J. Agric. Mech., 9 (3):33-48 (2024)

Journal of
Agricultural Mechanization

Online ISSN: 2717-4107
Journal homepage: https://jam.tabrizu.ac.ir/?lang=en

Original Article

The Role of Life Cycle Assessment in Exploring Sustainable Power Generation from Biodiesel: A Case Study of the Moghan Region

Javad Tarighi[1*], Farzad Naseri[1], Ebrahim Kolahi[1]

1- Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

ARTICLE INFO

***Keywords*:**
Bio Energy,
Energy Sustainability,
Sustainable Production,
Rapeseed Oil

Received:
March 10, 2024

Revised:
September 18, 2024

Accepted:
October 27, 2024

*** Corresponding author:**
Tarighi@uma.ac.ir

ABSTRACT

This study has been conducted on the vital role of life cycle assessment (LCA) as a comprehensive method to evaluate the sustainability of biodiesel power generation, with a case focus on the Moghan region. Life cycle assessment covers all stages of biodiesel's life cycle, including production, distribution, and use, and provides a complete view of its environmental impacts. This study uses methods such as cradle-to-grave analysis, carbon footprint calculation, and various impact assessments to measure ecological outcomes. This article examines the distinctive features of the Moghan region's local agricultural practices, biodiesel production methods from rapeseed as the dominant oil crop in the region, and energy consumption trends. The results show that the use of fuel, plastic, and gas in rapeseed cultivation has the most intermediate effects (about 5-25% higher than other inputs) in the Moghan region. In addition, electricity consumption significantly (about 200-300% more than other inputs) affects the intermediate effects during the rapeseed oil extraction process in the Moghan region. Evaluations show that inputs of water (on average about 300, 350, 250, and 400% more than oil, sodium hydroxide, hydrochloric acid, and methanol) and electricity (on average about 150, 170, 120, and 200% more than oil, sodium hydroxide, hydrochloric acid, and methanol) can contribute the most to the environmental impacts in the biodiesel production stage from rapeseed oil in the biodiesel region. In addition, this study identifies that the biodiesel fuel itself has the greatest effect on the intermediate indicators of electricity production from canola-derived biodiesel.

Introduction

As the world confronts the pressing need to shift towards sustainable and eco-friendly energy sources, biodiesel has emerged as a promising alternative to fossil fuels in transportation. Sourced from feedstocks like vegetable oils, animal by-products, and recycled cooking oil, biodiesel has the potential to lower greenhouse gas emissions, enhance energy security, and foster a sustainable energy future. However, to thoroughly understand and assess the environmental and sustainability implications of biodiesel as a power generation source, a comprehensive life cycle assessment is essential. To maximize the sustainability of biodiesel, it is crucial to promote ongoing research and development, enforce stringent environmental standards, and encourage the use of advanced raw materials and production technologies. Additionally, policies that support the production and sustainable utilization of biodiesel, along with public awareness and education, are vital in fostering the growth of this eco-friendly alternative. Biodiesel presents significant potential as a cleaner and more sustainable substitute for traditional fossil fuels in the transportation sector. However, a comprehensive life cycle assessment is necessary to ensure that environmental benefits are optimized and potential drawbacks are addressed. By adopting a holistic approach to biodiesel life cycle assessment, we can make informed decisions that contribute to a more sustainable and resilient energy future. Numerous studies have been conducted in this area. For decades, lignocellulosic biomass has been

How to cite:
Tarighi, J. Naseri, F. and Kolahi, E. (2024). *The Role of Life Cycle Assessment in Exploring Sustainable Power Generation from Biodiesel: A Case Study of the Moghan Region.* Journal of Agricultural Mechanization, 9 (3):33-48. https://doi.org/10.22034/jam.2024.60685.1272.

This is an open-access article under the CC BY NC license
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)

recognized as the most important raw material for the environmentally and economically sustainable production of high-value bioproducts by microorganisms. Nevertheless, due to their robust resistant structure, lignocellulosic materials face significant challenges in obtaining fermentable sugars for conversion into value-added products, such as bioethanol, biobutanol, and biohydrogen, with particular emphasis on new strategies to overcome pretreatment barriers.

Materials and Methods

The materials and methods section of this study comprises two main parts. The first part follows the systematic review and establishes the primary framework for the life cycle list of biodiesel production from rapeseed oil. The second part details the life cycle assessment method and the list of sustainable bioenergy production from biodiesel derived from rapeseed oil in the Moghan region. Subsequently, it employs the feature selection method to identify the most impactful stage and input of biopower production concerning environmental impacts. As mentioned, the first part of this study is a systematic review. The PRISMA method was employed to conduct this review, which categorizes all steps of the systematic review into a standard approach. The Scopus and Web of Science databases were utilized for the systematic review. Keywords such as life cycle assessment, sustainable power generation, and biodiesel were used to search the sources within these databases (including Scopus, Web of Science, and Research Gate). The PRISMA systematic evaluation method consists of four main stages. The first stage is identification, during which 132 articles were identified using the keywords. In the second and third stages, screening was performed, resulting in the removal of 81 unrelated and duplicate articles by examining the titles and abstracts. In the final stage, which involves selecting studies for evaluation, 14 articles published in the last five years were chosen after a thorough reading of the main texts. These articles were then entered into the analysis and data extraction stage for further evaluation. Life cycle assessment is an essential tool for businesses, policymakers, and consumers to make informed decisions regarding the environmental performance of products and services. By offering a comprehensive view of environmental impacts throughout the life cycle, it facilitates the shift towards more sustainable and eco-friendly practices. This study presents the life cycle assessment method utilizing Simapro software, supported by relevant inputs. Feature selection is a process that involves selecting a subset of relevant features from the original set to enhance model performance and decrease computational complexity. This is particularly crucial when working with high-dimensional data sets, as not all features may contribute equally to the model's predictive capability.

Results and Discussion

The results section is divided into two parts. The first part presents the findings of the life cycle assessment, while the second part outlines the relevant policies based on the systematic review and the results obtained.

In this section, the results from the systematic review stage are presented. This part showcases statistical results related to the most common life cycle log analysis methods. It is essential to evaluate this section, as the type of analysis method can influence the results obtained. Moghan region is situated in the north of Ardabil. This area is one of the agricultural hubs in Iran. In this region, rapeseed is a primary oilseed that can be cultivated. Accordingly, the foundational study focuses on the necessary components for biodiesel production through the transesterification method using rapeseed in the Moghan region. The list required to examine the life cycle of biodiesel production from rapeseed in this area is derived from the studies conducted.

Conclusion

This study highlights the significance of employing life cycle assessment (LCA) as a key tool to thoroughly examine the sustainability of power generation from biodiesel, particularly within the distinct context of the Moghan region. Through an in-depth analysis encompassing the entire life cycle of biodiesel, from production to end use, we have acquired valuable insights into the environmental implications tied to this alternative energy source. The findings of the case study reveal the intricate interplay of local agricultural practices, biodiesel production processes, and energy consumption patterns specific to the Moghan region. By taking these regional variations into account, our research not only enhances the understanding of the environmental impact of biodiesel but also offers pertinent insights that can guide sustainable energy strategies at the local level. Identifying potential environmental challenges and areas for improvement in the life cycle of biodiesel enables targeted interventions and the optimization of sustainable practices. This knowledge is crucial for policymakers, energy stakeholders, and local communities as they transition towards cleaner and more environmentally friendly energy solutions. Furthermore, the incorporation of LCA in our analysis guarantees an accurate and systematic assessment, facilitating informed decision-making for the Moghan region and other areas exploring biodiesel-based power generation. As the world confronts the pressing need for sustainable energy alternatives, our research emphasizes the importance of contextual assessments to steer the development of environmentally responsible and effective energy policies.

