



Investigating the Effect of using Different Energy Sources on Environmental Indices in Edible Oil Processing

Seyed Yaser Rahmati Khorshidi¹, Hemmatollah Pirdashti^{2*}, Ali Motevali³, Seyed Hashem Samadi⁴ and Benyamin Khoshnevisan⁵

1- Ph.D. Student, Department of Agronomy, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

2- Professor, Department of Agronomy, Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

3- Associate Professor, Department of Mechanical & Biosystems Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

4- Ph.D., Department of Mechanical & Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

5- Assistant Professor, Department of Green Technology (IGT), Life Cycle Engineering, Southern Denmark University, Denmark.

(*- Corresponding author's Email: h.pirdashti@sanru.ac.ir)

How to cite this article:

Received: 03-09-2024

Revised: 17-11-2024

Accepted: 26-11-2024

Available Online: 21-05-2025

Rahmati Khorshidi, S.Y., Pirdashti, H., Motevali, A., Samadi, S.H., & Khoshnevisan, B. (2025). Investigating the effect of using different energy sources on environmental indices in edible oil processing. *Journal of Agroecology*, 17(1), 123-144. (In Persian with English abstract)

<https://doi.org/10.22067/agry.2024.89603.1211>

Introduction

This comprehensive study investigates sustainable energy solutions for rapeseed oil production through a comparative analysis of three distinct operational scenarios: conventional non-renewable energy systems, photovoltaic solar energy implementation, and canola residue gasification technologies. The research was conducted across two major production facilities, Behpak factory in Behshahr, specializing in oil extraction, and Ghoncheh factory in Sari, handling refinement and packaging processes, to evaluate environmental impacts under different energy regimes.

Materials and Methods

Using advanced modeling approaches, the solar photovoltaic system was meticulously designed in HOMER software while gasification processes were simulated through MATLAB, with all primary operational data obtained through extensive interviews with factory engineers. The life cycle assessment (LCA) was performed using SimaPro software with the ReCiPe 2016 model, analyzing every 1000 kg of packaged rapeseed oil output across three



©2023 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

<https://doi.org/10.22067/agry.2024.89603.1211>

fundamental categories: human health consequences, ecosystem quality preservation, and resource utilization efficiency.

Results and Discussion

Simulation results showed that gasification technology achieves optimal performance within an equivalence ratio range of 0.20–0.45, with detailed analysis indicating that exceeding this range significantly reduces both gas yield and system efficiency. At the optimal equivalence ratio of 0.3, the system produced 1,069 kWh of electricity and 2,567 kWh of thermal energy per 1,000 kg of processed oil, representing a substantial improvement over conventional methods. The solar photovoltaic implementation, comprising 5,700 panels, demonstrated remarkable capacity by generating 7.15 million kWh annually, exceeding the factories' energy requirements by 2.9 million kWh. However, an environmental impact analysis revealed crucial differences between the renewable alternatives. While gasification showed a 35% reduction in environmental burdens (45.13 environmental points versus 69.29 points for conventional systems), the solar scenario achieved a more modest 14% improvement. This discrepancy primarily stems from the shift in pollution sources – where conventional systems showed electricity consumption accounting for approximately 50% of environmental impacts across critical categories including global warming potential, ionizing radiation effects, ozone formation, particulate matter generation, terrestrial acidification, ecotoxicity, and fossil resource depletion, the renewable scenarios revealed polyethylene packaging materials as the new dominant pollution source. A detailed examination of impact categories revealed that in renewable energy implementations, polyethylene contributed 60–75% of the remaining environmental burdens, significantly influencing multiple indicators, including climate change metrics, aquatic toxicity parameters, and resource depletion indices. The human health category emerged as the most severely impacted across all scenarios, with particular concern for carcinogenic potential and respiratory effects. Comparative analysis demonstrated that while renewable energy adoption effectively addresses energy-related impacts, it simultaneously highlights material-related challenges that require urgent attention. The gasification scenario, while showing superior overall performance, still exhibited significant impacts from polyethylene inputs, whereas the solar scenario revealed additional concerns related to battery storage systems and water consumption throughout the production chain. These findings carry important implications for sustainable oil production. The study confirms that canola residue gasification represents the most environmentally favorable option among examined alternatives, capable of meeting approximately 50% of energy demands while significantly reducing ecological footprints. Solar photovoltaic systems, while technologically viable and capable of substantial energy generation, show somewhat limited environmental benefits due to persistent packaging-related impacts. Crucially, the research identifies that a comprehensive sustainability strategy must address both energy sources and material inputs, particularly focusing on polyethylene alternatives, to achieve meaningful environmental improvements. The quantitative outcomes provide clear guidance for policymakers and industry stakeholders, with non-renewable systems scoring 69.29 environmental points, gasification at 45.13 points, and solar at 59.48 points in the ReCiPe 2016 evaluation.

Conclusion

This investigation makes significant contributions to the field by: (1) Quantifying the precise equivalence ratio range for optimal gasification of canola residues; (2) Demonstrating the energy surplus potential of solar implementations in industrial oil production; (3) Revealing the critical shift from energy-dominated to material-dominated environmental impacts in renewable scenarios; and (4) Providing concrete data comparing three operational approaches using standardized LCA methodology. The results underscore the necessity of integrated solutions combining optimized energy systems with sustainable material choices to advance environmental performance in edible oil production.

Acknowledgments

We would like to acknowledge Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (SANRU) for the financial support and Behpak and Ghonchek factories for their collaboration.

