذرت، کاه برنج، باگاس، علف و غیره را برای تولید بیواتانول، توصیف می‌کنند [۱۸-۲۰].

جلبک‌های دریایی جایگزین جدید و امیدوارکننده ای برای تولید بیواتانول هستند، زیرا می‌توانند سریع رشد کنند، اما همچنان با چالش‌هایی مانند هزینه‌های بالای پیش تصفیه مواجه هستند. محصول اولیه برای تولید اتانول زیستی، چمن سوئیچ است که در نیمکره شمالی رشد می‌کند و به دلیل هزینه کم، و همچنین فراوانی و محتوای بالای قند آن، بسیار مورد توجه است.

چهار ضایعات عمده کشاورزی وجود دارد که مطلوب ترین مواد اولیه زیست توده برای تولید بیواتانول هستند. اینها کاه برنج، کاه گندم، کاه ذرت و کیسه نیشکر هستند که به عنوان علوفه حیوانات و سوخت خانگی نیز استفاده می‌شوند [۲۱]. بیشتر مواد اولیه بالقوه برای تولید بیواتانول، کاه گندم و برنج و ساقه ذرت است، زیرا حاوی تقریباً ۳۵ درصد مواد همی‌سلولزی هستند [۱۹]. از آنجایی که بقایای کشاورزی گامی‌سازگار با محیط زیست در این فرآیند است، آنها همچنین به جلوگیری از جنگل زدایی کمک می‌کنند.

محصولات مختلف از طریق چرخش کوتاه مدت برداشت می‌شوند و بنابراین برای تولید بیواتانول در دسترس هستند [۲۲]. دفع کاه برنج به دلیل تجزیه آهسته، مواد حجیم و محتوای مواد معدنی بالا محدود می‌شود. فقط بخش کوچکی از کاه برنج به عنوان خوراک دام استفاده می‌شود، در حالی که بقیه کاه برنج (بیش از ۹۰٪) با سوزاندن مزرعه

آنزیمی است. ضایعات کشاورزی انتخاب شده، مانند ذرت یا باگاس نیشکر، جمع آوری شده و به قطعات کوچکتر خرد می‌شود. این فرآیند توسط یک فرآیند پیش تصفیه دنبال می‌شود که ممکن است شامل تکنیک‌هایی مانند انفجار بخار یا هیدرولیز اسیدی باشد که هدف آن تجزیه کربوهیدرات‌های پیچیده موجود در زیست توده است. سپس آنزیم‌هایی مانند سلولاز و همی‌سلولاز برای تسهیل تبدیل سلولز و همی‌سلولز به قندهای قابل تخمیر اضافه می‌شوند. در طول این مرحله، محققان با آزمایش منظم محتوای قند، پیشرفت هیدرولیز را زیر نظر دارند. تجزیه موفقیت آمیز این کربوهیدرات‌های پیچیده، زمینه را برای فرآیند تخمیر بعدی فراهم می‌کند.

سپس ضایعات کشاورزی هیدرولیز شده آنزیمی در معرض فرآیند تخمیر قرار می‌گیرند. تلقیح ظرف تخمیر با یک سوبه مخمر مناسب، اغلب ساکارومایسس سروزیه، شروع کننده تبدیل قندها به اتانول است. شرایط تخمیر، از جمله دما، pH و هوادهی، برای بهینه سازی فعالیت مخمر به دقت کنترل می‌شود. نظارت بر پارامترهایی مانند غلظت اتانول، pH و دما در طول تخمیر ضروری است. هنگامی که تخمیر کامل شد، سوبسترا تخمیر شده برداشت می‌شود و قسمت مایع حاوی اتانول از بقایای جامد جدا می‌شود. این مرحله برای به دست آوردن محصول اتانول خام قبل از تصفیه بیشتر حیاتی است.

مایع برداشت شده، حاوی اتانول، برای جداسازی اتانول از آب و سایر ناخالصی‌ها، تحت تقطیر قرار می‌گیرد. تقطیر معمولاً با استفاده از دستگاه‌های تقطیر با آب خنک برای به دست آوردن یک محصول اتانول غلیظ تر انجام می‌شود. سپس اتانول مقطر برای تعیین خلوص و غلظت آن مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. محققان بازده اتانول را بر اساس میزان قند اولیه ضایعات کشاورزی محاسبه می‌کنند. علاوه بر این، این مرحله فرصتی برای استفاده از محصول جانبی، کاوش در کاربردهای بالقوه برای زیست توده باقیمانده یا سایر مواد فراهم می‌کند. روش آزمایشی با ارزیابی فرآیند کلی به پایان می‌رسد و با ارزیابی پارامترهای مختلف برای افزایش بازده اتانول و کارایی فرآیند، امکان بهینه سازی را فراهم می‌کند. پیروی از پروتکل‌های ایمنی و ملاحظات اخلاقی در طول کار آزمایشی برای اطمینان از تولید اتانول زیستی قابل اعتماد و پایدار از پسماندهای کشاورزی ضروری است.

مثبت بر فعالیت آنزیم هیدرولیتیک مواد سلولز خالص بدون لیگنین تأثیر می‌گذارد [۲۷]. بازده قند در فرآیند هیدرولیز آنزیمی با افزودن PEG در مطالعه ای که توسط چنگ (۲۰۲۰) نیز انجام شد، افزایش یافت [۲۸]. PEG همچنین بالاترین بازده هیدرولیز آنزیمی را در مطالعه زامباره و همکاران (۲۰۱۹) تسهیل کرد [۲۹]. یکی دیگر از جنبه های بهبود تولید بیواتانول از طریق هیدرولیز آنزیمی، بهبود عملکرد هیدرولیز با غلظت‌های بالاتر سوبسترا است که بر سرعت هیدرولیز به منظور به حداکثر رساندن بازده گلوکز در هیدرولیز تأثیر می‌گذارد [۳۰-۳۲]. گزارش‌هایی از پروتکل آنزیمی ابتکاری با استفاده از زیلاناز از *Thermomyces lanuginosus*، که هیدرولیز همی‌سلولز را امکان پذیر می‌کند، جایی که بسترهای مختلف با غلظت‌های مختلف استفاده می‌شود، مانند زایلان‌ها از املائی جو دوسر و چوب توس، زیست توده کاه گندم و باگاس نیشکر [۳۱]. وانگ و همکاران (۲۰۱۸) یک پروتکل پیش تیمار دو مرحله ای را مورد بررسی قرار داد که در آن از NaOH و ازن بر روی ذرت به منظور بهبود هیدرولیز آنزیمی استفاده شد [۳۲]. علاوه بر این، با بهینه سازی پارامترهای فرآیند، مانند بارگیری جامد، بارگذاری آنزیمی، و همچنین سرعت تکان دادن و زمان هیدرولیز، می‌توان به تبدیل مؤثر کربوهیدرات‌ها به بیواتانول دست یافت.

فرآیند تخمیر را می‌توان از طریق تخمیر پیوسته، دسته ای و تغذیه دسته ای انجام داد، در حالی که تغذیه دسته ای در مخزن همزده به دلیل توانایی آن در فراهم کردن شرایط بهینه، انتخاب اولیه در تخمیرهای صنعتی است. تخمیر گلوکز با استفاده از سویه های میزبان صنعتی قوی می‌تواند بازده اتانول را به دلیل بهره وری بالای اتانول ویژه آن افزایش دهد. چنین سویه هایی عبارتند از *Zymomonas*، *Saccharomyces cerevisiae* و *mobilis*. اگرچه چنین تخمیرکننده هایی نمی‌توانند از پنتوز استفاده کنند. به طور سنتی، مخمرهای تخمیری پنتوز عبارتند از *Candida shehatae*، *Scheffersomyces stipitisa* و *Pachysolen tannophilus* [۳۳ و ۳۴]. با این حال، برخی از اشکالات هنگام استفاده از این میکروارگانیسم‌ها با تخمیر زایلوز وجود دارد که در مطالعه ارائه شده توسط Wirawan و همکاران توضیح داده شده است [۳۵].