نشریه
مکانیزاسیون کشاورزی
شاپا الکترونیکی: 2717-4107
درگاه نشریه: https://jam.tabrizu.ac.ir

مقاله پژوهشی

نقش ارزیابی چرخه حیات در بررسی تولید توان پایدار از بیودیزل: مطالعه موردی منطقه مغان

جواد طریقی [1*]، فرزاد ناصری[1]، ابراهیم کلاهی[1]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۰۲ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۷/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۰۶

۱- گروه مهندسی بیوسیستم - دانشکده کشاورزی - دانشگاه محقق اردبیلی - اردبیل - ایران

* نویسنده مسئول E-mail: Tarighi@uma.ac.ir

چکیده

این مطالعه به نقش حیاتی ارزیابی چرخه حیات (LCA[1]) به عنوان یک روش جامع برای ارزیابی پایداری تولید توان حاصل از بیودیزل، با تمرکز موردی بر منطقه مغان انجام شده است. ارزیابی چرخه حیات تمام مراحل چرخه زندگی بیودیزل، از جمله تولید، توزیع و استفاده را در بر می گیرد و چشم اندازی کامل از تأثیرات زیست محیطی آن ارائه می دهد. این مطالعه از روش‌هایی مانند تجزیه و تحلیل از گهواره تا گور، محاسبه ردپای کربن و ارزیابی‌های تاثیر مختلف برای اندازه‌گیری نتایج زیست‌محیطی استفاده می‌کند. این مقاله ویژگی‌های متمایز منطقه مغان را با توجه به شیوه‌های کشاورزی محلی، روش‌های تولید بیودیزل از کلزا به عنوان محصول روغنی غالب در منطقه و روند مصرف انرژی بررسی می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از سوخت، پلاستیک و گاز در کشت کلزا بیشترین تأثیرات میانی (حدود ۵ الی ۲۵ درصد بالاتر از سایر نهاده ها) در منطقه مغان را دارد. علاوه بر این، مصرف الکتریسیته به طور قابل توجهی (حدود ۲۰۰ الی ۳۰۰ درصد بیشتر از سایر نهاده‌ها) بر تأثیرات میانی در طول فرآیند استخراج روغن کلزا در منطقه مغان تأثیر می گذارد. ارزیابی‌ها نشان می‌دهد که ورودی‌های آب (به طور متوسط حدود ۳۰۰، ۳۵۰، ۲۵۰ و ۴۰۰ درصد بیشتر از روغن، سدیم هیدروکسید، هیدروکلریک اسید و متانول) و الکتریسیته (به طور متوسط حدود ۱۵۰، ۱۷۰، ۱۲۰ و ۲۰۰ درصد بیشتر از روغن، سدیم هیدروکسید، هیدروکلریک اسید و متانول) بیشترین سهم را در تأثیرات زیست‌محیطی در مرحله تولید بیودیزل از روغن کلزا در منطقه بیودیزل می توانند داشته باشند. علاوه بر این، این مطالعه مشخص می‌کند که سوخت بیودیزل خود بیشترین تأثیر را بر شاخص‌های میانی تولید الکتریسیته از بیودیزل مشتق شده از کلزا دارد.

واژه‌های کلیدی: پایداری انرژی، تولید پایدار، روغن کلزا، زیست انرژی

[1] Life cycle assessment (LCA)

This is an open-access article under the CC BY NC license
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)

۱- مقدمه

از آنجایی که جهان با نیاز فوری به انتقال به منابع انرژی پایدارتر و سازگار با محیط زیست دست و پنجه نرم می کند، بیودیزل به عنوان جایگزین امیدوار کننده‌ای برای سوخت‌های فسیلی در بخش حمل و نقل ظاهر شده است. بیودیزل که از مواد اولیه تجدید پذیر مانند روغن‌های گیاهی، چربی‌های حیوانی و روغن آشپزی بازیافتی مشتق شده است، پتانسیل کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، افزایش امنیت انرژی و ارتقای آینده انرژی پایدارتر را ارائه می‌دهد. با این حال، برای درک و ارزیابی کامل مفاهیم زیست‌محیطی و پایداری بیودیزل به‌عنوان منبع تولید توان، ارزیابی چرخه حیات جامع ضروری است (Bora et al., 2023; Mortaza et al., 2023; Saranraj et al., 2023).ارزیابی چرخه حیات شامل تجزیه و تحلیل نظام‌مند تأثیرات زیست‌محیطی مرتبط با کل چرخه حیات یک محصول، از استخراج و تولید مواد خام گرفته تا استفاده و دفع است. در مورد بیودیزل، این شامل ارزیابی کشت مواد اولیه، فرایندهای انرژی بر درگیر در تبدیل به بیودیزل، توزیع و احتراق در موتورها است. با در نظر گرفتن این مراحل به طور کلی، محققان و سیاست گذاران می‌توانند بینشی در مورد عملکرد کلی زیست‌محیطی بیودیزل در مقایسه با سوخت‌های فسیلی سنتی به دست آورند (Hashemi-Nejhad et al., 2023; Hashemi et al., 2023; Varling et al., 2023). یکی از جنبه‌های کلیدی ارزیابی چرخه حیات برای بیودیزل، ارزیابی کاربری زمین و تأثیر آن بر اکوسیستم است. کشت محصولات زراعی برای خوراک بیودیزل، مانند سویا یا روغن نخل، با جنگل زدایی و تخریب زیستگاه همراه بوده است. یک ارزیابی جامع باید مزایای زیست‌محیطی کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای را در مقابل تأثیرات منفی بالقوه بر تنوع زیستی و تغییر کاربری زمین بسنجید. شیوه‌های پایدار، مانند کشت مواد اولیه در زمین‌های تخریب شده یا کم استفاده و رعایت استانداردهای صدور گواهینامه مانند میزگرد روغن پالم پایدار، می تواند نقش مهمی در کاهش این نگرانی‌ها داشته باشد (Al-Aseebee et al., 2023; Moioli et al., 2020).یکی دیگر از عوامل مهم در ارزیابی چرخه حیات تعادل انرژی تولید بیودیزل است. ارزیابی نهاده‌های انرژی مورد نیاز برای کشت محصول، پردازش مواد اولیه و تبدیل این مواد اولیه به بیودیزل ضروری است. اگر انرژی ورودی بیشتر از انرژی خروجی حاصل از احتراق بیودیزل باشد، ممکن است مزایای کلی زیست‌محیطی به خطر بیفتد. پیشرفت در فناوری و استفاده از فرایندهای کارآمدتر انرژی می‌تواند به بهبود تعادل انرژی کلی تولید بیودیزل کمک کند (Chaurasiya & Singh, 2023; Fuentes et al., 2023; Hosseinzadeh-Bandbafha, Nazemi, et al., 2022). علاوه بر این، ارزیابی چرخه حیات انتشار گازهای گلخانه‌ای مرتبط با احتراق بیودیزل را در نظر می‌گیرد. در حالی که بیودیزل به طور کلی انتشار گازهای گلخانه‌ای کمتری نسبت به دیزل سنتی تولید می‌کند، مواد اولیه و روش‌های تولید خاص می‌توانند بر تأثیرات زیست‌محیطی تأثیر بگذارند. برای مثال، استفاده از ضایعات روغن پخت و پز به عنوان ماده اولیه منجر به انتشار کمتری در مقایسه با بیودیزل تولید شده از روغن‌های گیاهی بکر می‌شود (Hijazi et al., 2020; Saranya et al., 2020; Singh et al., 2020).

برای به حداکثر رساندن پایداری بیودیزل، ترویج تحقیق و توسعه مستمر، اجرای استانداردهای سخت‌گیرانه زیست‌محیطی و تشویق به پذیرش مواد اولیه و فن‌آوری‌های تولید پیشرفته بسیار مهم است. علاوه بر این، سیاست‌های حمایت از تولید و استفاده پایدار از بیودیزل، همراه با آگاهی و آموزش عمومی، نقشی اساسی در تقویت رشد این جایگزین سازگار با محیط زیست ایفا می‌کند .بیودیزل به عنوان جایگزینی پاک‌تر و پایدارتر برای سوخت‌های فسیلی سنتی در بخش حمل و نقل، نوید قابل توجهی دارد. با این حال، ارزیابی کامل چرخه حیات ضروری است تا اطمینان حاصل شود که مزایای زیست‌محیطی به حداکثر می رسد و معایب بالقوه برطرف می‌شود. با اتخاذ رویکردی جامع برای ارزیابی چرخه حیات بیودیزل، می‌توانیم تصمیمات آگاهانه‌ای بگیریم که به آینده انرژی پایدارتر و انعطاف‌پذیرتر کمک می‌کند. در این حوزه مطالعات متعددی انجام گرفته است. برای دهه‌ها، زیست توده لیگنوسلولزی به عنوان مهم‌ترین ماده خام برای تولید پایدار از نظر زیست‌محیطی و اقتصادی محصولات زیستی با ارزش بالا توسط میکرو ارگانیسم‌ها به مردم معرفی شده است. با این حال، به دلیل ساختار مقاوم قوی، مواد لیگنوسلولزی محدودیت‌های عمده‌ای برای به دست آوردن قندهای قابل تخمیر برای تبدیل به محصولات با ارزش افزوده دارند، به عنوان مثال، بیواتانول، بیوبوتانول، بیوهیدروژن، و غیره. ، با توجه ویژه به راهبردهای جدید برای غلبه بر موانع پیش تصفیه. علاوه بر این، چالش‌های مداوم در توسعه فن‌آوری‌های پردازش پیشرفته کم‌هزینه نیز اشاره شده است، که نشان‌دهنده رویکردهای جدید برای رسیدگی به بحران جهانی انرژی و تغییرات آب و هوایی ناشی از استفاده از سوخت‌های فسیلی است. بینش‌های ارائه شده در این مطالعه درک بهتر فرایندهای فعلی را امکان‌پذیر می‌کند و توسعه بیشتر در تولید انرژی زیستی لیگنوسلولزی را تسهیل می‌کند (Zheng et al., 2022). بن و همکاران عملکرد پایداری