Keywords: Gasification, Non-renewable energy, Oil extraction, Photovoltaic

مقاله پژوهشی

جلد ۱۷، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، ص ۱۴۴-۱۲۳

بررسی اثرات به‌کارگیری منابع مختلف انرژی بر شاخص‌های محیط زیستی فرآیند تولید روغن خوراکی

یاسر رحمتی خورشیدی^۱، همت‌الله پیردشتی^{۲*}، علی متولی^۳، سیدهاشم صمدی^۴، بنیامین خوشنویسان^۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۰۶

چکیده

روغن‌های خوراکی یکی از مواد غذایی مهم در زنجیره تغذیه انسان‌ها بوده و با توجه به افزایش روزافزون جمعیت، نیاز به این ماده غذایی افزایش یافته است. افزایش ظرفیت در زنجیره تولید روغن‌های خوراکی در کارخانه‌های روغن‌کشی، نیازمند مصرف بالای منابع انرژی تجدیدناپذیر بوده و این امر به تولید آلاینده‌های بیشتر و اثرات سوء زیست‌محیطی منجر می‌شود. در مطالعه حاضر، اثرات زیست‌محیطی فرآیند تولید روغن از دانه‌های کلزا در دو کارخانه بهپاک بهشهر (فرآیند تولید روغن کشتی) و غنچه ساری (فرآیند تصفیه و بسته‌بندی) در استان مازندران با سناریوهای مختلف تأمین انرژی (استفاده از انرژی‌های تجدیدناپذیر، انرژی خورشیدی فتوولتاییک و انرژی تولیدی از پسماندهای کلزا با فناوری گازی‌سازی) بررسی شد. فرآیند طراحی سامانه خورشیدی فتوولتاییک برای تأمین انرژی کارخانه‌ها در نرم‌افزار Homer و تولید انرژی از پسماندهای کلزا در سامانه گازی‌سازی در نرم‌افزار متلب شبیه‌سازی شدند. همچنین داده‌های مورد نیاز در این پژوهش با استفاده از پرسش‌نامه و مصاحبه حضوری با مهندسان این دو کارخانه به‌دست آمد. ارزیابی اثرات زیست‌محیطی به‌ازای واحد کارکردی ۱۰۰۰ کیلوگرم روغن کلزا بسته‌بندی شده و با استفاده از مدل ReCiPe 2016 موجود در نرم‌افزار سیماپرو (SimaPro) انجام و نتایج ارزیابی در سه گروه آسیب به سلامت انسان، کیفیت بوم‌نظام و منابع ارائه شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که استفاده از پسماندهای کلزا به‌عنوان تأمین ۱۰۰ درصد انرژی می‌تواند منبع قابل اعتمادی برای کارخانه‌های روغن‌کشی باشد، اما در عین حال، منبع انرژی خورشیدی تنها قادر به تأمین حدود ۵۰ درصد (با توجه به شرایط اقلیمی و اقتصادی) از انرژی مورد نیاز کارخانه می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که بالاترین و پایین‌ترین اثرات زیست‌محیطی به‌ترتیب در شرایط استفاده از انرژی‌های تجدیدناپذیر و به‌کارگیری فناوری گازی‌سازی به‌میزان ۶۹/۲۹ و ۱۳/۴۵ Pt به‌دست آمد. همچنین در هر سه سناریو، تأمین انرژی رده خسارت به سلامتی انسان بالاترین میزان آسیب را در مقایسه با دو رده خسارت دیگر (بوم‌نظام و منابع) به خود اختصاص داد.

واژه‌های کلیدی: انرژی تجدیدناپذیر، روغن‌کشی، فتوولتاییک، گازی‌سازی

مقدمه

دانه‌های روغنی به‌عنوان منبع مهم روغن‌های خوراکی، بعد از غلات به‌عنوان دومین منبع تأمین انرژی در تغذیه انسان مطرح می‌باشد. همچنین کنجاله این دانه‌ها، به‌دلیل بالا بودن میزان پروتئین در جیره غذایی دام و طیور مصرف می‌شود (Makkar, 2018). مطابق آمار فائو مصرف روغن‌های خوراکی در جهان در سال‌های ۲۰۲۴-۲۰۲۳ حدود ۲۰۰ میلیون تن می‌باشد که از این میزان به‌ترتیب روغن پالم (*Elaeis guineensis* Jacq.) ۳۷ درصد، روغن سویا [*Glycine max* (L.) Merr.] ۲۸ درصد، روغن کلزا

- ۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
 - ۲- استاد، گروه زراعت، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
 - ۳- دانشیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
 - ۴- دکتری، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
 - ۵- استادیار، بخش فناوری‌های سبز، دانشگاه دانمارک جنوبی، دانمارک
- (Email: h.pirdashti@sanru.ac.ir)
* - نویسنده مسئول:

تأمین انرژی یک واحد ممکن است با عدم قطعیت همراه باشد. یکی از بهترین راهکارها برای رفع این مشکل، طراحی یک سامانه ترکیبی فسیلی-خورشیدی است، به طوری که از تمام ظرفیت‌های منابع تجدیدپذیر دارای پتانسیل استفاده شود (Pourbehzadi et al., 2019). در کنار استفاده از انرژی تجدیدپذیر خورشیدی، یکی دیگر از انرژی‌های تجدیدپذیر در حال رشد، انرژی حاصل از زیست‌توده است (Basappaji & Nagesha, 2013). بقایا و پسماندهای حاصل از کاه و کلش گیاهان مانند کلزا می‌توانند منبع مهمی از زیست‌توده باشند. منابع زیست‌توده، انرژی را به صورت قابل توجهی در خود ذخیره کرده و در مواقع نیاز بازپس می‌دهند و کاهش اثرات گلخانه‌ای را در پی دارند (Sarasuk & Boonrod, 2011; Mofijur et al., 2019). از سوی دیگر، مصرف بالای انرژی در فرآیند تولید روغن سبب ایجاد آلاینده‌های مختلف زیست‌محیطی شده و در دهه‌های اخیر، آگاهی زیست‌محیطی افراد و تقاضا برای کالاهای دوست‌دار محیط‌زیست سبب شده است تا متخصصان حوزه کشاورزی توجه بیشتری به چنین تولیداتی داشته باشند (Khoshnevisan et al., 2015). در حال حاضر، شاخص‌های زیست‌محیطی در تولید محصولات مختلف کشاورزی و مواد غذایی، از مؤلفه‌های اصلی در سیاست‌های کلان جهانی بوده و بسیاری از مؤلفه‌های دیگر را تحت تأثیر قرار داده است. در دهه اخیر، روش ارزیابی چرخه‌حیات (LCA) به عنوان ابزار مناسبی برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی در کشاورزی به کار برده شده است. این ابزار، روش مناسبی برای مقایسه سامانه‌های مختلف تولید محصولات کشاورزی و مواد غذایی می‌باشد (Motevali et al., 2019; Alishah et al., 2019; Keikha et al., 2023; Nasrollahi et al., 2023). بررسی اثرات محیط زیستی در فرآیند تولید روغن از سویا از مزرعه تا کارخانه در استان اصفهان نشان داد که در مرحله مزرعه‌ای استفاده از کودهای شیمیایی و سوخت دیزل، در مرحله روغن‌کشی و تصفیه استفاده از احتراق گاز طبیعی به منظور عملیات حرارتی و در مرحله بسته‌بندی استفاده از پلاستیک و کارتن بالاترین سهم در ایجاد شاخص‌های زیست‌محیطی داشتند (Khanali et al., 2018). در پژوهشی دیگر، اثرات زیست‌محیطی تولید روغن از آفتابگردان با استفاده از فناوری‌های مختلف خورشیدی به منظور تأمین انرژی در فرآیند کشاورزی تولید این دانه‌ها و همچنین در فرآیند روغن‌کشی آن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که ۸۶ درصد از کل انرژی در فرآیند تولید روغن مربوط به بخش کشاورزی بود و از

Helianthus) روغن آفتابگردان (Brassica napus L.) ۱۲ درصد، روغن آفتابگردان (*annuus L.*) ۱۰ درصد و سایر روغن‌ها ۱۳ درصد را به خود اختصاص داده‌اند (FAO, 2023). زنجیره تأمین روغن‌های خوراکی شامل تأمین و یا تولید مواد اولیه زنجیره در بخش کشاورزی (تولید دانه‌های روغنی و روغن خام) و بخش دوم زنجیره تأمین فرآورده‌های روغن‌های خوراکی شامل استخراج و روغن‌کشی و سپس تصفیه، تهیه و بسته‌بندی برای عرضه به بازار می‌باشد.

فرآیند روغن‌کشی شامل عملیات‌های فیزیکی، مکانیکی، فرآیندهای شیمیایی و استفاده از حلال می‌باشد. فرآیندهای مکانیکی شامل شست‌وشو، پیش‌فرآوری، فشردن و استخراج از دانه‌های روغنی و عملیات مختلف شیمیایی شامل خنثی‌سازی، بی‌رنگ‌سازی، موم‌زدائی، هیدروژناسیون، بی‌بوسازی، بی‌رنگ‌سازی مجدد و بسته‌بندی روغن نباتی خام می‌باشد (Safiuddin, 2009). از مزایای این روش (روش مکانیکی) می‌توان به راندمان بیشتر استحصال روغن و واسرشت‌سازی^۱ پروتئین اشاره کرد. این روش دارای معایبی نیز می‌باشد که از آن جمله می‌توان به هزینه بالای ساخت تجهیزات مورد استفاده و بالا بودن مصرف انرژی اشاره نمود (Malek, 2009).

بررسی‌های میدانی نشان می‌دهد که در دو بخش روغن‌کشی و تصفیه آن، انرژی بالایی صرف شده و در حال حاضر، این انرژی‌ها به صورت انرژی الکتریسیته و گاز طبیعی برای این صنعت تأمین می‌گردد. سوخت‌های فسیلی از منابع اصلی ایجاد اثرات زیست‌محیطی در تولید دانه‌های روغنی و فرآیند روغن‌کشی هستند (Mirhaji et al., 2013). از طرف دیگر، سوخت‌های فسیلی بزرگ‌ترین منبع اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای بوده و سلامتی بشر و محیط زیست را تهدید می‌کنند (Fathollahi et al., 2016). با توجه به محدودیت منابع طبیعی و زوال ذخایر سوخت‌های فسیلی، استفاده بهینه از این منابع امری بدیهی و الزامی است (Erfani et al., 2017). نگرانی‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر در تولید محصولات مختلف کشاورزی و مواد غذایی، ورود به مسیر استفاده حداکثری از منابع تجدیدپذیر خورشیدی و زیست‌توده را برای تولید انرژی پاک و کم کربن توسط کشورهای مختلف ضروری می‌سازد (Luderer et al., 2019). در عین حال، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی به علت تغییرات فصلی و شرایط آب‌وهوایی، ماهیتی متناوب در تولید انرژی داشته و به همین علت در

یکی از اجزاء اصلی این فرآیندها به‌شمار می‌آید. از آن‌جا که در حال حاضر تأمین انرژی برای تولید روغن‌های خوراکی بر پایه انرژی‌های تجدیدناپذیر مانند الکتریسته و گاز طبیعی می‌باشد، لذا انرژی و آلاینده‌های تولیدی در اثر به‌کارگیری این انرژی‌ها در فرآیند تولید این محصول اهمیت بسیار زیادی دارند، بنابراین در پژوهش حاضر به بررسی اثرات زیست‌محیطی به‌کارگیری انرژی تجدیدپذیر خورشیدی برای تأمین الکتریسته و همچنین با استفاده از فرآیند گازی‌سازی پسماندهای تولیدی کلزا به‌منظور تأمین انرژی مورد نیاز (الکتریسته و حرارت) زنجیره تولید روغن پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر به‌منظور ارزیابی اثرات زیست‌محیطی زنجیره تولید روغن خوراکی از دانه‌های کلزا در دو کارخانه بهپاک (فرآیند روغن-کشی) و غنچه (فرآیند تصفیه و بسته‌بندی) انجام شد. اطلاعات مورد نیاز با استفاده از روش‌های مختلفی از جمله تکمیل پرسش‌نامه، اطلاعات ثبت‌شده، گفتگو و مصاحبه با کارشناسان کارخانه، استفاده از آمار موجود در کتابخانه‌ها و برخی پایگاه‌های داده جمع‌آوری شد.