در این مطالعه اولین مرحله از روش آزمایشی شامل پیش تصفیه ضایعات کشاورزی و متعاقب آن هیدرولیز

می‌باشد. از جمله این پارامترها، می‌توان به چگالی، ویسکوزیته، ارزش حرارتی، نقطه اشتعال و نقطه ابری شدن اشاره کرد که مطابق با استانداردهای ASTM مورد اندازه گیری قرار گرفتند.

جدول ۲ جدول مربوط به خواص نمونه های سوخت را ارائه می‌دهد. مطابق با جدول، ارزش حرارتی نمونه های سوخت با افزودن بیواتانول کاهش می‌یابد. زیرا ارزش حرارتی اتانول از ارزش حرارتی بنزین کمتر می‌باشد. از طرفی دیگر، با افزودن بیواتانول به نمونه سوخت حاوی بنزین، ویسکوزیته نمونه سوخت‌ها افزایش می‌یابد. زیرا ویسکوزیته اتانول بیشتر از بنزین است. همچنین با اضافه کردن بیواتانول به نمونه سوخت‌ها، مقادیر دانسیته نیز افزایش نسبی می‌یابد. اضافه کردن بیواتانول به بنزین، باعث افزایش دمای نقطه ابری شدن و کاهش دمای نقطه اشتعال می‌شود. زیرا، دمای نقطه ابری شدن برای بیواتانول بالاتر از دمای نقطه ابری شدن بنزین و دمای نقطه اشتعال بیواتانول کمتر از دمای اشتعال بنزین می‌باشد.

۲-۲- آماده سازی نمونه های سوخت

در این پژوهش، از بنزین به عنوان سوخت پایه و شاهد و از اتانول به عنوان افزودنی سوخت بنزین (در چهار سطح ۰، ۲، ۵ و ۷ درصد) استفاده شد (جدول ۱). هموژنایزر (Polytron® سوئیس) برای تثبیت نمونه سوخت در دمای اتاق به مدت ۱۵ دقیقه استفاده شد. برای هموژن کردن نمونه های سوخت از سورفکتانت با ترکیب ۱ به ۲ توئین به اسپن ۸۰ استفاده شد. در جدول ۱ جزئیات آماده سازی نمونه سوخت برای مقدار نیم لیتر نمونه سوخت ارائه شده است.

جدول ۱- جزئیات آماده سازی نمونه سوخت برای مقدار

ردیف	بنزین	بیواتانول	حجم سوخت
1	1000	0	1000
2	980	20	1000
3	950	50	1000
4	930	70	1000

خواص فیزیکی-شیمیایی نمونه سوخت‌ها، از جمله تاثیرگذارترین پارامترها در عملکرد و انتشار آلاینده‌گی موتور

جدول ۲- خواص نمونه سوخت‌ها

ردیف	دانسیته (g/cm ³)	ارزش حرارتی (Mj/kg)	نقطه اشتعال (°C)	ویسکوزیته (cSt)	نقطه ابری شدن (°C)
1	0.72	32.321	87.0	0.743	0
2	0.73	32.082	86.3	0.743	1.06
3	0.75	31.755	86.2	0.745	2.65
4	0.76	31.537	86.2	0.746	3.71

در این پژوهش برای اندازه گیری گشتاور و محاسبه توان ترمزی از دینامومتر استفاده شد. وظیفه اصلی هر دینامومتر اعمال بار کنترل شده بر تجهیز مورد تست از جمله موتور است. همچنین دینامومتر با اندازه گیری گشتاور می‌تواند اطلاعات لازم برای محاسبه توان ترمزی را به کاربر ارائه دهد. گشتاور و توان تولیدی موتور از مشخصه‌های مهم در بررسی یک موتور است. برای بارگذاری موتور، بار در قالب جریان الکتریکی توسط مقاومت متغیر با اتصال یک مصرف کننده جریان متناوب انجام گرفت. در این سیستم، دینامومتر به وسیله کوپلینگ به موتور متصل می‌شود و موتور دینامومتر را به چرخش در می‌آورد.

۲-۳- انجام آزمون موتور

برای انجام این پژوهش از موتور تک سیلندر بنزینی استفاده شد که مشخصات آن به شرح زیر است (جدول ۳):

جدول ۳- مشخصات موتور بنزینی

نوع و شرکت سازنده	موتور لانسین تک سیلندر چهارزمانه
توان موتور	۶ اسب بخار
سوخت مصرفی	بنزین
حجم موتور	۴۹۸ سی سی
سیستم خنک کاری	هوا خنک
سیستم استارت	هندلی
ظرفیت باک	۳ لیتر
وزن	۲۰ کیلوگرم

و ولتاژ برق اندازه گیری شد (حاصل ضرب آمپر و ولتاژ برق مستقیم (DC) نشان دهنده میزان توان مصرفی می باشد). در هنگام آزمون موتور، ابتدا موتور توسط سوخت شاهد راه اندازی 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 می شد که شرایط کاری موتور به حالت پایدار برسد. پس از پایداری، داده های مربوط به توان برق تولید شده و انتشار گازهای آلاینده CO، CO₂ و UHC اندازه گیری و یادداشت می شد. لازم به ذکر است آزمون موتور در بار کامل (بار ۱۰۰ درصد) و دور ثابت ۱۵۰۰ دور در دقیقه به عنوان دور نامی موتور انجام گرفت.

BP به توان تولید شده توسط محور محرک موتور بدون در نظر گرفتن هرگونه تلفات قدرت ناشی از دنده، اصطکاک انتقال و سایر عوامل اشاره دارد (معادله ۱).

$$BP = \frac{2\pi Tn}{60000} \quad (1)$$

که در آن، T به گشتاور (N.m) و n به سرعت چرخش موتور (rpm) اشاره دارد.

BSFC یک استاندارد محاسباتی برای موتورهایی است که سوخت را برای تولید شفت یا قدرت چرخشی می سوزاند. به طور معمول، این معیار عملی بودن موتورهای آی سی را با خروجی شفت مقایسه می کند. این یک نشانگر مصرف سوخت است که از طریق توان تولید شده توزیع می شود. همچنین می تواند به عنوان مصرف سوخت متناسب با قدرت در نظر گرفته شود. BSFC امکان مقایسه مستقیم بین بازده سوخت موتورهای مختلف را فراهم می کند. برای تعیین BSFC، معادله ۲ استفاده می شود.

$$BSFC = \frac{\dot{m}}{T \times \omega} \quad (2)$$

جایی که m به مصرف سوخت (g/s)، T به گشتاور (N.m) و ω به سرعت موتور (rad/s) اشاره دارد.

۲-۴-انجام ارزیابی چرخه حیات

در ابتدا سرویس کامل موتور تک سیلندر بنزینی صورت گرفت و این سرویس شامل تعویض روغن، تعویض تسمه، تعویض واشر نسوز اگزوز و پیچهای حاوی آن، تعویض و جایگزین کردن شلنگهای رفت از منبع سوخت تا ورودی به موتور، تعویض و جایگزین کردن شلنگهای متصل به مانومتر، تنظیم دور موتور و تنظیمات مربوط به برد دیجیتال انجام شد سپس موتور به مدت نیم ساعت جهت گرم شدن و آماده سازی برای انجام تست، تحت بار ۱۰۰ درصد صورت گرفت.