چرخه زندگی دیزل مصنوعی و بنزین از ضایعات نخل تونس را ارزیابی کرده و آن را با سوخت‌های فسیلی معمولی مقایسه می‌کنند. موجودی‌های چرخه حیات برای مشخص کردن عملکرد سوخت‌های زیستی مصنوعی تحت مجموعه‌ای از ۱۲ شاخص زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی به تفصیل شرح داده می‌شوند. مشخص شد که هر دو کانون محیطی و اقتصادی با نیاز به برق و اکسیژن مرتبط هستند. انتشار مستقیم در هوا و سرمایه‌گذاری در بخش نیروگاه نیز به طور قابل توجهی بر عملکردهای زیست‌محیطی و اقتصادی تأثیر می‌گذارد. مشخص شد که تأثیرات اجتماعی بالقوه عمدتاً به زنجیره تأمین تجهیزات و زیرساخت مربوط می‌شود، در حالی که برق به عنوان مؤثرترین عنصر عملیاتی به وجود آمد. به طور کلی، سوخت‌های زیستی مصنوعی ارزیابی‌شده تنها در صورتی می‌توانند قابل رقابت با سوخت‌های فسیلی معمولی در نظر گرفته شوند و به دستیابی به اهداف توسعه پایدار کمک کنند، تنها در صورتی که منابع انرژی و اکسیژن سازگار با محیط زیست و اجتماعی (تجدید پذیر) اجرا شوند و مقیاس و پیکربندی نیروگاه بهینه شود (Hnich et al., 2021). سوزاندن سوخت‌های فسیلی یک فعالیت ناپایدار است که منجر به افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای (GHGs) و گرمایش جهانی مرتبط می‌شود. در میان منابع انرژی پایدار، ریز جلبک‌ها جایگزین امیدوارکننده‌ای برای سوخت‌های فسیلی هستند و به دستیابی به اهداف مهم توسعه پایدار (SDGs) کمک می‌کنند. به طور خاص، سهم بالقوه ریز جلبک‌های دریایی در توسعه پایدار بسیار زیاد است، زیرا در میان مزایای دیگر، آنها منبع انرژی منفی کربن هستند و ممکن است در بسیاری از مناطق ساحلی در سراسر جهان استفاده شوند. علی‌رغم این، پیشرفت‌های اقتصادی و تکنولوژیکی قابل توجهی مورد نیاز است تا بتوان سوخت‌های زیستی ریز جلبک‌ها را در مقیاس بزرگ زنده کرد. هدف مطالعه مرلو و همکاران بررسی این موضوع است که چگونه و تا چه حد سوخت‌های زیستی نسل سوم (ریز جلبک‌های دریایی، اما همچنین آخرین پیشرفت‌ها در ریز جلبک‌های آب شیرین) می‌توانند از تحقق این SDG سود ببرند. از این مطالعه به این نتیجه رسیدیم که تولید سوخت‌های زیستی میکرو جلبک دریایی در مقیاس بزرگ هنوز از دیدگاه اقتصادی در مقیاس بزرگ امکان‌پذیر نیست. با این حال، کشت ریز جلبک‌ها در آب دریا پتانسیل زیادی برای افزایش زنده ماندن کوچک تا متوسط این منبع سوخت زیستی دارد. احتمالات بهبود همراه با کمک به توسعه پایدار، زمینه را برای ادامه مطالعه و استفاده از پتانسیل تولید پایدار انرژی زیستی ریز جلبک‌ها فراهم می‌کند (Merlo et al., 2021). مطالعه سارانیا و همکاران، ارزیابی چرخه حیات تولید بیودیزل از ریزجلبک‌ها و ارزش‌گذاری سایر محصولات با ارزش افزوده را ارائه می‌کند. ارزیابی مقایسه‌ای کشت مواد اولیه با در نظر گرفتن نهاده‌های غذایی متنوع - (i) بدون ورودی ماده غذایی (سناریو ۱)، (ب) فاضلاب به عنوان ورودی ماده غذایی (سناریو ۲) و (iii) ورودی کود (سناریو ۳) انجام شد. دو روش مختلف ترانس استریفیکاسیون که برای تبدیل روغن ریز جلبک به بیودیزل دنبال شد عبارت‌اند از: کاتالیزور اسیدی و ۲) زیست کاتالیزور. تأثیرات زیست‌محیطی سناریوهای مختلف در نظر گرفته شده با استفاده از OpenLCA نسخه ۱.۱۰.۳ مورد ارزیابی قرار گرفت، که اتروفیکاسیون و انتشارات اکسیداسیون فتوشیمیایی بالاتر را برای سناریوی ورودی کود با ترانس استریفیکاسیون مبتنی بر کاتالیزور اسیدی برجسته می‌کند. با این حال، کاهش قابل توجهی در تأثیرات زیست‌محیطی با حداقل ردپای GHG با استفاده از فاضلاب برای کشت جلبک‌ها و استری‌سازی از طریق بیوکاتالیست مشاهده شد. ارزیابی چرخه حیات از سه سناریو مختلف، تغییر نیاز انرژی فسیلی را بین ۳.۶ و ۵.۷ MJ/kg و انتشار گازهای گلخانه ای (به عنوان کیلوگرم انتشار CO2 معادل) ۰.۸۵-۱.۴۶ کیلوگرم CO2eq.kg-1 بیودیزل نشان داد. این کاهش نیاز انرژی فسیلی را در حدود ۸۷.۳ درصد در بیوراکتور میکروجلبکی مبتنی بر بستر آزمایشی نشان می‌دهد. سناریوی پساب - بیوکاتالیست بالاترین نسبت انرژی خالص (NER (18.8 را با مزیت اضافی اصلاح هزینه کم فاضلاب نشان داد (Saranya et al., 2020). در مطالعه داسان و همکاران، از رویکرد گهواره به دروازه برای ارائه بینش مناسب در مورد تأثیر سامانه‌های مختلف کشت و بهره‌وری زیست توده نسبت به انرژی چرخه زندگی (LCEA)، تعادل کربن ($LCCO_2$) و اقتصادی (LCC) ریز جلبک‌ها استفاده شد. مسیرهای تولید بیودیزل علاوه بر این، تولید مشترک اتانول زیستی از بقایای ریز جلبک‌ها به منظور بهبود پایداری اقتصادی سیستم کلی پیشنهاد شد. نتایج به‌دست‌آمده در کار حاضر نشان داد که مسیرهای سنتی پردازش سوخت‌های زیستی ریز جلبک‌ها منجر به کاستی‌های متعددی می‌شود، مانند کم‌آبی و استخراج چربی از زیست توده ریز جلبک‌ها که نیاز به انرژی بالایی دارد و نزدیک به ۲۱ تا ۳۰ درصد و ۳۹ تا ۵۷ درصد از کل انرژی مورد نیاز را تشکیل می‌دهد. به ترتیب. علاوه بر این، سیستم تولید سوخت‌های زیستی ریز جلبک‌ها نیز نیازمند سرمایه‌گذاری بالایی بود که ۴۷ تا ۸۶ درصد از کل هزینه‌های تولید را تشکیل می‌داد که متعاقباً منجر به عملکرد ضعیف فنی-اقتصادی شد.

علاوه بر این، تجزیه و تحلیل کنونی جنبه‌های زیست‌محیطی پالایشگاه زیستی ریز جلبک‌ها، تعادل منفی CO_2 را در تولید سوخت‌های زیستی ریز جلبک نشان داد (Dasan et al., 2019).

هدف از این مطالعه بررسی نقش ارزیابی چرخه حیات در بررسی تولید توان پایدار از بیودیزل است. با انجام یک LCA جامع، می‌توان به یک ارزیابی تأثیرات زیست‌محیطی مرتبط با تولید، توزیع و احتراق بیودیزل و شناسایی مناطق بالقوه برای بهبود و بهینه‌سازی دست یافت. این تحقیق ارزیابی دقیق‌تری از اعتبار پایداری بیودیزل را ممکن می‌سازد و بینش‌های ارزشمندی را برای سیاست‌گذاران، محققان و سهامداران صنعت مرتبط با تولید بیودیزل ارائه می‌دهد. روش ارزیابی چرخه حیات به کار گرفته شده در این مطالعه شامل تجزیه و تحلیل از گهواره تا گور است که شامل تمام مراحل چرخه بیودیزل، از جمله تولید مواد اولیه، حمل و نقل، فرایندهای تبدیل، توزیع و احتراق می‌شود. مقوله‌های مختلف تأثیرات زیست‌محیطی، مانند پتانسیل گرمایش جهانی، پتانسیل اسیدی شدن، پتانسیل اتروفیکاسیون و تقاضای انرژی تجمعی را در نظر خواهد گرفت. علاوه بر این، این مطالعه گزینه‌های مختلف مواد اولیه، مسیرهای تولید بیودیزل و فن‌آوری‌های تولید توان را برای ارزیابی تأثیر آن‌ها بر عملکرد کلی محیطی و پایداری سامانه‌های تولید توان مبتنی بر بیودیزل بررسی خواهد کرد.