ارزیابی چرخه‌حیات

ارزیابی چرخه‌حیات (LCA) بر پایه استاندارد ISO 14040 یکی از روش‌های مهم و مدرن برای بررسی پایداری زیست‌محیطی در تولید محصولات (ISO 14040, 2006) و با استفاده از نرم‌افزار SimaPro 9.0 انجام شد. ارزیابی چرخه‌حیات دارای چهار مرحله ۱- تعیین هدف و حوزه مطالعه، ۲- ممیزی چرخه‌حیات (LCI)، ۳- ارزیابی اثر (LCIA) و ۴- تفسیر می‌باشد (Georgiopoulou & Lyberatos, 2018).

تعریف هدف، دامنه کاربرد یا مرز سامانه

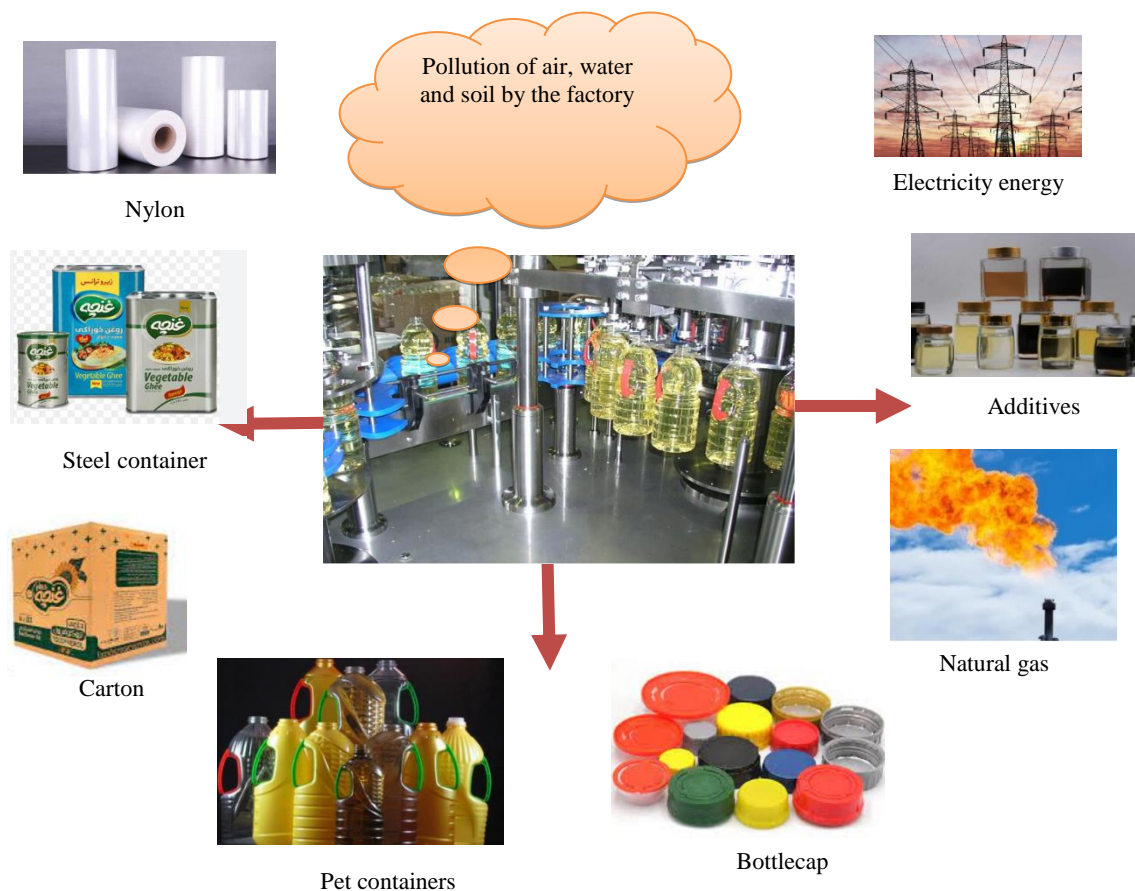
اولین مرحله از ارزیابی چرخه‌حیات، تعیین هدف بوده (Soheili & Nabavi-Pelesaraei et Fard & Kouchaki-Penchah, 2015) و بر این اساس، محصول نهایی مورد انتظار، مرزهای سامانه مورد مطالعه و واحد کارکردی براساس دستورالعمل پیشنهادی سامانه داده‌های بین‌المللی چرخه‌حیات (IRLCDS) مشخص شد (Khoshnevisan et al., 2013). نمودار روندنمای تولید روغن طی در دو مرحله روغن‌کشی (شکل ۱) و تصفیه و بسته‌بندی (شکل ۲) آورده شده است.