آنالیزور گاز بکار رفته شده در این پژوهش بنام سیترون، ساخت کشور آلمان می باشد. این وسیله با مدل S6000 6DSC Six Gas Industrial Combustion Gas & Emissions Analyzer یک آنالیزر گاز تجاری و صنعتی است که ابزاری برای نظارت بر انتشار گازهای گلخانه ای و نگهداری و تنظیم فرآیندهای احتراق از جمله بویلرها، مشعلها، موتورهای گازی و دیزلی، توربینها، کوره ها، بخاریها و تجزیه و تحلیل آزمایشگاهی طراحی شده است.

نمونه سوختهای آماده شده داخل بطریهای یک لیتری ریخته شدند سپس به طور تجربی در یک موتور احتراق جرقه ای تک سیلندر چهار زمانه، مورد تست قرار گرفتند. در این تحقیق به منظور استفاده از نمونه سوختها موتور تک سیلندر با یک ژنراتور ۵ کیلووات ساعت کوپل شد، و همچنین اندازه گیری میزان سوخت مصرفی با تعبیه ی 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 شیشه ای مدرج به روش جابجایی قابلیت اندازه گیری داشت و همچنین توسط مخزن اولیه و شیر تعبیه شده، هر لحظه می توانستیم به سوخت شاهد دسترسی پیدا کنیم. برای تحت بار قرار دادن موتور از یک مقاومت متغییر نوع TDGC2-5kVA و یک هیتر ۱ کیلووات استفاده شد. با اندازه گیری توان موتور مقدار آمپر

شفته تولید شده توسط احتراق تعیین می‌شود. علاوه بر این، برای درک اثرات زیست محیطی هر مرحله، زیرسیستم‌های متعددی مستقل از مراحل قبل بررسی می‌شوند. در واقع، این نوع محاسبات در LCA می‌تواند بینش بیشتری در مورد ماهیت عملیاتی هر مرحله از منظر اثرات محیطی ارائه دهد.

LCI 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 به صورت همزمان انجام می‌شود [۳۶]. در مرحله اول، تمام عملیات درگیر در چرخه عمر محصول، از برداشت انرژی و مواد خام از محیط زیست، 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 LCA، 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 [۳۹]. در نهایت، تمام ورودی‌ها و خروجی‌های فرآیندها توسط FU تنظیم می‌شوند [۳۸]. ارزیابی LCA به طور کلی از دو جزء کلیدی، انتشار مستقیم و غیر مستقیم تشکیل شده است.

انتشار مستقیم از منابعی می‌آید که کسب و کار گزارش دهنده مالک یا کنترل آنها است. این مطالعه انتشار مستقیم را با مرحله احتراق، که به عنوان انتشار اگزوز شناخته می‌شود، مرتبط می‌کند. تحقیقات قبلی CO_2 ، O_2 ، NO_x و CO را به عنوان انتشارات اصلی اگزوز موتور احتراق تراکمی شناسایی کردند [۳۸].

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

¹LCA 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 زیست محیطی آن فعالیت‌ها استفاده می‌شود. در ابتدا، LCA از روشی استفاده می‌کند که چگونه آیتم‌های مختلف بر محیط تأثیر می‌گذارند. LCA یک رویکرد استاندارد برای ارائه یک پایه علمی محکم برای پایداری محیطی برای کسب و کارها و دولت‌ها است [۳۶]. LCA اثرات اکولوژیکی مواد کامپوزیتی را در مورد ماهیت قابل بازیافت آنها تجزیه و تحلیل می‌کند [۳۷]. تجزیه و تحلیل از گهواره تا گور (LCA) اثرات زیست محیطی یک محصول یا خدمات را از زمان تصور تا زمان دور انداختن آن، از جمله تمام مراحل ساخت، حمل و نقل، مصرف کاربر نهایی و دفع زباله بررسی می‌کند [۳۶]. LCA دارای چهار مرحله است: تعریف اهداف و دامنه، انجام تجزیه و تحلیل موجودی، انجام ارزیابی تأثیر و تفسیر نتایج.

روش LCA 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 LCA بسته به اهداف مطالعه می‌تواند به طور قابل توجهی متفاوت باشد. برای مطالعه حاضر، مرزهای سیستم شامل تولید بیودیزل، آماده سازی سوخت و مرحله احتراق نمونه‌های سوخت می‌شود [۳۸]. هدف اصلی این مطالعه LCA انجام یک ارزیابی جامع از اثرات زیست محیطی تولید بیواتانول، آماده سازی سوخت، و تولید و استفاده از انرژی از طریق ترکیبات بنزین و بیواتانول برای افزایش راندمان موتور و به حداقل رساندن آلاینده‌ها است.

در LCA، واحد عملکردی (FU) به تیمی از مراجع برای داده‌های موجودی اشاره دارد [۳۸]. FU معمولاً در خروجی سیستم توضیح داده می‌شود [۳۶]. در این مطالعه، FU^۲ نهایی برای هر مخلوط سوخت ۱ گیگاژول از توان

² Functional unit (FU)

¹ Life cycle assessment (LCA)

CO ₂	اندازه گیری شده در هر مرحله	kg
CO	اندازه گیری شده در هر مرحله	kg

هدف LCIA ارائه اطلاعات بیشتر در مورد اثرات LCI یک سیستم محصول است تا اهمیت آنها برای محیط زیست بهتر درک شود. هدف LCIA این است که به مردم کمک کند تا بر اساس نتایج ارزیابی LCI درک کنند که تأثیرات محیطی ممکن برای سیستم‌های تولیدی چقدر حیاتی است. LCIA باید به اثرات بالقوه روی "مناطق حفاظت شده" از جمله چشم انداز اکولوژیکی، HH، محیط انسانی و r نگاه کند. در ده سال گذشته، روش‌های بسیاری برای ارزیابی اثرات بر محیط زیست بهبود یافته است. برای اندازه گیری بارهای محیطی در این تحقیق از IMPACT ۲۰۰۲+ استفاده شده است. این نشان می‌دهد که چگونه می‌توان یک استراتژی نقطه میانی /آسیب نوشته شده را پیاده سازی کرد. این رویکرد چندین پیامد LCI (مانند جریان‌های اولیه و سایر مداخلات) را با استفاده از پانزده دسته ی متوسط مرتبط می‌کند: سلامت انسان (HH¹)، کیفیت اکوسیستم (EQ²)، تغییرات آب و هوا (CCh³)، و منابع (R⁴). در نظر گرفته می‌شود که رویکرد میانی دارای نرخ کمتری از پشتیبانی علمی و درجه پایین تری از عدم اطمینان 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 تصمیم گیری را آسان تر می‌کند.