۲- مواد و روش‌ها

بخش مواد و روش های این مطالعه از دو قسمت کلی تشکیل یافته است. بخشی که از مرور سیستماتیک تبعیت می کند و شاکله اصلی برای سیاهه چرخه حیات تولید بیودیزل از روغن کلزا را تشکیل می دهد و بخشی که از روش ارزیابی چرخه حیات تبعیت می کند و سیاهه تولید پایدار زیست انرژی از بیودیزل تولید شده از روغن کلزا در منطقه مغان را ارزیابی می کند. در ادامه از روش انتخاب ویژگی برای به دست آوردن موثرترین مرحله و ورودی تولید زیست توان در تاثیرات زیست محیطی استفاده می کند.

همانطور که عنوان شده بخش اول این مطالعه از نوع مطالعه مروری نظام‌مند است. برای انجام روش مرور نظام‌مند از روش PRISMA استفاده شد. این روش تمام مراحل مرور نظام‌مند را در قالب یک رویکرد استاندارد دسته‌بندی می‌کند. برای انجام مرور نظام‌مند از پایگاه اطلاعات داده‌ای اسکوپوس و وب آف ساینس استفاده شد. برای جستجو در منابع پایگاه‌های اطلاعاتی (شامل اسکوپوس، وب آف ساینس و ریسرچ گیت) از کلید واژه‌های ارزیابی چرخه حیات، تولید توان پایدار و بیودیزل استفاده شد. روش ارزیابی نظام‌مند PRISMA دارای چهار مرحله اصلی می‌باشد. مرحله اول مرحله شناسایی است. با به کارگیری کلید واژه‌ها در این مرحله تعداد ۱۳۲ مقاله شناسایی شدند. در مرحله دوم و سوم غربالگری انجام گرفت و با بررسی عنوان و چکیده تعداد ۸۱ مقاله نامرتبط و تکراری حذف شدند. در مرحله نهایی که مرحله انتخاب مطالعات برای ارزیابی می‌باشد، تعداد ۱۴ مقاله با مطالعه کامل متن اصلی در پنج سال اخیر انتخاب شدند. این مقالات برای ارزیابی‌های بعدی وارد مرحله تحلیل و استخراج داده شدند.

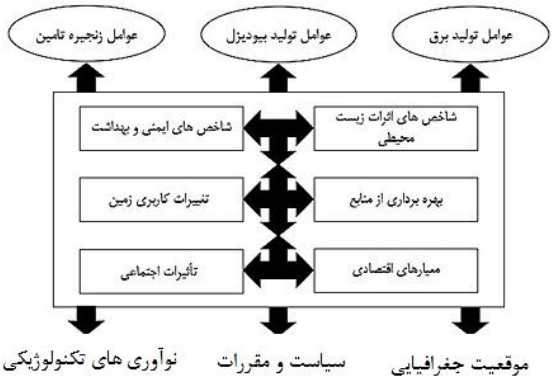
۲-۱- ارزیابی چرخه حیات

ارزیابی چرخه حیات ابزار ارزشمندی برای کسب‌وکارها، سیاست‌گذاران و مصرف‌کنندگان برای تصمیم‌گیری آگاهانه در مورد عملکرد زیست‌محیطی محصولات و خدمات است. با ارائه دیدگاهی جامع از تأثیرات زیست‌محیطی در کل چرخه زندگی، از انتقال به سمت شیوه‌های پایدارتر و سازگار با محیط زیست پشتیبانی می‌کند. در این مطالعه نهاده‌های مورد استفاده در جدول ۱ ارائه شده‌اند.

در این مطالعه روش ارزیابی چرخه حیات با به کارگیری نرم‌افزار Simapro با کمک نهاده‌های ارائه شده در جدول ۲ با آنالیز Impact2002+ انجام گرفت.

نتایج به دست آمده از این مرحله، با پارامترها و متغیرهای مستقل و وابسته مستخرج از مطالعات مختلف ارائه شده در جدول ۱ مورد مقایسه و آنالیز قرار گرفته و پارامترهای مؤثر با به کارگیری روش تحلیل حساسیت شناسایی و استخراج شدند. شکل ۱ متغیرهای مستقل و وابسته مطالعه حاضر را ارائه می‌دهد.

با تعریف نظام‌مند این متغیرهای وابسته و مستقل، این مطالعه می‌تواند روابط، تأثیرات و مبادلات مرتبط با تولید توان پایدار از بیودیزل را تحلیل کند. متغیرهای خاص انتخاب شده به دامنه، اهداف و تمرکز مطالعه بستگی دارد.



شکل ۱- متغیرهای مستقل و وابسته

Fig 1. Dependent and independent variables

جدول ۱- نهاده‌های به کار رفته در این تحقیق

Table 1. The inputs used in this research

ورودی‌ها	خروجی‌ها
مواد اولیه و منابع (Chamkalani et al., 2020; Sajid et al., 2016)	**انتشار (Yaashikaa et al., 2022)**
روغن‌های گیاهی یا چربی‌های حیوانی (مواد اولیه برای تولید بیودیزل) مواد شیمیایی (کاتالیست‌ها، حلال‌ها و غیره) آب برای فراوری انرژی (برق، گرما) برای پردازش نهاده‌های کشاورزی (در صورت وجود، به عنوان مثال، کود برای کشت مواد اولیه)	انتشار گازهای گلخانه‌ای آلاینده‌های هوا آلاینده‌های آب سایر انتشارات مرتبط با تولید توان
حمل و نقل (Garcia et al., 2020)	**پسماند (Jeswani et al., 2020)**
حمل و نقل مواد خام به تأسیسات تولید بیودیزل انتقال بیودیزل به مصرف کنندگان نهایی یا تأسیسات تولید توان	پسماندهای جامد (از کشت مواد اولیه، تولید بیودیزل و تولید توان) پسماندهای مایع (به عنوان مثال، فاضلاب حاصل از پردازش) پسماندهای گازی (به عنوان مثال، از فرایندهای احتراق)
تولید بیودیزل (Hosseinzadeh-Bandbafha, Nizami, et al., 2022)	**تعادل انرژی (Mahmud et al., 2021)**
انرژی ورودی برای ترانس استریفیکاسیون (واکنش شیمیایی برای تبدیل مواد اولیه به بیودیزل) فرایندهای شیمیایی و مواد مصرفی آب برای فرایندهای شستشو و جداسازی خدمات شهری (آب، برق، بخار)	تراز خالص انرژی تولید بیودیزل و تولید توان بازگشت سرمایه انرژی (EROI)
تولید توان (Ghosh et al., 2020)	**نهاده‌های اقتصادی (Ubando et al., 2022)**
انرژی ورودی برای تولید توان (احتراق بیودیزل یا سایر روش‌های تبدیل)	منابع اقتصادی مورد استفاده در فرایندهای تولید ارزش اقتصادی خروجی‌ها (درآمد حاصل از فروش بیودیزل و برق)
توزیع (Puricelli et al., 2021; Puricelli et al., 2022)	**تأثیرات اجتماعی (Mizik & Gyarmati, 2021; Racz et al., 2018)**
انتقال بیودیزل به تأسیسات تولید توان انتقال توان تولید شده به مصرف کنندگان نهایی	جنبه‌های اجتماعی مربوط به اشتغال، تأثیرات جامعه یا سایر عوامل مرتبط

۲-۲- روش انتخاب ویژگی

انتخاب ویژگی فرایندی است که در آن زیر مجموعه‌ای از ویژگی‌های مرتبط از مجموعه اصلی ویژگی‌ها برای بهبود عملکرد مدل و کاهش پیچیدگی محاسباتی انتخاب می‌شود. این امر به ویژه هنگام برخورد با مجموعه داده‌های با ابعاد بالا اهمیت دارد، زیرا ممکن است همه ویژگی‌ها به طور یکسان در قدرت پیش بینی مدل نقش نداشته باشند.

۳- نتایج و بحث

بخش نتایج از دو قسمت کلی تشکیل شده است. قسمت اول به ارائه نتایج مربوط به ارزیابی چرخه حیات می‌پردازد و بخش پایانی به ارائه سیاستگذاری های مقتضی متناسب با مرور سیستماتیک و نتایج به دست آمده می‌پردازد.

۱-۳- نتایج مرور سیستماتیک

در این بخش نتایج به دست آمده از مرحله مرور سیستماتیک ارائه می‌شود. این بخش به ارائه نتایج آماری مربوط به متداول‌ترین روش‌های آنالیز سیاهه چرخه حیات می‌پردازد. ارزیابی این قسمت ضروری است؛ زیرا نوع روش آنالیز می‌تواند در نتیجه به دست آمده تأثیرگذار باشد. جدول ۲ به بررسی روش‌های آنالیز به تفکیک کاربرد آنها می‌پردازد. مطابق با جدول ۲ می‌توان مشاهده کرد روش‌های مختلفی برای ارزیابی سیاهه تولید وجود دارد. در این بخش توضیح مختصری از هر روش ارائه شده است.