این بین، انرژی الکتریسته با سهم ۳۲ درصد بالاترین نقش در ایجاد شاخص‌های زیست‌محیطی داشت. همچنین، نتایج نشان داد که ۹۰ درصد از سهم سلامتی انسان‌ها و کیفیت بوم‌نظام و ۵۰ درصد از سهم شاخص تغییرات اقلیم مربوط به آلاینده‌های مستقیم از سطح مزرعه بود. از سوی دیگر، در ارزیابی استفاده از سامانه‌های خورشیدی، نتایج نشان داد که استفاده از صفحات خورشیدی فتولتاییک نسبت به صفحات خورشیدی فتولتاییک-حرارتی، آلاینده‌های پایین‌تری تولید کرده و به‌عنوان سناریوی دوست‌دار محیط‌زیست معرفی شد (Nabavi-Pelesaraei et al., 2021). در تحقیقی دیگر تحت عنوان بررسی اثرات زیست‌محیطی تولید توت‌فرنگی (*Fragaria × ananassa* Duch.) با استفاده از انرژی خورشیدی در قالب استفاده از صفحات فتولتاییک و فتولتاییک-حرارتی نشان داده شد که استفاده از سوخت دیزل در سناریوی استفاده از انرژی الکتریسته بر پایه سوخت فسیلی بالاترین سهم در ایجاد شاخص‌های سوء زیست‌محیطی داشت. همچنین از بین دو سناریو استفاده از انرژی الکتریسته خورشیدی (فتولتاییک و فتولتاییک-حرارتی) نشان داده شد که استفاده از صفحات خورشیدی فتولتاییک حرارتی، اثرات سوء زیست‌محیطی پایین‌تری نسبت به استفاده از صفحات فتولتاییک داشت (Hosseini-Fashami et al., 2019). در مطالعات زیادی، ارزیابی چرخه‌حیات برای گازی‌سازی از منابع زیستی مختلف صورت گرفته است. گازی‌سازی فرآیندی است که زیست‌توده یا سوخت سنگواره‌ای بر پایه کربن را به کربن مونوکسید، هیدروژن و کربن دی‌اکسید تبدیل می‌کند. اگر ترکیبات گازی از زیست‌توده به‌دست آمده باشد، نیروی به‌دست آمده از گازی‌سازی و احتراق آن عنوان یک منبع انرژی تجدیدپذیر در نظر گرفته می‌شود (Li et al., 2020).

نتایج پژوهش المسیا و همکاران (Alamsyah et al., 2015) در یک مطالعه تجربی روی تولید گاز مصنوعی^۲ از طریق گازی‌سازی پلت‌های زیست‌توده از بقایای سویا، باگاس، کاه برنج (*Oryza sativa* L.) و بقایای ذرت (*Zea mays* L.) و پوسته نخل (*Phoenix dactylifera* L.) نشان دادند که آلاینده‌های گازی‌سازی این زیست‌توده‌ها مطابق با استاندارد کیفیت آلاینده‌ها می‌باشد. بررسی مطالعات انجام‌شده نشان از آن دارد که مصرف انرژی در فرآیند صنعتی تولید روغن‌های خوراکی (فرآیند روغن‌کشی و تصفیه آن)

1- Gasification

2- Syngas

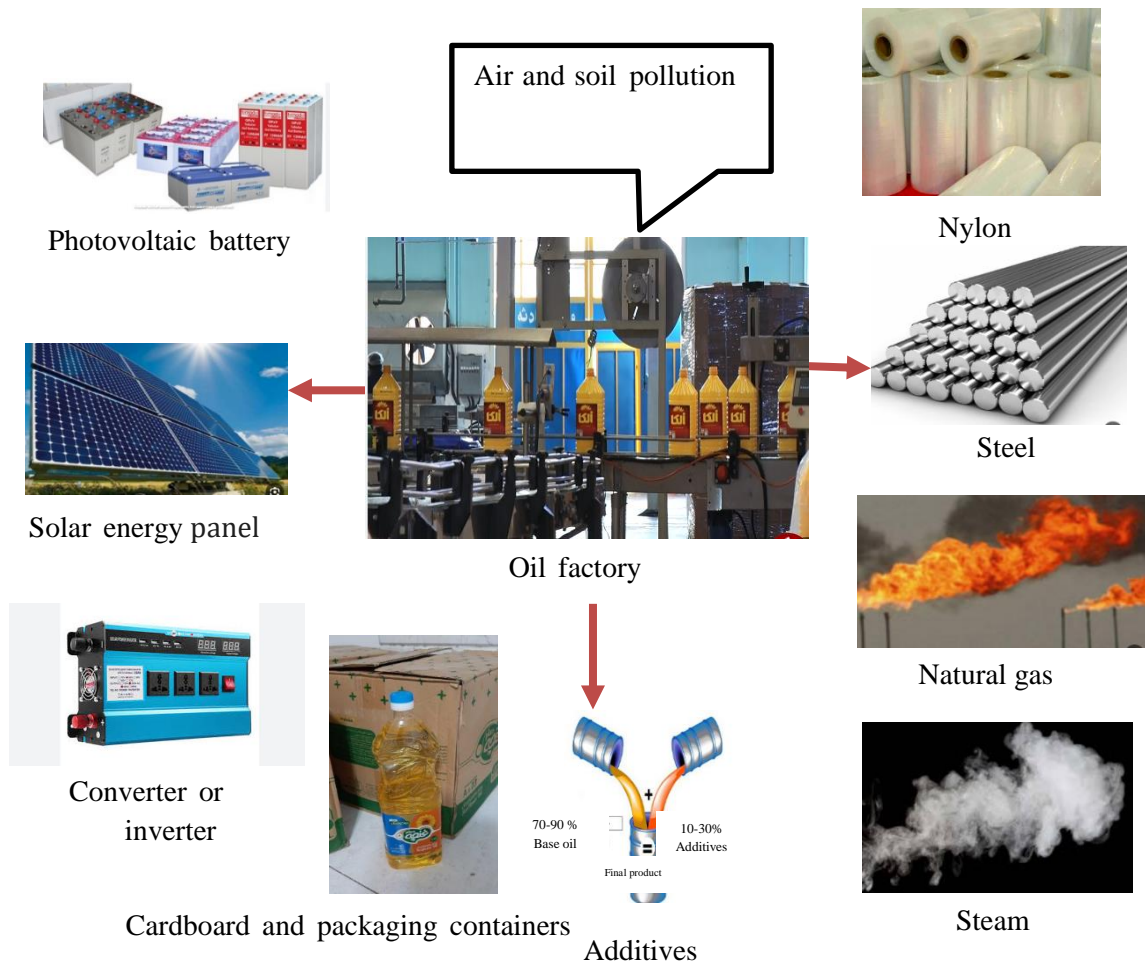


شکل ۳- مرز سامانه در سناریوی اول (حالت مرسوم: تأمین انرژی با استفاده از انرژی‌های تجدیدناپذیر)