اجزای مختلف سیستم تولید انرژی است. جدول ۴ سیاهه تهیه شده برای این مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۴- سیاهه ارزیابی چرخه حیات

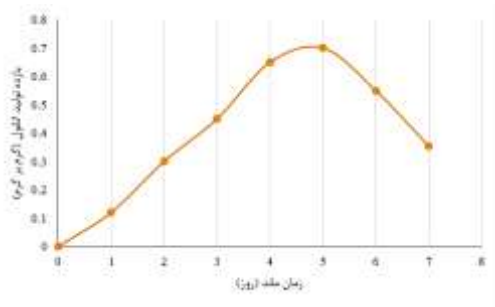
واحد	مقدار	آیتم
تولید بیواتانول (FU= 1 kg of Bioethanol)		
kg	0.0015	استیل
kg	3	آب
kg	1	کاه گندم
kWh	0.23	الکتریسیته
آماده سازی نمونه های سوخت های (FU= 1 kg of fuel sample)		
kg	بر اساس نیاز مرحله تولید	اتانول
kg	Based on fuel sample requirement	Span
kg	Based on fuel sample requirement	Tween
kg	Based on fuel sample requirement	آب
kg	Based on fuel sample requirement	بیودیزل
kg	Based on fuel sample requirement	دیزل
kg	0.00087	استیل
kg	0.0015	Polyethylene
kg	0.0048	Acrylonitrile Butadiene Styrene
kWh	0.45	الکتریسیته
احتراق نمونه سوخت ها (FU= 1 MJ shaft power produced)		
انتشار غیر مستقیم		
kg	مطابق با روغن پسماند	کاه گندم
kg	مطابق با سوخت پایه	بیواتانول
kg	مطابق با سوخت پایه	بنزین
kg	0.000012	بدنه موتور
انتشار مستقیم		
kg	اندازه گیری شده در هر مرحله	NOx
kg	اندازه گیری شده در هر مرحله	UHC

³ Climate change

⁴ Resources

¹ Human health

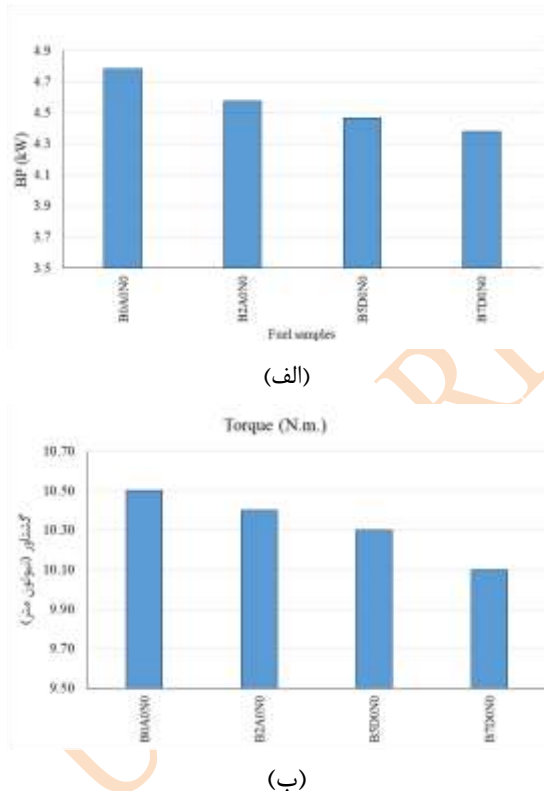
² Ecosystem quality



شکل ۱- پتانسیل تولید بیواتانول

۳-۲- نتایج آزمون عملکردی موتور

شکل ۲، ۳ و ۴ به ترتیب تغییرات توان ترمزی و گشتاور، مصرف سوخت ویژه ترمزی و بازدهی حرارتی ویژه را در مقایسه با سوخت شاهد (سوخت بنزین) برای همه نمونه های سوخت نشان می‌دهد.



شکل ۲- نتایج تغییرات توان ترمزی (الف) و گشتاور (ب)

مطابق با شکل ۲ می‌توان دریافت، افزایش درصد بیواتانول در سوخت بنزین، میزان تولید توان و گشتاور را کاهش می‌دهد. یکی از دلایل این امر می‌تواند ارزش حرارتی پایین بیواتانول در مقایسه با سوخت بنزین باشد. این دلیل در

آخرین مرحله از فرآیند LCA، تفسیر چرخه حیات است. این روند جایی است که اثرات LCI، LCIA¹ یا هر دو خلاصه می‌شود تا بتوان نتیجه گیری، پیشنهادات و تصمیماتی را اتخاذ کرد که با اهداف هماهنگ باشد.

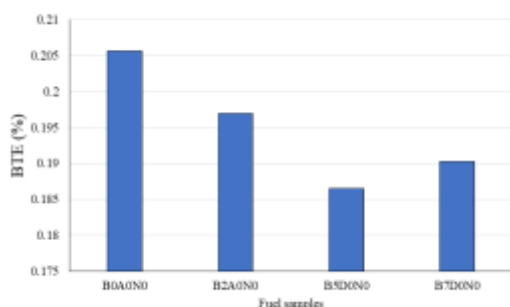
تجزیه و تحلیل حساسیت همه چیز در مورد تجزیه و تحلیل منابع عدم قطعیت در ورودی‌های یک مدل یا سیستم ریاضی و اثرات آنها بر خروجی مدل یا سیستم است [۳۸]. با ایجاد تغییرات ۱۰ درصدی در اطلاعات و ضریب خروجی، می‌توانیم تجزیه و تحلیل حساسیت چهار دسته آسیب را انجام دهیم. چهار پیامد آسیب به عنوان متغیرهای وابسته در 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 نرم افزار SimaPro V8.2.3 برای انجام تحقیقات بر روی دسته بندی LCA استفاده می‌شود.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج تولید بیواتانول

شکل ۱ پتانسیل تولید بیواتانول را ارائه می‌دهد. بیواتانول به روش تخمیری تولید شد. همانطور که از شکل ۱ مشخص است، بازدهی تولید با افزایش زمان ماند تا روز پنجم افزایش یافته و بعد از آن کاهش می‌یابد. بر این اساس بهترین زمان ماند برای تولید بیواتانول از زیست توده مورد استفاده تا روز پنجم می‌باشد. بازدهی تولید بیواتانول برحسب گرم بیواتانول تولید شده به زیست توده تخمیری محاسبه می‌شود.

¹ Life cycle inventory assessment (LCIA)



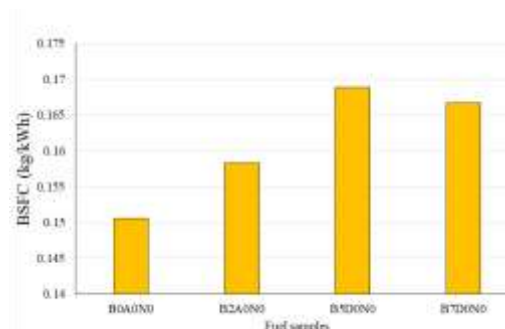
شکل ۴- نتایج تغییرات BTE

مطابق با شکل ۴ می‌توان مشاهده کرد که با افزایش درصد بیواتانول در سوخت بنزین، از صفر تا پنج درصد، میزان بازدهی حرارتی ترمزی موتور کاهش یافته و از پنج تا هفت درصد افزایش یافته است.

۳-۳- نتایج آزمون آلاینده‌گی موتور

این بخش به ارائه نتایج به دست آمده از آزمون آلاینده‌گی موتور می‌پردازد. شکل ۵ به ارائه نتایج انتشار مونوکسید کربن می‌پردازد. همانطور که مشخص است، افزایش درصد بیواتانول از صفر تا دو درصد موجب افزایش انتشار مونوکسید کربن شده و از ۲ تا هفت درصد موجب کاهش انتشار مونوکسید کربن می‌شود. به طوریکه کمترین انتشار مونوکسید کربن مربوط به نمونه سوخت حاوی هفت درصد بیواتانول است. این در شرایطی است که ممکن است با افزایش درصد بیواتانول از هفت درصد به بالاتر در سوخت بنزین، باز هم انتشار مونوکسید کربن افزایش یابد. افزایش بیواتانول در سوخت بنزین تاثیر مثبتی بر کاهش انتشار مونوکسید کربن (CO) از آگروز موتور دارد. یکی از عوامل کلیدی، محتوای اکسیژن بالاتر در بیواتانول در مقایسه با بنزین معمولی است. این افزایش در دسترس بودن اکسیژن، فرآیند احتراق را در موتور افزایش می‌دهد و منجر به سوختن کاملتر و کارآمدتر سوخت می‌شود. در نتیجه، محصولات جانبی ناقص احتراق کمتری، از جمله مونوکسید کربن، در طول چرخه احتراق تولید می‌شوند. راندمان احتراق بهبود یافته سوخت‌های بیواتانول ترکیب شده به انتشارات آگروز تمیزتر و سازگار با محیط زیست کمک می‌کند [۳۸].