جدول ۲- متدهای ارزیابی چرخه حیات به کار رفته در مرور نظام‌مند مطالعه حاضر

Table 2- Life cycle assessment methods used in the systematic review of the present study

نام	مزایا	معایب	کاربرد
ReCiPe	در نظر گرفتن سلامت انسان و تأثیرات اکوسیستم. هماهنگ‌سازی دسته‌بندی‌های تأثیر برای سازگاری بهتر.	روش‌شناسی پیچیده که برای کاربرد به تخصص نیاز دارد. داده فشرده، ممکن است نیاز به ورودی داده‌های قابل‌توجهی داشته باشد.	طراحی و بهبود محصول توسعه سیاست گزارش پایداری شرکتی
IMPACT +2002	طیف گسترده‌ای از دسته‌بندی‌های تأثیر را پوشش می‌دهد. فاکتورهای مشخصه را برای تأثیرات مختلف محیطی فراهم می‌کند.	ممکن است برخی از دسته‌ها در مقایسه با روش‌های جدیدتر فاقد جزئیات باشند. ممکن است برخی از نگرانی‌های نوظهور زیست‌محیطی را در بر نگیرد.	ارزیابی چرخه حیات محصول(LCA) تجزیه‌وتحلیل سیاست محک گذاری صنعت ارزیابی زیست سوخت‌ها
Eco-indicator 99/2006	طیفی از دسته‌بندی‌های تأثیر را در نظر می‌گیرد. هم سلامت انسان و هم تأثیرات اکوسیستم را در نظر می‌گیرد.	ممکن است برخی از مسائل نوظهور را در بر نگیرد. از نظر تنوع منطقه‌ای محدود است.	طراحی زیست‌محیطی برنامه‌ریزی استراتژیک تجزیه‌وتحلیل زنجیره تأمین
CML	توسط یک مؤسسه معتبر ساخته شده است. امکان شناسایی طیف وسیعی از عوامل استرس‌زای محیطی را فراهم می‌کند.	داده فشرده است و ممکن است به اطلاعات دقیق نیاز داشته باشد. در پرداختن به تغییرات منطقه‌ای محدود است.	ردپای محیطی محصول ارزیابی‌های توسعه پایدار پژوهش و دانشگاه
TRACI	بر سلامت انسان و تأثیرات اکوسیستم تمرکز دارد. امکان ارزیابی عوامل استرس‌زای محیطی مختلف را فراهم می‌کند.	از نظر تغییرات جغرافیایی و زمانی محدود است. ممکن است برای کاربرد به تخصص خاصی نیاز داشته باشد.	ارزیابی شیمیایی رعایت مقررات انتخاب مواد

۲-۳- نتایج ارزیابی چرخه حیات

منطقه مغان در شمال اردبیل واقع شده است. این منطقه یکی از قطب‌های کشاورزی در ایران مطرح می‌باشد. در این منطقه گیاه کلزا یکی از اصلی‌ترین دانه‌های روغنی قابل کشت است. بر این اساس، مطالعه پایه بر اساس سیاهه مورد نیاز برای تولید بیودیزل به روش ترانس استریفیکاسیون از دانه کلزا در منطقه مغان است. سیاهه مورد نیاز برای بررسی چرخه حیات تولید بیودیزل از کلزا در این منطقه از بررسی مطالعات انجام شده در جدول ۱ استخراج گردید. جدول ۳ به ارائه سیاهه چرخه حیات برای تولید بیودیزل از دانه کلزا در منطقه مغان می‌باشد. سیاهه تولید بیودیزل شامل کشت کلزا، استخراج روغن کلزا، تولید بیودیزل و تبدیل بیودیزل به توان است. لازم به ذکر است مقادیر نهاده‌های مورد نیاز برای کشت کلزا، استخراج روغن، تولید بیودیزل و تولید توان به کمک روش مصاحبه با گروه متخصص تحت عنوان گروه کانونی به دست آمد.

جدول ۳- چرخه حیات تولید توان از بیودیزل در منطقه مغان (منبع: مرکز تحقیقات جهادکشاورزی)

Table 3. The life cycle of power generation from biodiesel in the Moghan region (Reference: Agricultural Jihad Research Center)

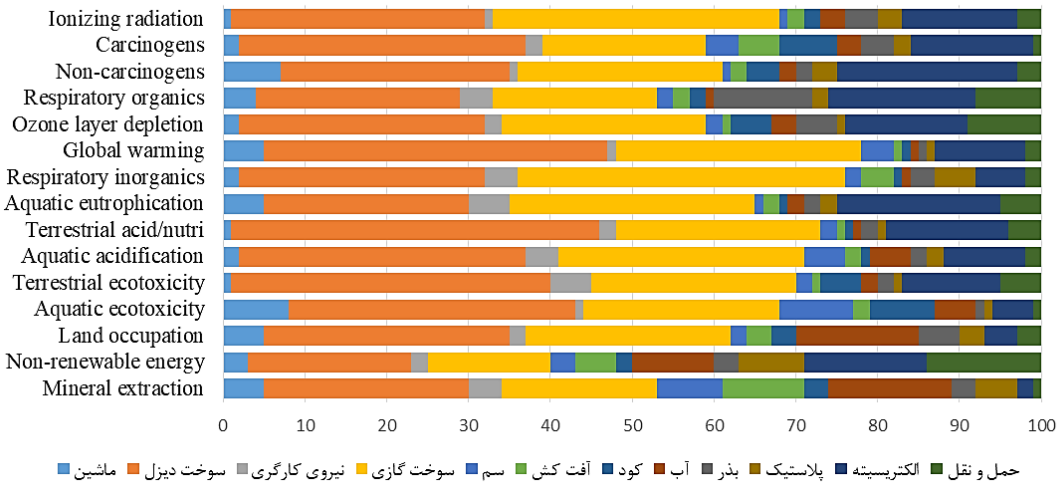
ورودی	واحد	مقدار	ورودی	واحد	مقدار
کلزا			**تولید بیودیزل**		
ماشین	kg	4.58	روغن	kg	1
سوخت دیزل	L	137	آب	m^3	0.001
نیروی کارگری	h	75	NaOH	kg	0.03
سوخت گازی	m^3	258	HCL	kg	0.008
سم	kg	0.25	متانول	kg	0.3
آفت‌کش	kg	0.15	الکتریسیته	kWh	2.5
کود	kg	2800	تولید توان		
آب	m^3	420	ماشین	kg	0.08
بذر	kg	2500	بیودیزل	kg	مطابق با نوع سوخت و بار موتور
پلاستیک	kg	52			
الکتریسیته	kWh	495	سوخت دیزل	kg	مطابق با نوع سوخت و بار موتور
حمل و نقل	t.km	630			
استخراج روغن			**خروجی**		
ماشین	kg	0.05	توان	kW	1
الکتریسیته	kWh	2.5	انتشار CO	g/kWh	مطابق با نوع سوخت
آب	m^3	مطابق با مرحله مورد نظر	انتشار CO2	g/kWh	مطابق با نوع سوخت
دانه روغنی	kg	1.25	انتشار NOx	g/kWh	مطابق با نوع سوخت
			انتشار UHC	g/kWh	مطابق با نوع سوخت

برای انجام ارزیابی چرخه حیات از روش IMPACT2002+ در نرم‌افزار Simapro استفاده شد. این روش تأثیرات چرخه حیات را در دو دسته تأثیرات میانی و تأثیرات پایانی دسته‌بندی می‌کند. IMPACT 2002+ یک روش ارزیابی تأثیر چرخه حیات (LCIA) است که در زمینه ارزیابی چرخه حیات استفاده می‌شود. ارزیابی چرخه حیات یک رویکرد جامع برای ارزیابی جنبه‌های زیست‌محیطی و تأثیرات بالقوه مرتبط با یک محصول، فرآیند یا خدمات در کل چرخه حیات آن، از استخراج مواد خام تا دفع است.

IMPACT 2002+ مجموعه‌ای از روش‌های ارزیابی تأثیرات زیست‌محیطی است که برای تعیین کمیت و ارزیابی تأثیرات بالقوه زیست‌محیطی فعالیت‌های مختلف توسعه یافته است. این چارچوبی برای ارزیابی تأثیرات بالقوه بر محیط زیست در چندین دسته تأثیر ارائه می کند. این دسته‌بندی‌های تأثیر شامل تغییرات آب و هوایی، تخریب لایه ازن، سمیت انسانی، سمیت زیست‌محیطی، اسیدی شدن، اوتروفیکاسیون و کاهش منابع است.

مطابق با شکل ۲، تأثیرات استفاده از پلاستیک و سوخت گازی در کشت کلزا بالاترین تأثیرات میانی را شکل می‌دهند. به طوری که جایگزینی پلاستیک با انواع تجزیه‌پذیر و جایگزینی سوخت گازی با بیوگاز می‌تواند یکی از راه‌های اصلی کاهش تأثیرات میانی در کشت کلزا باشد. با این حال سناریوهای تکمیلی بایستی بررسی شوند تا بتوان در نتیجه آن ها با تأکید بیشتری بحث کرد.