Fig. 3- System boundary in the first scenario (conventional mode: Energy supply using non-renewable energies)

محاسبه ارزش حرارتی گاز سنتز تولیدی و مقادیر گازهای تولیدی، آنالیز نهایی و تقریبی بقایای کلزا انجام شد (جدول ۱). در سناریوی سوم (استفاده از انرژی خورشیدی) با استفاده از نرم‌افزار Homer که نرم‌افزاری جامع و کامل است، می‌توان تعداد پنل‌های خورشیدی و تجهیزات مربوطه را با توجه به نیاز کارخانه طراحی کرد. نرم‌افزار هومر که توسط دپارتمان ملی انرژی تجدیدپذیر آمریکا در سال ۲۰۰۹ به‌وجود آمده است، با داشتن کتابخانه کاملی از انواع مراجع تولید توان و فناوری‌های مربوط به آن، در عین سادگی، امکانات بی‌نظیری را نیز در اختیار کاربر قرار دهد. از این نرم‌افزار برای طراحی و شبیه‌سازی نیروگاه خورشیدی اعم از متصل به شبکه و جدا از شبکه در سطوح کیلوواتی و مگاواتی استفاده می‌شود. در این نرم‌افزار، ابتدا شرایط جغرافیایی و آب‌وهوایی کارخانه‌های روغن‌کشی مورد نظر از نظر پتانسیل احداث یک نیروگاه فتوولتاییک از پایگاه Meteororm استخراج شد.

مرز سامانه در پژوهش حاضر، کارخانجات تولید روغن و بسته‌بندی (شکل‌های ۳، ۴ و ۵) و واحد کارکردی به‌منظور بررسی اثرات زیست‌محیطی به‌ازای یک تن روغن بسته‌بندی و تصفیه‌شده در نظر گرفته شد. سامانه گازی‌سازی دارای چهار مرحله ۱- خشک‌شدن سوخت، ۲- تجزیه در اثر حرارت، ۳- احتراق و ۴- کاهش می‌باشد. در این مطالعه به‌ازای واحد کارکردی (مقدار تولید ۱۰۰۰ کیلوگرم روغن خوراکی) حاصل از گیاه کلزا به‌میزان حدوداً ۲۰۰۰ کیلوگرم دانه روغنی کلزا (میانگین ضریب تبدیل ۵۰ درصد) مورد نیاز است. از این میزان دانه روغنی، ۲۷۷۵ کیلوگرم بقایای کلزا در مزرعه باقی می‌ماند. میزان گاز تولیدی از این بقایا، جهت استفاده در یک موتور-ژنراتور با استفاده از روش‌های پیش‌بینی تولید گاز سنتز و ارزش حرارتی گاز حاصل از بقایای کلزا با استفاده از فناوری گازی‌سازی (روش معادله ترمودینامیکی تعادلی) به‌دست می‌آید (Samadi et al., 2020). برای



شکل ۴- مرز سامانه در سناریوی دوم (تأمین انرژی با استفاده از انرژی فتوولتائیک خورشیدی)
 Fig. 4- System boundary in the second scenario (energy supply using solar photovoltaic energy)

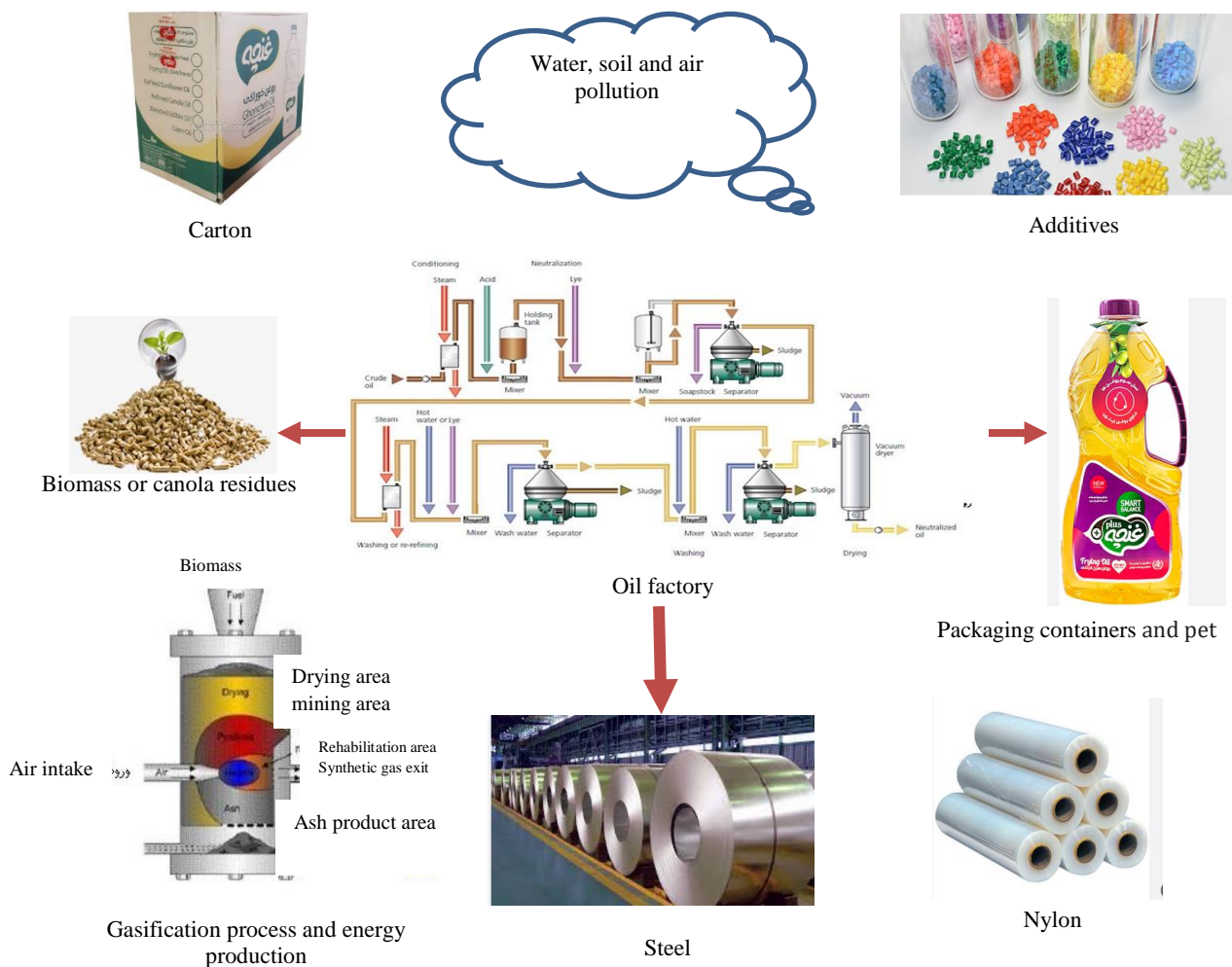
جدول ۱- آنالیز نهایی و تقریبی بقایای کلزا