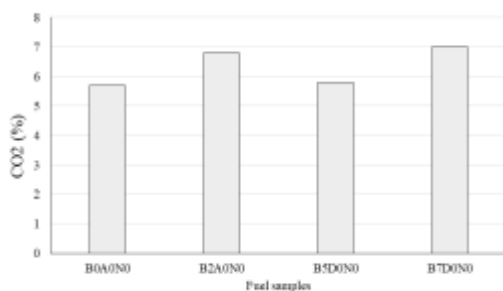
مطالعات مانزتی و همکاران [۱۷] و استوجیلکوویچ و همکاران [۴۰] اشاره شده است.



شکل ۳- نتایج تغییرات BSFC

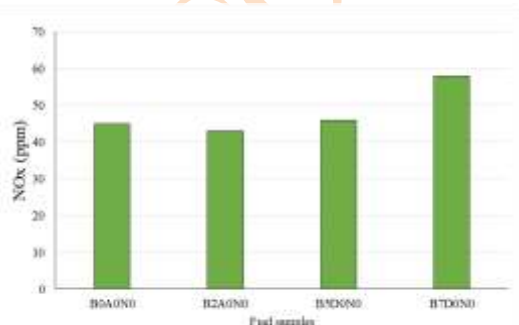
دبی سوخت به کمک ستون استوانه‌ای مدرج و یک کرنومتر اندازه‌گیری شد. دبی سوخت اندازه‌گیری شده در محاسبه مصرف سوخت ویژه ترمزی مورد استفاده قرار گرفت. مطابق با شکل ۳، می‌توان ادعان کرد افزایش درصد بیواتانول در سوخت بنزین موجب افزایش مصرف سوخت ویژه ترمزی شده است. به طوریکه افزایش از صفر تا پنج درصد به طور تقریباً خطی میزان مصرف سوخت ویژه را افزایش داده است. اما با افزایش از پنج تا هفت درصد مصرف سوخت ویژه ترمزی کمی کاهش یافته است. یکی از دلایل این امر می‌تواند حضور درصد اکسیژن بالا در درصد‌های بالای بیواتانول در محفظه سوخت باشد که می‌تواند منجر به بهبود احتراق شود. همانطور که از شکل ۲ هم مشخص است، شیب کاهش توان ترمزی از بیواتانول پنج درصد تا هفت درصد (تقریباً ۲۵- درجه) تقریباً کمتر از شیب کاهش توان ترمزی از صفر تا پنج درصد (۳۵- درجه) است. با این حال نیاز است مطالعاتی جامع تر و بیشتر در مورد درصد‌های بالاتر بیواتانول در سوخت بنزین انجام شود تا با قاطعیت نظراتی در این مورد ارائه شود.

کربن دوباره به اتمسفر آزاد می‌شود، اما فرآیند کلی کربن خنثی باقی می‌ماند. این در تضاد با سوخت‌های فسیلی است، جایی که کربن از مخازن زیرزمینی به اتمسفر آزاد می‌شود و به افزایش خالص کربن اتمسفر کمک می‌کند. رویکرد جامع تولید و احتراق بیواتانول، همراه با تأثیر آن بر راندمان احتراق و اکسیداسیون مونوکسید کربن، آن را به گزینه ای امیدوارکننده برای کاهش انتشار مونوکسید کربن از اگزوز موتور تبدیل می‌کند. شکل ۶ روند انتشار دی اکسید کربن را ارائه می‌دهد.



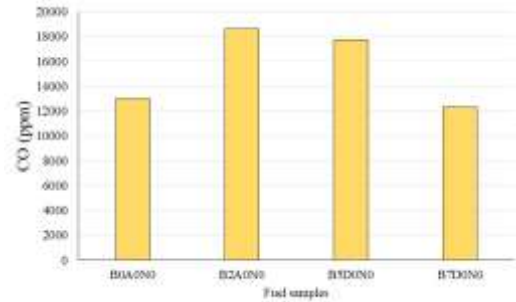
شکل ۶- نتایج انتشار دی اکسید کربن

مطابق با شکل ۶ روند خاصی را برای انتشار دی اکسید کربن نمی‌تواند متصور شد. اما با یک برآیند ساده می‌توان مشاهده کرد در هر مقدار از ترکیب بیواتانول با سوخت بنزین، میزان انتشار دی اکسید کربن افزایش یافته است. شکل ۷ میزان انتشار اکسیدهای نیتروژن را ارائه می‌دهد.



شکل ۷- نتایج انتشار اکسیدهای نیتروژن

مطابق با شکل ۷ می‌توان دریافت، افزایش درصد بیواتانول در سوخت بنزین می‌تواند منجر به افزایش انتشار اکسید نیتروژن (NOx) از اگزوز موتور شود و این پدیده به عوامل



شکل ۵- نتایج انتشار مونوکسید کربن

افزایش بیواتانول در سوخت بنزین تأثیر مثبتی بر کاهش انتشار مونوکسید کربن (CO) از اگزوز موتور دارد. یکی از عوامل کلیدی، محتوای اکسیژن بالاتر در بیواتانول در مقایسه با بنزین معمولی است. این افزایش در دسترس بودن اکسیژن، فرآیند احتراق را در موتور افزایش می‌دهد و منجر به سوختن کاملتر و کارآمدتر سوخت می‌شود. در نتیجه، محصولات جانبی ناقص احتراق کمتری، از جمله مونوکسید کربن، در طول چرخه احتراق تولید می‌شوند. راندمان احتراق بهبود یافته سوخت‌های بیواتانول ترکیب شده به انتشارات اگزوز تمیزتر و سازگار با محیط زیست کمک می‌کند [۴۱].

همچنین استفاده از بیواتانول در ترکیبات بنزین ترکیب شیمیایی گازهای خروجی را تغییر می‌دهد. وجود اکسیژن در بیواتانول باعث اکسیداسیون مونوکسید کربن به دی اکسید کربن در طی فرآیند احتراق می‌شود. این واکنش شیمیایی بخش قابل توجهی از انتشار مونوکسید کربن را کاهش می‌دهد و در نتیجه غلظت کلی مونوکسید کربن در گازهای خروجی در اتمسفر را کاهش می‌دهد. این اثر دوگانه بهبود راندمان احتراق و اکسیداسیون مونوکسید کربن، سوخت‌های مخلوط شده با اتانول زیستی را به یک استراتژی مؤثر برای کاهش انتشار مونوکسید کربن از اگزوز موتور تبدیل می‌کند.