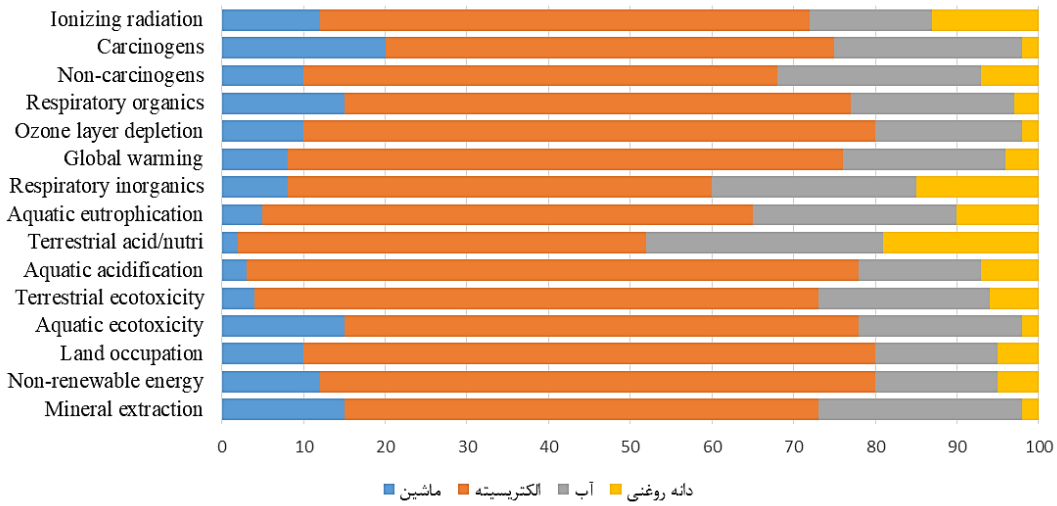
در مطالعه انجام شده توسط سینگلیتیکو و همکاران نتایج حاکی از تاثیر بالای نهاده های به کاررفته برای تامین انرژی در زنجیره تولید زیست سوخت ها از نقطه نظر ارزیابی چرخه حیات بود (Singlitico et al., 2020). در این راستا نتیجه مشابه همچنین در مطالعه بندبافها و همکاران نیز برای تاکید بر تاثیر نهاده های تولید انرژی در راستای تولید زیست انرژی به دست آمد. این یافته ها نشان می دهند تاکید بر تامین انرژی مورد نیاز در فرایند تولید زیست انرژی یکی از چالش های اصلی حداقل از نقطه نظر ارزیابی زیست محیطی می باشد. بر این اساس به کارگیری بخشی از انرژی تولید شده در فرایند تولید زیست انرژی می تواند فرایند تولید را به سمت فرایند تولید پایدار سوق دهد. این یافته در مطالعه انجام شده توسط هاشمی مورد تاکید قرار گرفت (Hashemi, 2021).



شکل ۲- شاخص‌های میانی کشت کلزا

Fig 2. Mid-point indicators of rapeseed cultivation

مطابق با شکل ۳، الکتریسیته بالاترین تأثیر میانی را در استخراج روغن کلزا دارد. برای این روند می‌توان چندین سناریوی اصلاحی را در نظر گرفت. یکی از این سناریوهای سهل‌الوصول تغییر در شیوه و روش استخراج روغن است. می‌توان گفت برای بررسی بیشتر در این حوزه بایستی چندین روش استخراج روغن از نقطه نظر تأثیرات میانی زیست‌محیطی در دستیابی به یک مقدار واحد از روغن استحصالی باهم مورد مقایسه قرار گیرد. سناریوی بعدی جایگزینی منبع تولید الکتریسیته با منابع انرژی‌های تجدیدپذیر است. منبع تولید الکتریسیته در منطقه مغان از نیروگاه سیکل ترکیبی نشات می‌گیرد. این در حالی است که فاصله نیروگاه تا مزارع کشت کلزا قابل تأمل است. این فاصله بالا می‌تواند موجب افت جریان الکتریسیته نیز شود. همچنین این منطقه با توجه به جغرافیایی که دارد می‌تواند منبع مناسبی برای تولید الکتریسیته از طریق انرژی بادی و یا انرژی خورشیدی باشد. بر این اساس تغییر منابع تولید الکتریسیته به این دو منبع می‌تواند در کاهش تأثیرات زیست محیطی استفاده از الکتریسیته در استخراج روغن از کلزا نقش بسزایی داشته باشد.



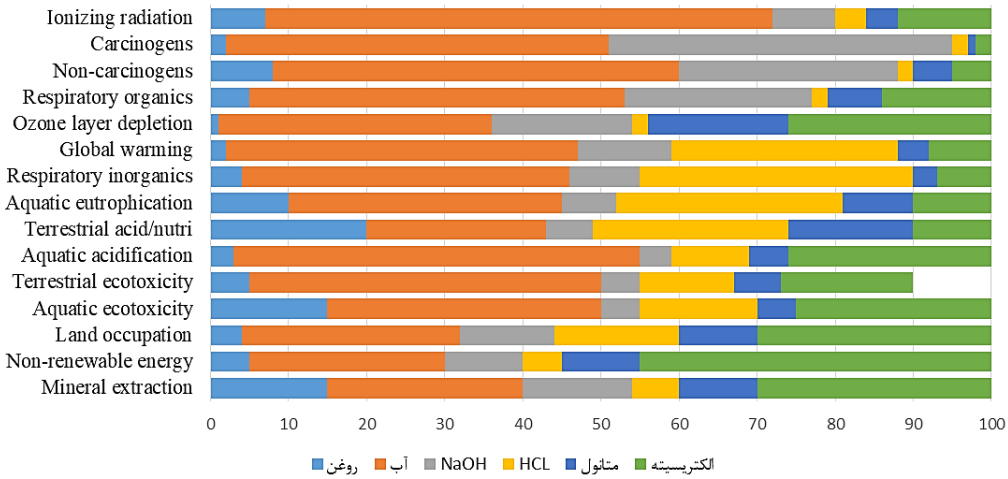
شکل ۳- شاخص‌های میانی استخراج روغن کلزا

Fig 3. Mid-point indicators of rapeseed oil extraction

مطابق با آنچه از شکل ۴ مشخص است، نهاده‌های آب و الکتریسیته بالاترین سهم تأثیرات زیست‌محیطی را در مرحله تولید بیودیزل از روغن کلزا به خود اختصاص داده‌اند. نتایج مشابه همچنین در مطالعه گاسول و همکاران در مورد تولید بیودیزل از روغن کلزا برای منطقه ای از اروپا به دست آمد (Gasol et al., 2012).

این روند نشان دهنده اتلاف بالای منبع آبی و منبع الکتریسیته در تولید بیودیزل به روش ترانس استریفیکاسیون دارد. بر این اساس چندین سناریو بایستی در نظر گرفته شود تا این مشکل مرتفع گردد. یکی از این سناریوها، جایگزینی منبع تولید الکتریسیته با انرژی‌های تجدیدپذیر نظیر باد و خورشید می باشد. این سناریو در مطالعه گوپتا و همکاران مورد تاکید قرار گرفت (Gupta et al., 2022).

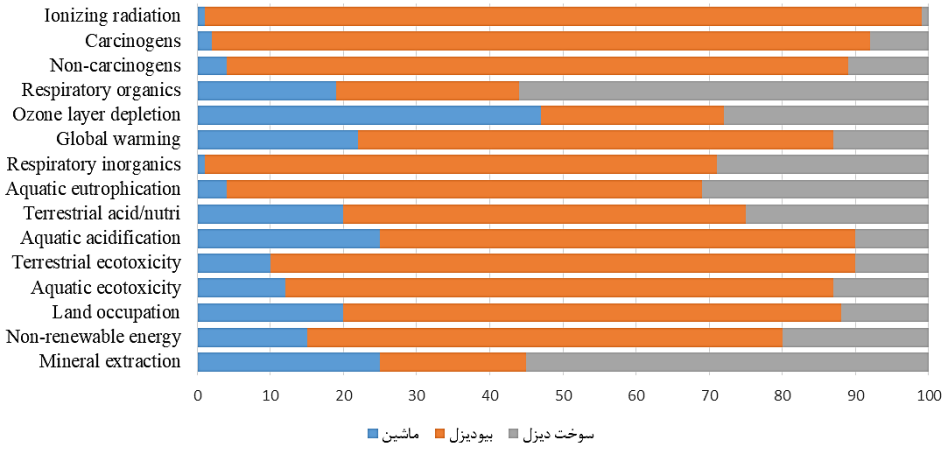
این سناریو باعث می‌شود منابع تولید الکتریسیته نظیر نیروگاه‌های سیکل ترکیبی از میدان خارج شده و بر این اساس تأثیرات میانی شاخص‌های زیست‌محیطی ناشی از تولید الکتریسیته کاهش یابد. همچنین سناریوی دیگر به کارگیری از سیستم تصفیه آب پسماند تولید شده در مراحل مختلف تولید بیودیزل و برگرداندن آن به چرخه تولید بیودیزل یکی دیگر از راهکارهای کاهش تأثیرات زیست‌محیطی مراحل تولید بیودیزل می‌باشد. سناریوی دیگر تغییر روش تولید بیودیزل است. اما بایستی در نظر داشت، این سناریو شاید کمتر باعث کاهش تأثیرات زیست‌محیطی تولید بیودیزل شود. زیرا منبع تولید الکتریسیته همان نیروگاه سیکل ترکیبی و آب مصرفی همان آب شرب است. تغییر منبع آبی نیز می‌تواند موجب تغییر در تأثیرات پایانی در تولید بیودیزل شود.