Table 1- Final and approximate analysis of rapeseed residues

ارزش حرارتی Thermal value	آنالیز تقریبی Approximate analysis (wt%)					آنالیز نهایی Final analysis (wt%)				
	ارزش حرارتی ناخالص HHVdry (Mj.kg ⁻¹)	رطوبت Humidity	خاک ستر Ash	ماده فرار Volatile substance	کربن تثبیت شد ه Fixed C	کربن C	هیدروژن H	نیتروژن N	گوگرد S	اکسیژن O
	14.04	6.18	5.01	62.89	25.55	40.94	5.52	0.8	0.53	51.53

و تعداد صفحات خورشیدی مورد نیاز تأمین تمام نیاز در هر لحظه از شبانه‌روز و ذخیره انرژی اضافه در باتری‌ها و/یا انتقال توان تولیدی بیشتر از توان مصرفی به شبکه سراسری نیز در نظر گرفته شد (Sami Hesar et al., 2018).

در ادامه، پارامترهای مهم آن به‌منظور طراحی نیروگاه به‌عنوان نهاده ورودی در نرم‌افزار هومر وارد شد. یکی از مهمترین مراحل، تعیین زاویه و سمت (جهت) پنل‌های فتوولتاییک بود. در مرحله تعیین بهترین زاویه و سمت ماژول‌های فتوولتاییک، رویکرد بیشینه سازی تولید انرژی سالیانه مد نظر قرار گرفت. به‌منظور تعیین مساحت



شکل ۵- مرز سامانه در سناریوی سوم (تأمین انرژی با استفاده از فناوری گازی سازی پسماندهای کلزا)
 Fig. 5- System boundary in the third scenario (energy supply using rapeseed waste gasification technology)

استاندارد ISO 14040 بود (Brentrup et al., 2004). نتیجه اصلی این بخش، ارائه فهرستی از ورودی‌ها (مواد و انرژی) و خروجی‌های (انتشار به محیط زیست) کمی شده بر مبنای واحد کارکردی است که به‌عنوان ورودی برای مرحله ارزیابی اثرات در نظر گرفته می‌شود (Guinee & Lindeijer, 2002).

تحلیل سیاهه

این مرحله شامل داده‌های مربوط به منابع ورودی به کارخانه‌ها (گاز طبیعی، هگزان، تجهیزات کارخانه، الکتریسیته و ...) و انتشار آلاینده‌های حاصل از مصرف منابع ورودی و هر یک از فعالیت‌های مرتبط با تولید نهایی محصول و براساس واحد مرجع، مطابق با

جدول ۲- میزان تخصیص داده‌های مورد استفاده در زنجیره تولید روغن (سناریوی اول)

Table 2- The amount of data allocation used in the oil production chain (first scenario)

نوع ماده مصرفی Type of consumable	واحد Unit	میزان Value
هگزان Hexane	Lit	5.8
کل گاز مصرفی Total gas consumption	m ³	48.02
کل برق مصرفی Total electricity consumption	kW	245.4
بخار مصرفی Consumable steam	kg	68
نیروی کارگری Labor force	work day	3.8
موتور الکتریکی Electric motor	kg	0.14
استیل Steel	kg	0.24
آهن و فلزات Iron and metals	kg	0.36
اسید سیتریک Citric acid	kg	0.1
اسید فسفریک Phosphoric acid	kg	0.75
انواع اسید Types of acids	kg	1
سودکاستیک مایع با بومه ۱۳ Liquid caustic soda with boheme 13	kg	6.46
خاک پرلیت Perlite soil	kg	5.44
خاک بنتونیت Bentonite soil	kg	3.5
آنتی اکسیدانت جامد - خوراکی Solid antioxidant - edible TBHQ	kg	0.08
پروپیلن گلیکول خوراکی Oral propylene glycol	kg	0.12
نیروی انسانی Labor force	work day	3.2
موتور الکتریکی Electric motor	kg	0.11
استیل Steel	kg	0.13
آهن و فلزات Iron and metals	kg	0.19
مس Copper	kg	0.028
انواع چسب نواری Types of adhesive tape	kg	0.5
چسب لیبل Label glue	kg	0.03
درب باطری battery door	kg	4.6