کشت و تولید بیواتانول شامل ترسیب کربن از طریق رشد گیاهان مورد استفاده در تولید آن است. گیاهان در طول فتوسنتز دی اکسید کربن را از جو جذب می‌کنند و این کربن در زیست توده گیاه ذخیره می‌شود. هنگامی که بیواتانول تولید می‌شود و به عنوان سوخت سوزانده می‌شود،

در مقایسه با بنزین معمولی به مخلوط هوا و سوخت متفاوتی نیاز دارد و بهینه سازی این مخلوط برای احتراق کارآمد ممکن است به طور ناخواسته منجر به شرایطی شود که به نفع تشکیل NOx باشد. سیستم‌های کنترل موتور ممکن است نیاز به تنظیمات داشته باشند تا تعادلی بین دستیابی به احتراق کارآمد و به حداقل رساندن تشکیل اکسیدهای نیتروژن ایجاد شود.

۳-۴- نتایج ارزیابی چرخه حیات

LCA در حال کشف این است که نمونه های سوخت احتراق چقدر به محیط زیست آسیب می‌رسانند تا نمایه ای از آن‌ها ایجاد کند و نقاط داغ آن‌ها را پیدا کند. FU به میزان ۱ مگاژول انرژی تولید شده توسط سوخت در نظر گرفته شد. برای نمونه های سوختی که باید ساخته شوند، چندین قسمت مورد نیاز است. قسمت اصلی سوزاندن نمونه های سوختی است که ایجاد شده است. LCI با ساخت بیواتانول، تهیه و سوزاندن نمونه های سوخت اجرا می‌شود. اثرات زیست محیطی نمونه های سوخت مختلف مورد استفاده در فرآیندهای احتراق در جدول ۵ نشان داده شده است که می‌توان در اینجا یافت. ارزیابی چرخه حیات برای هر پیامد زیست محیطی شامل تولید بیواتانول، آماده سازی سوخت، انتشارات بدنه موتور و انتشار گازهای خروجی است. آنها به چهار نوع آسیب متمایز (EQ, HH, R, CCh) تقسیم می‌شوند. با توجه به اطلاعات نشان داده شده در جدول ۵، افزایش میزان بیواتانول در سوخت حاوی بنزین از صفر تا هفت درصد به طور متوسط EQ, r, CCh و HH را به میزان ۲ الی ۲۰ درصد کاهش می‌دهد.

متعددی نسبت داده می‌شود. یکی از عوامل مهم دمای احتراق بالاتر مرتبط با سوخت‌های بیواتانول است. بیواتانول دارای رتبه اکتان بالاتری نسبت به بنزین است که امکان زمانبندی احتراق پیشرفته تر و افزایش دمای احتراق در موتور را فراهم می‌کند. دماهای بالا در طی احتراق به غلظت‌های بالاتر اکسیدهای نیتروژن کمک می‌کند، زیرا دماهای بالا تشکیل اکسیدهای نیتروژن را از طریق واکنش بین نیتروژن و اکسیژن اتمسفر تسهیل می‌کند [۴۲].

یکی دیگر از عوامل موثر، محتوای اکسیژن موجود در بیواتانول است. در حالی که وجود اکسیژن در بیواتانول می‌تواند کارایی احتراق را افزایش دهد، همچنین می‌تواند منجر به افزایش تشکیل NOx شود. غلظت بالاتر اکسیژن پدیده ای به نام "تشکیل NOx حرارتی" را ترویج می‌کند، که در آن دماهای بالا و اکسیژن اضافی در محفظه احتراق تبدیل نیتروژن و اکسیژن اتمسفر را به اکسیدهای نیتروژن تسهیل می‌کند. این فرآیند در موتورهایی که با اتانول زیستی کار می‌کنند، بارزتر است و به افزایش مشاهده شده در انتشار NOx کمک می‌کند [۴۳].

یکی دیگر از عوامل موثر، محتوای اکسیژن موجود در بیواتانول است. در حالی که وجود اکسیژن در بیواتانول می‌تواند کارایی احتراق را افزایش دهد، همچنین می‌تواند منجر به افزایش تشکیل NOx شود. غلظت بالاتر اکسیژن پدیده ای به نام "تشکیل NOx حرارتی" را ترویج می‌کند، که در آن دماهای بالا و اکسیژن اضافی در محفظه احتراق تبدیل نیتروژن و اکسیژن اتمسفر را به اکسیدهای نیتروژن تسهیل می‌کند. این فرآیند در موتورهایی که با اتانول زیستی کار می‌کنند، بارزتر است و به افزایش مشاهده شده در انتشار NOx کمک می‌کند [۴۰].

تغییرات در نسبت هوا به سوخت به دلیل استفاده از اتانول زیستی می‌تواند بر انتشار NOx تأثیر بگذارد. اتانول زیستی

جدول ۵- اثرات زیست محیطی نقطه پایانی نمونه های سوخت در فرآیند احتراق

دسته بندی آسیب	EQ	r	CCh	HH
واحد	PDF*m2*yr	MJ primary	kg CO2 eq	DALY
B0A0N0	0.0076	1.4984	0.0271	2.073E-08
B2A0N0	0.0073	1.4939	0.0232	2.147E-08
B5D0N0	0.0072	1.4894	0.0220	2.190E-08

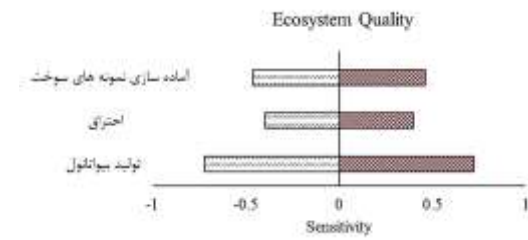
B7D0N0

0.0068

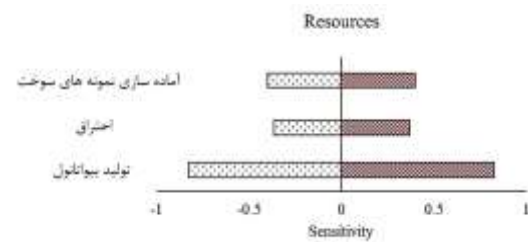
1.3241

0.0122

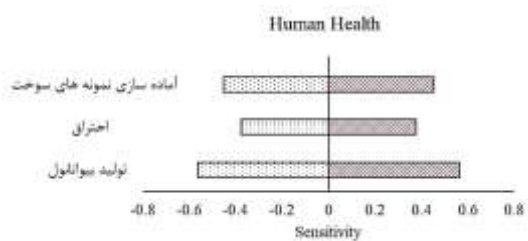
1.873E-08



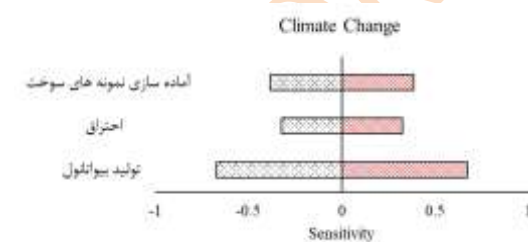
(الف)



(ب)



(ج)



(د)

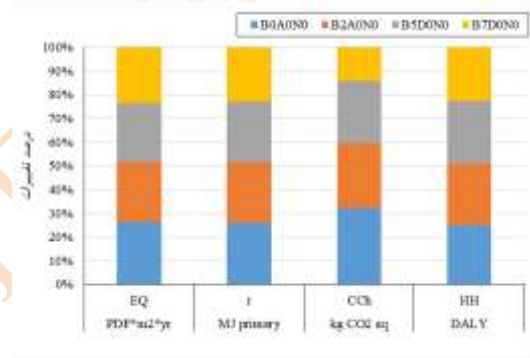
شکل ۹. نتایج تحلیل حساسیت برای هر مقدار مستقل در هر دسته تاثیر. (الف) EQ، (ب) r، (ج) HH، و (د) CCh

۴- نتیجه گیری

بررسی تاثیر بیواتانول به عنوان یک افزودنی سوخت بنزین بر عملکرد و ویژگی‌های انتشار یک موتور بنزینی از دیدگاه

یکی از دلایل مهم برای این امر تجدیدپذیر بودن سوخت بیواتانول می‌باشد. این دلیل باعث می‌شود چرخه کربن کنترل شود و میزان کربن استخراج شده از زیست توده دوباره به چرخه کربن بازگشته و کربن اضافی در محل تولید انرژی به وجود نیاید. این باعث کاهش اثرات زیست محیطی نقطه پایانی می‌شود.