شکل ۴- شاخص‌های میانی تولید بیودیزل از روغن کلزا

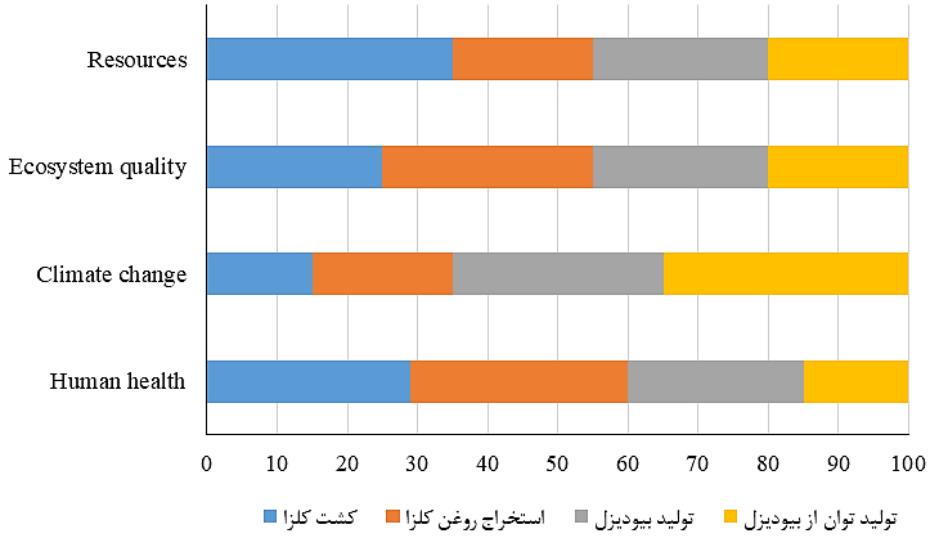
Fig 4. Mid-point indicators of biodiesel production from rapeseed oil

بر اساس آنچه از شکل ۵ مشخص است، بیشترین تأثیر در شاخص‌های میانی تولید توان از بیودیزل حاصل از کلزا مربوط به تأثیرات خود سوخت بیودیزل است. این تأثیرات می‌تواند ناشی از تأثیرات پارامترهای استراتژی خاص تولید بیودیزل باشد. به این معنا که شاید با تغییر استراتژی تولید بیودیزل بتوان این تأثیرات را کاهش داد. روش ترانس استریفیکاسیون یک روش متداول و راحت در تولید بیودیزل مطرح است اما این روش با تولید پسماند و همچنین مصرف بالای انرژی همراه است. بر این اساس همانطور که در شکل ۵ مشخص است تولید بیودیزل در مقیاس بالا و مصرف آن برای تولید توان در مقیاس کلان نمی‌تواند مقرون به‌صرفه از نقطه نظر پارامترهای زیست‌محیطی باشد. بنابراین توصیه می‌شود از روش‌های تولید بیودیزل نظیر BIOX برای تولید و مصرف در مقیاس کلان استفاده شود.



شکل ۵- شاخص‌های میانی تولید توان از بیودیزل روغن کلزا

Fig 5. Inpointediate indicators of power production from rapeseed oil biodiesel



شکل ۶- شاخص‌های پایانی تولید توان از بیودیزل روغن کلز

Fig 6. The end-point indicators of power production from rapeseed oil biodiesel

همانطور که از شکل ۶ مشخص است پراکنش تأثیرات در شاخص‌های مختلف متفاوت است. اما با این حال می‌توان مشاهده کرد تأثیرات غالب مربوط به مرحله تولید توان و مرحله تولید بیودیزل است. این همان گامی است که در مطالعات مختلف به آن اشاره شده است و چالش اصلی در این گام نهفته شده است (Biswas et al., 2011; González-García et al., 2013). برخی از مطالعات این مرحله را به عنوان یک مرحله بحرانی شناسایی کرده اند (Malça et al., 2014).

این دو مرحله می‌توانند در تولید توان پایدار نقش بسزایی داشته باشند. این بررسی نشان می‌دهد که هنوز راه طولانی برای دستیابی به یک شیوه بهینه برای تولید بیودیزل و تولید توان از بیودیزل وجود دارد. چنان چه پارامترهای مختلف در این دو مرحله دخیل هستند و بررسی سناریوهای مختلف برای دستیابی به یک سناریو بهینه می‌تواند کارساز باشد. پس همانطور که واضح است، برای دستیابی به تولید توان پایدار از بیودیزل حاصل از روغن کلزا در منطقه مغان، بایستی تمرکز اصلی بر روی مراحل تولید بیودیزل و تولید توان از بیودیزل قرار گیرد.

۴- نتیجه‌گیری

این مطالعه بر اهمیت استفاده از ارزیابی چرخه حیات (LCA) به عنوان ابزاری محوری برای بررسی جامع پایداری تولید توان از بیودیزل، به‌ویژه در بافت منحصر به فرد منطقه مغان تأکید می‌کند. از طریق یک تجزیه و تحلیل دقیق شامل کل چرخه زندگی بیودیزل، از تولید تا استفاده نهایی، ما بینش‌های ارزشمندی در مورد پیامدهای زیست‌محیطی مرتبط با این منبع انرژی جایگزین به دست آورده ایم. یافته‌های مطالعه موردی تأثیر متقابل پیچیده شیوه‌های کشاورزی محلی، فرایندهای تولید بیودیزل و الگوهای مصرف انرژی ویژه منطقه مغان را نشان می‌دهد. با در نظر گرفتن این تفاوت‌های منطقه‌ای، تحقیقات ما نه تنها به درک گسترده‌تر تأثیر زیست‌محیطی بیودیزل کمک می‌کند، بلکه بینش‌های متناسبی را ارائه می‌دهد که می‌تولند استراتژی‌های انرژی پایدار را در سطح محلی اطلاع‌رسانی کند. شناسایی نقاط بالقوه محیطی و مناطق برای بهبود در چرخه زندگی بیودیزل، امکان مداخلات هدفمند و بهینه‌سازی شیوه‌های پایدار را فراهم می‌کند. این دانش برای سیاست‌گذاران، سهامداران انرژی و جوامع محلی ضروری است زیرا آنها در حال حرکت به سمت راه حل‌های انرژی پاک تر و دوستدار محیط زیست هستند. علاوه بر این، ادغام LCA در تجزیه و تحلیل ما یک ارزیابی دقیق و سیستماتیک را تضمین می‌کند و تصمیم‌گیری آگاهانه را برای منطقه مغان و سایر مناطقی که تولید توان مبتنی بر بیودیزل را بررسی می‌کنند، تسهیل می کند. از آنجایی که جهان با نیاز فوری به جایگزین‌های انرژی پایدار دست و پنجه نرم می‌کند، تحقیقات ما بر اهمیت ارزیابی‌های مربوط به زمینه برای هدایت توسعه سیاست‌های انرژی مؤثر و مسئولانه از نظر زیست‌محیطی تأکید می‌کند. در اصل، این مطالعه نه تنها درک ما را از پیامدهای زیست‌محیطی تولید توان مشتق شده از بیودیزل در منطقه مغان عمیق‌تر می‌کند، بلکه چارچوب ارزشمندی برای

ارزیابی‌های مشـــابه در زمینه‌های جغرافیایی و اجتماعی-اقتصـــادی متنوع فراهم می‌کند. امیدواریم که این یافته‌ها به تلاش جهانی برای گذار به ســـوی آینده انرژی پایدارتر و انعطاف‌پذیرتر کمک کند.