نسبت تاثیر عادی که نمونه های سوخت مختلف بر تخریب شکل ۸ همچنین نسبت نمونه های سوخت مختلف در HH، EQ، CCh و r دارند در شکل ۸ نشان داده شده است. EQ، CCh و آسیب منابع را نشان می‌دهد.



شکل ۸- بخش هر دسته آسیب برای هر نمونه سوخت

در شکل ۹، نتایج بررسی و ارزیابی تحلیل حساسیت از چهار نوع آسیب مربوط به متغیرهای مستقلی که در فرآیند احتراق سوخت همکاری می‌کنند، ارائه شده است. خط عمودی در نمودار میانگین تاثیر زیست محیطی را در تمام دسته های آسیب نشان می‌دهد. انحراف خط عمودی از مقدار میانگین هر پارامتر ورودی و خروجی، حساسیت متغیر مستقل را بر روی دسته تاثیر توضیح می‌دهد.

از یافته های تجزیه و تحلیل حساسیت مشخص است که مراحل تولید بیواتانول و آماده سازی نمونه های سوخت بیشترین نفوذ را بر همه دسته های تاثیر دارد. همانطور که مشخص است، به طور متوسط، تاثیر متغیرهای مستقل بر EQ و به دنبال آن r بیشتر از سایر دسته های تاثیر است.

تأثیر بگذارند. نظارت مستمر و انطباق روش‌های ارزیابی برای ثبت دقیق این تغییرات ضروری است. علاوه بر این، این تحقیق بر اهمیت در نظر گرفتن تغییرات منطقه ای و تنوع فناوری هنگام نتیجه گیری در مورد تأثیرات بیواتانول بر عملکرد موتور و انتشار گازهای گلخانه‌ای تأکید می‌کند. مناسب بودن مخلوط‌های بیواتانول ممکن است بسته به عواملی مانند آب و هوا، زیرساخت‌ها و ترکیب انرژی مورد استفاده در تولید متفاوت باشد. این امر مستلزم درک دقیق و رویکردهای مناسب برای رسیدگی به چالش‌ها و فرصت‌های خاص مرتبط با پذیرش بیواتانول در زمینه‌های مختلف است.

به طور خلاصه، بررسی اثرات اتانول زیستی به عنوان یک افزودنی سوخت بنزین از طریق ارزیابی چرخه عمر، چشم انداز جامعی را ارائه می‌دهد که فراتر از مزایای فوری در طی احتراق موتور است. این تحقیق به درک گسترده تر پیامدهای زیست‌محیطی، چالش‌ها و فرصت‌های مرتبط با ادغام بیواتانول در زنجیره تامین سوخت بنزین کمک می‌کند و پایه ای برای تصمیم‌گیری آگاهانه و شیوه‌های پایدار در بخش‌های خودرو و انرژی فراهم می‌کند.

تقدیر و تشکر

با تشکر از آزمایشگاه سوخت و موتور دانشگاه محقق اردبیلی در راستای حمایت و پشتیبانی از انجام آزمایشات تجربی این پژوهش

تعارض منافع

نویسنده اعلام می‌کند که در مورد انتشار این مقاله تعارض منافع وجود ندارد.

ارزیابی چرخه عمر (LCA) بینش‌های ارزشمندی را در مورد پیچیدگی‌ها و ملاحظات پیرامون پذیرش سوخت‌های مخلوط شده با اتانول زیستی ارائه می‌کند. یافته‌های تحقیق نیاز به یک رویکرد جامع و کل نگر را هنگام ارزیابی اثرات زیست‌محیطی چنین سوخت‌های جایگزین، با در نظر گرفتن کل چرخه زندگی از کشت مواد اولیه تا احتراق، برجسته می‌کند. با وجود چالش‌ها و محدودیت‌های ذاتی در چنین مطالعاتی، چندین نتیجه کلیدی از تجزیه و تحلیل به دست می‌آید.

در مرحله اول، این تحقیق بر اهمیت درک چرخه زندگی کامل بنزین مخلوط شده با بیواتانول تأکید می‌کند. در حالی که اتانول زیستی ممکن است مزایایی را از نظر کاهش انتشار کربن در طی احتراق ارائه دهد، پیامدهای زیست‌محیطی گسترده تر، از جمله تغییرات کاربری زمین و اثرات غیرمستقیم، باید به دقت ارزیابی شوند. این دانش برای سیاستگذاران، سهامداران صنعت و محققان برای تصمیم‌گیری آگاهانه در مورد پایداری و ماندگاری بیواتانول به عنوان یک افزودنی بنزین بسیار مهم است.

ثانیاً، این مطالعه بر ماهیت پویا و در حال تکامل سیستم‌های تولید بیواتانول تأکید می‌کند و نیاز به تحقیقات مداوم و به روزرسانی مدل‌ها و داده‌ها را برجسته می‌کند. پیشرفت‌های تکنولوژیکی، تغییرات در شیوه‌های کشاورزی، و بهبود روش‌های تولید بیواتانول می‌توانند به طور قابل توجهی بر عملکرد زیست‌محیطی سوخت‌های مخلوط شده با بیواتانول

مراجع

- [1] J. Ghazanfari, B. Najafi, S. Faizollahzadeh Ardabili, and S. J. C. E. Shamshirband, "Limiting factors for the use of palm oil biodiesel in a diesel engine in the context of the ASTM standard," vol. 4, no. 1, p. 1411221, 2017.
- [2] S. A. Hajlari, B. Najafi, and S. F. J. R. E. F. Ardabili, "Castor oil, a source for biodiesel production and its impact on the diesel engine performance," vol. 28, pp. 1-10, 2019.
- [3] E. Asmatulu, J. Twomey, and M. J. J. o. N. R. Overcash, "Life cycle and nano-products: end-of-life assessment," vol. 14, pp. 1-8, 2012.
- [4] G. Finnveden and J. J. E. o. t. Potting, "Life cycle assessment," pp. 74-77, 2014.

- [5] G. Finnveden et al., "Recent developments in life cycle assessment," vol. 91, no. 1, pp. 1-21, 2009.
- [6] J. B. Guinee et al., "Life cycle assessment: past, present, and future," ed: ACS Publications, 2011.
- [7] M. Safaripour, A. Ghanbari, E. Seyedabadi, G. J. B. C. Pourhashem, and Biorefinery, "Investigation of environmental impacts of bioethanol production from wheat straw in Kermanshah, Iran," pp. 1-11, 2021.
- [8] S. Puricelli et al., "Life Cycle Assessment of innovative fuel blends for passenger cars with a spark-ignition engine: A comparative approach," vol. 378, p. 134535, 2022.
- [9] X. Shi, J. Xiong, X. Yang, K. H. Siddique, and T. J. J. o. C. P. Du, "Carbon footprint analysis of sweet sorghum-based bioethanol production in the potential saline-Alkali land of northwest China," vol. 349, p. 131476, 2022.
- [10] H. U. Ghani, S. H. J. S. P. Gheewala, and Consumption, "Environmental sustainability assessment of molasses-based bioethanol fuel in Pakistan," vol. 27, pp. 402-410, 2021.
- [11] N. Hossain et al., "Bioethanol production from forest residues and life cycle cost analysis of bioethanol-gasoline blend on transportation sector," *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 9, no. 4, p. 105542, 2021.
- [12] D. Dhande, N. Sinaga, and K. B. Dahe, "Study on combustion, performance and exhaust emissions of bioethanol-gasoline blended spark ignition engine," *Heliyon*, vol. 7, no. 3, 2021.
- [13] A. Agostini, P. Serra, J. Giuntoli, E. Martani, A. Ferrarini, and S. J. J. o. C. P. Amaducci, "Biofuels from perennial energy crops on buffer strips: A win-win strategy," vol. 297, p. 126703, 2021.
- [14] C. Rewlay-ngoan, S. Papong, R. Onbuddha, and B. J. J. o. C. P. Thanomnim, "Evaluation of the environmental performance of bioethanol from cassava pulp using life cycle assessment," vol. 284, p. 124741, 2021.
- [15] J. J. Espada, H. Villalobos, R. J. B. Rodríguez, and Bioenergy, "Environmental assessment of different technologies for bioethanol production from *Cynara cardunculus*: A Life Cycle Assessment study," vol. 144, p. 105910, 2021.
- [16] L. Khuong et al., "A review on the effect of bioethanol dilution on the properties and performance of automotive lubricants in gasoline engines," *RSC advances*, vol. 6, no. 71, pp. 66847-66869, 2016.
- [17] S. Manzetti and O. Andersen, "A review of emission products from bioethanol and its blends with gasoline. Background for new guidelines for emission control," *Fuel*, vol. 140, pp. 293-301, 2015.
- [18] S. Yao, S. Nie, Y. Yuan, S. Wang, and C. Qin, "Efficient extraction of bagasse hemicelluloses and characterization of solid remainder," *Bioresource Technology*, vol. 185, pp. 21-27, 2015.
- [19] K. Anil, K. K. Jain, and S. Bijender, "Process optimization for chemical pretreatment of rice straw for bioethanol production," *Renewable Energy*, vol. 156, pp. 1233-1243, 2020.
- [20] Y. Zhao, A. Damgaard, S. Liu, H. Chang, and T. H. Christensen, "Bioethanol from corn stover-Integrated environmental impacts of alternative biotechnologies," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 155, p. 104652, 2020.
- [21] A. Limayem and S. C. Ricke, "Lignocellulosic biomass for bioethanol production: current perspectives, potential issues and future prospects," *Progress in energy and combustion science*, vol. 38, no. 4, pp. 449-467, 2012.
- [22] S. Kim and B. E. Dale, "Global potential bioethanol production from wasted crops and crop residues," *Biomass and bioenergy*, vol. 26, no. 4, pp. 361-375, 2004.
- [23] N. Sarkar, S. K. Ghosh, S. Bannerjee, and K. Aikat, "Bioethanol production from agricultural wastes: an overview," *Renewable energy*, vol. 37, no. 1, pp. 19-27, 2012.
- [24] M. Nikku, A. Deb, E. Sermyagina, and L. Puro, "Reactivity characterization of municipal solid waste and biomass," *Fuel*, vol. 254, p. 115690, 2019.
- [25] K. Saha, J. Sikder, S. Chakraborty, S. S. da Silva, and J. C. dos Santos, "Membranes as a tool to support biorefineries: applications in enzymatic hydrolysis, fermentation and dehydration for bioethanol production," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 74, pp. 873-890, 2017.
- [26] J. Börjesson, R. Peterson, and F. Tjerneld, "Enhanced enzymatic conversion of softwood lignocellulose by poly (ethylene glycol) addition," *Enzyme and Microbial Technology*, vol. 40, no. 4, pp. 754-762, 2007.
- [27] H. Li et al., "Dissecting the effect of polyethylene glycol on the enzymatic hydrolysis of diverse lignocellulose," *International journal of biological macromolecules*, vol. 131, pp. 676-681, 2019.
- [28] M.-H. Cheng, H. J. Kadhum, G. S. Murthy, B. S. Dien, and V. Singh, "High solids loading biorefinery for the production of cellulosic sugars from bioenergy sorghum," *Bioresource Technology*, vol. 318, p. 124051, 2020.
- [29] V. P. Zambare and L. P. Christopher, "Integrated biorefinery approach to utilization of pulp and paper mill sludge for value-added products," *Journal of Cleaner Production*, vol. 274, p. 122791, 2020.
- [30] N. Tippkötter, A.-M. Duwe, S. Wiesen, T. Sieker, and R. Ulber, "Enzymatic hydrolysis of beech wood lignocellulose at high solid contents and its utilization as substrate for the production of biobutanol and dicarboxylic acids," *Bioresource technology*, vol. 167, pp. 447-455, 2014.

- [31] S. Ostadjoo, F. Hammerer, K. Dietrich, M.-J. Dumont, T. Friscic, and K. Auclair, "Efficient enzymatic hydrolysis of biomass hemicellulose in the absence of bulk water," *Molecules*, vol. 24, no. 23, p. 4206, 2019.
- [32] W. Wang, C. Zhang, S. Tong, Z. Cui, and P. Liu, "Enhanced enzymatic hydrolysis and structural features of corn stover by NaOH and ozone combined pretreatment," *Molecules*, vol. 23, no. 6, p. 1300, 2018.
- [33] K. Robak and M. Balcerak, "Current state-of-the-art in ethanol production from lignocellulosic feedstocks," *Microbiological Research*, vol. 240, p. 126534, 2020.
- [34] S. I. Mussatto, E. M. Machado, L. M. Carneiro, and J. A. Teixeira, "Sugars metabolism and ethanol production by different yeast strains from coffee industry wastes hydrolysates," *Applied Energy*, vol. 92, pp. 763-768, 2012.
- [35] F. Wirawan et al., "Continuous cellulosic bioethanol co-fermentation by immobilized *Zymomonas mobilis* and suspended *Pichia stipitis* in a two-stage process," *Applied Energy*, vol. 266, p. 114871, 2020.
- [36] 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.
- [37] R. Pourdarbani, S. Ardabili, E. Akbarpouran, and J. L. J. A. T. A. Hernandez-Hernandez, "Exergo-Environmental Optimization of a Diesel Engine," vol. 25, no. 3, pp. 157-168, 2022.
- [38] 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.
- [39] T. M. Gundoshmian, S. Ardabili, M. Csaba, A. J. M. B. Mosavi, and Engineering, "Modeling and optimization of the oyster mushroom growth using artificial neural network: Economic and environmental impacts," vol. 19, no. 10, pp. 9749-9768, 2022.
- [40] D. Stojiljković, D. Nestorović, V. Jovanović, and N. Manić, "Mixtures of Bioethanol and Gasoline as a Fuel for SI Engines," *Thermal science*, vol. 13, no. 3, pp. 219-228, 2009.
- [41] A. Elfasakhany, "Gasoline engine fueled with bioethanol-bio-acetone-gasoline blends: Performance and emissions exploration," *Fuel*, vol. 274, p. 117825, 2020.
- [42] C. S. Wibowo, B. Sugiarto, A. Zikra, A. Budi, T. Mulya, and M. Muchar, "The effect of bioethanol-varying gasoline blends on performance and emission of SI engine 150 CC," in *AIP Conference Proceedings*, 2019, vol. 2062, no. 1: AIP Publishing.
- [43] S. K. Thangavelu, A. S. Ahmed, and F. N. Ani, "Review on bioethanol as alternative fuel for spark ignition engines," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 56, pp. 820-835, 2016.