منابع

Al-Aseebee, M. D., Akol, A. M., Naje, A. S. J. E. E., & Technology, E. (2023). *Performance Evaluation of Tractor Engine Using Waste Vegetable Oil Biodiesel for Agricultural Purpose*. Environmental science & technology, 24(2). ttps://doi.org/10.12912/27197050/157100

Biswas, W. K., Barton, L., & Carter, D. (2011). *Biodiesel production in a semiarid environment: a life cycle assessment approach*. Environmental science & technology, 45(7), 3069-3074 . https://doi.org/10.1021/es1031807

Bora, B. J., Sharma, P., Deepanraj, B., & Ağbulut, Ü. J. F. (2023). *Investigations on a novel fuel water hyacinth biodiesel and Hydrogen-Powered engine in Dual-Fuel Model*: Optimization with I-optimal design and desirability. 345, 128057 . https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.128057

Chamkalani, A., Zendehboudi, S., Rezaei, N., Hawboldt, K. J. R., & Reviews, S. E. (2020). *A critical review on life cycle analysis of algae biodiesel :* current challenges and future prospects. 134, 110143 . https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110143

Chaurasiya, S., & Singh, G. (2023). *Life cycle assessment of nanocomposite manufactured using ultrasonic stir casting.* Journal of Materials Science, 58(12), 5298-5318 . https://doi.org/10.1007/s10853-023-08363-0

Dasan, Y. K., Lam, M. K., Yusup ,S., Lim, J. W., & Lee, K. T. J. S. o. t. t. e. (2019). *Life cycle evaluation of microalgae biofuels production: Effect of cultivation system on energy, carbon emission and cost balance analysis*. 688, 112-128 . https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.181

Fuentes, O. P., Cruz, J. C., Mignard, E., Sonnemann, G., & Osma, J. F. (2023). *Life Cycle Assessment of Magnetite Production Using Microfluidic Devices: Moving from the Laboratory to Industrial Scale*. ACS Sustainable Chemistry Engineering, 11(18), 6932-6943 . https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.2c0687

Garcia, R., Figueiredo, F., Brandão, M ,.Hegg, M., Castanheira, É., Malça, J., Nilsson, A., & Freire, F. (2020). *A meta-analysis of the life cycle greenhouse gas balances of microalgae biodiesel.* The International Journal of Life Cycle Assessment, 25, 1737-1748 . https://doi.org/ 10.1007/s11367-020-01780-2

Gasol, C. M., Salvia, J., Serra, J., Antón, A., Sevigne, E., Rieradevall, J., & Gabarrell, X. (2012). *A life cycle assessment of biodiesel production from winter rape grown in Southern Europe*. Biomass and bioenergy, 40, 71-81 . https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.02.003

Ghosh, P., Sengupta, S., Singh, L., & Sahay, A .(2020) . *Life cycle assessment of waste-to-bioenergy processes: A review*. Bioreactors, 105-122 . https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821264-6.00008-5

González-García, S., García-Rey, D., & Hospido, A. (2013). *Environmental life cycle assessment for rapeseed-derived biodiesel.* The International Journal of Life Cycle Assessment, 18, 61-76 . https://doi.org/10.1007/s11367-012-0444-5

Gupta, R., McRoberts, R., Yu, Z., Smith, C., Sloan, W., & You, S. (2022). *Life cycle assessment of biodiesel production from rapeseed oil: Influence of process parameters and scale*. Bioresource Technology, 360, 127532 . https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127532

Hashemi-Nejhad, A., Najafi, B., Ardabili, S., Jafari, G., & Mosavi, A. (2023). *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, 2023 .https://doi.org/10.1155/2023/4630828

Hashemi, F. (2021). *Modeling and investigation of the life cycle of the hybrid power generation process from the diesel engine* .Msc Thesis.University of Mohaghegh Ardabili.

Hashemi, F., Pourdarbani, R., Ardabili, S., & Hernandez-Hernandez, J. L. (2023). *Life Cycle Assessment of a Hybrid Self-Power Diesel Engine*. Acta Technologica Agriculturae, 26(1), 17-28 . https://doi.org/10.2478/ata-2023-000

Hijazi, O., Abdelsalam, E., Samer, M., Attia, Y., Amer, B., Amer, M ,.Badr, M., & Bernhardt, H. J. R. E. (2020). *Life cycle assessment of the use of nanomaterials in biogas production from anaerobic digestion of manure*. 148, 417-424 . https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.10.048

Hnich, K. B., Martín-Gamboa, M., Khila, Z., Hajjaji, N., Dufour, J., & Iribarren, D. (2021).*Life cycle sustainability assessment of synthetic fuels from date palm waste. Science of The Total Environment*, 796, 148961 . https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.14896

Puricelli, S., Cardellini, G., Casadei, S., Faedo, D., Van den Oever, A., & Grosso, M. (2021). *A review on biofuels for light-duty vehicles in Europe.* Renewable and Sustainable Energy Reviews, 137, 110398 . https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110398

Puricelli ,S., Costa, D., Rigamonti, L., Cardellini, G., Casadei, S., Koroma, M. S., Messagie, M., & Grosso, M. J. J. o. C. P. (2022). *Life Cycle Assessment of innovative fuel blends for passenger cars with a spark-ignition engine*: A comparative approach. 378, 13453. https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110398

Racz, L., Fozer, D., Nagy, T., Toth, A. J., Haaz, E., Tarjani, J. A., Andre, A., Selim, A., Valentinyi, N., & Mika, L. T. (2018). *Extensive comparison of biodiesel production alternatives with life cycle, PESTLE and multi-criteria decision analyses.* Clean Technologies and Environmental Policy, 20, 2013-2024 . https://doi.org/10.1007/s10098-018-1527-1

Sajid, Z., Khan, F., & Zhang, Y. (2016). *Process simulation and life cycle analysis of biodiesel production.* Renewable energy, 85, 945-952 . https://doi.org/ 10.1016/j.renene.2015.07.046

Saranraj, I., Ganesan, S., & Pandiyarajan, R. J. P. S . (2023) .*A tribological characteristics and experimental analysis of novel chlorella* biodiesel blends on engine performance. 98(5), 055019 . https://doi.org/10.1088/1402-4896/accabd

Saranya, G., Ramachandra, T. J. E. C., & X, M. (2020). *Life cycle assessment of biodiesel from estuarine microalgae*. 8, 100065 . https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2020.100065

Singh, A. D., Upadhyay, A., Shrivastava, S., & Vivekanand, V. J. B. t. (2020). *Life-cycle assessment of sewage sludge-based large-scale biogas plant.* 309, 123373 . https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123373

Singlitico, A., Goggins, J., & Monaghan, R. F. (2020). *Life cycle assessment-based multiobjective optimisation of synthetic natural gas supply chain: A case study for the Republic of Ireland*. Journal of Cleaner Production, 258, 120652 . https://doi.org/ 10.1016/j.jclepro.2020.120652

Ubando, A. T., Ng, E. A. S., Chen, W.-H., Culaba, A. B., & Kwon, E. E. (2022). *Life cycle assessment of microalgal biorefinery: A state-of-the-art review*. Bioresource technology, 127615 . https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127615

Varling, A. S., Christensen, T. H., & Bisinella, V. J. W. M. (2023). *Life cycle assessment of alternative biogas utilisations, including carbon capture*

Hosseinzadeh-Bandbafha, H., Nazemi, F., Khounani, Z., Ghanavati, H., Shafiei, M., Karimi, K., Lam, S. S., Aghbashlo, M & ,.Tabatabaei, M. (2022). *Safflower-based biorefinery producing a broad spectrum of biofuels and biochemicals: A life cycle assessment perspective*. Science of The Total Environment, 802, 149842 . https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149842

Hosseinzadeh-Bandbafha, H., Nizami, A.-S., Kalogirou, S. A., Gupta, V. K., Park, Y.-K., Fallahi, A., Sulaiman, A., Ranjbari, M., Rahnama, H., & Aghbashlo, M. (2022). *Environmental life cycle assessment of biodiesel production from waste cooking oil: A systematic review.* Renewable and Sustainable Energy Reviews, 161 ,112411 https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112411 .

Jeswani, H. K., Chilvers, A., & Azapagic, A. (2020). *Environmental sustainability of biofuels: a review.* Proceedings of the Royal Society A, 476(2243), 20200351 . https://doi.org/10.1098/rspa.2020.0351.

Mahmud, R., Moni, S. M., High, K., & Carbajales-Dale, M. (2021). I*ntegration of techno-economic analysis and life cycle assessment for sustainable process design–A review.* Journal of Cleaner Production, 317, 128247 . https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128247

Malça, J., Coelho, A., & Freire, F. (2014). *Environmental life-cycle assessment of rapeseed-based biodiesel: Alternative cultivation systems and locations*. Applied energy, 114, 837-844 . https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.06.048

Merlo, S., Gabarrell Durany, X., Pedroso Tonon, A., & Rossi, S. (2021). *Marine microalgae contribution to sustainable development.* Water, 13(10), 1373 . https://doi.org/10.3390/w13101373

Mizik, T., & Gyarmati, G. (2021). *Economic and sustainability of biodiesel production—a systematic literature review*. Clean Technologies, 3(1), 19-36 . https://doi.org/10.3390/cleantechnol3010002

Moioli, S., Hijazi, O., Pellegrini, L. A., & Bernhardt, H. (2020). *Simulation of different biogas upgrading processes and LCA for the selection of the best technology.* 2020 ASABE Annual International Virtual Meeting. https://doi.org/10.13031/aim.202000500

Mortaza, M., Najafi, B., & Faizollahzadeh Ardabili, S. (2023). *Production of biodiesel with waste cooking oil from a life cycle assessment perspective*. Journal of Environmental Science Studies, 8(3), 6962-6967 . https://doi.org/10.22034/jess.2022.346257.180

and storage or utilisation. 157, 168-179 . https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.12.005

Yaashikaa, P., Kumar, P. S., & Karishma, S. (2022). *Bio-derived catalysts for production of biodiesel: A review on feedstock, oil extraction methodologies, reactors and lifecycle assessment of biodiesel*. Fuel, 316, 123379 . https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.123379

Zheng, B., Yu, S., Chen, Z., & Huo, Y.-X. (2022). *A consolidated review of commercial-scale high-value products from lignocellulosic biomass*. Frontiers in Microbiology, 13, 933882 . https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.933882