کارتن Carton	kg	12.2
لیبل Label	kg	0.63
نایلون کیسه ای Nylon bag	kg	1.55
p.e.t	kg	27.29
p.e.t مستریج زرد Yellow masterbatch p.e.t	kg	0.28
کل آب مصرفی Total water consumption	m ³	2.77

جدول ۳- مواد استخراج شده در سامانه گازی‌سازی انرژی زیست توده بقایای کلزا

Table 3- Extracted materials in the biomass energy gasification system of rapeseed residues

مواد مورد استفاده Materials used	واحد (کیلوگرم) Unit (kg)
ذخیره‌سازی زیست توده Biomass Storage	0.0004
موتور Motor	0.000018
کمربند Belt	0.00005
نوار نقاله زیست توده Biomass conveyor	0.0004
گازساز زیست توده Biomass gasifier	0.012
گرد و غبار سیکلون Cyclone dust collector	0.0005
کولر هوا Air cooler	0.004
کولر گازی Gas cooler	0.005
ESP	0.008
کولر گازی Gas cooler	0.006
گاز خشک کن Gas dryer	0.001
مخزن بافر Buffer tank	0.002
مشعل گاز Gas flare	0.00005
مجموعه ژنراتور گاز Gas generator sets	0.0225
دمنده Blower	0.00008

می‌گیرند.

همه مواد و نهاده‌های موجود در جدول ۲ (به‌جز نهاده‌های انرژی مانند الکتریسیته و گاز مصرفی) در طول دوره تولید روغن از کلزا در قسمت‌های ورودی، تصفیه و پالایش، تولید نهایی و بسته‌بندی در

داده‌های مورد استفاده در بخش کاربرد انرژی الکتریسیته برای

تولید روغن از کلزا در جدول ۲ دسته‌بندی شد. همه مواد و نهاده‌های موجود در این جدول در طول دوره تولید روغن از کلزا در قسمت‌های ورودی، تصفیه و پالایش، تولید نهایی و بسته‌بندی مورد استفاده قرار

در ادامه، داده‌های ورودی برای سناریوی سوم که استفاده از انرژی خورشیدی برای تأمین انرژی الکتریکی در فرآیند تولید می‌باشد، در جدول ۴ آورده شده است.

سناریوی دوم و سوم مورد استفاده قرار خواهند گرفت. همچنین داده‌های دیگر ورودی برای سناریوی دوم که استفاده از زیست‌توده برای تولید انرژی می‌باشد، به صورت جدول ۳ تهیه و سپس وارد نرم‌افزار سیمپرو شد.

جدول ۴- مواد استخراج شده در سناریوی سوم (استفاده از انرژی خورشیدی)
Table 4- Extracted materials in the third scenario (use of solar energy)

نوع مواد مصرفی	واحد	ارزش
Type of consumable	Unit	Value
صفحات خورشیدی	m ²	0.005
Photovoltaic panel		

ارزیابی اثرات چرخه‌حیات

ارزیابی چرخه‌حیات، مرحله‌ای است که در آن مجموعه نتایج مرحله قبل براساس اثرات زیست‌محیطی تفسیر می‌شوند (Gune, Lindeijer 2002 & Royet al., 2009). در واقع، این مرحله با تفسیر بیش‌تر نتایج سیاهه به آن‌ها مفهوم و ارزش می‌بخشد (Brentrup et al., 2004a). این مرحله از ارزیابی چرخه‌حیات به‌طور کلی، شامل طبقه‌بندی، ویژگی‌سازی^۱، نرمال‌سازی و ارزش‌گذاری^۲ می‌باشد (Royet al., 2009) که در مرحله ارزش‌گذاری، اهمیت نسبی بارهای محیط زیستی مشخص شده در مراحل طبقه‌بندی، مشخص‌سازی و نرمال‌سازی از طریق وزن‌دهی قابل مقایسه و تجمیع شدند. داده‌های صورت‌برداری شده برای انجام مرحله سوم ارزیابی چرخه‌حیات در نرم‌افزار سیمپرو وارد و اثرات زیست‌محیطی توسط روش ReCiPe 2016، که روش نسبتاً جدیدی بوده و براساس شاخص‌های اقتصادی ۹۹ برای دو سطح میانی (۱۸ اثر زیست‌محیطی) و پایانی (سه رده خسارت) طراحی شده است، ارزیابی شد.

تفسیر نتایج

تفسیر چرخه‌حیات، یک تکنیک سیستماتیک برای شناسایی، تعیین کمیت، بررسی و ارزیابی اطلاعات از نتایج و برقراری ارتباط مؤثر بین آن‌ها می‌باشد. به‌منظور بررسی و ریشه‌یابی نتایج اثرات زیست‌محیطی از تفسیر چرخه‌حیات استفاده می‌شود. ارائه تفسیر منطقی برای هر سناریو و تعیین بهترین و بدترین سناریوها در زنجیره تولید روغن در این مرحله انجام می‌شود.

نتایج و بحث

سامانه‌های تجدیدپذیر سامانه گازی‌سازی

در این سناریو از روش گازی‌سازی پسماندهای کاه و کلش کلزا به منظور تأمین انرژی مورد نیاز در فرآیند تولید روغن استفاده شد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که بهترین عملکرد گازی‌سازی بقایای گیاه گلزا، برای نسبت هم‌ارزی ۰/۲ الی ۰/۴۵ به‌دست آمد و سپس بهترین عملکرد گازی‌سازی براساس ارزش حرارتی گاز در جدول ۵ انتخاب شد.

بررسی نتایج نشان می‌دهد که اگرچه با افزایش نسبت هم‌ارزی ارزش حرارتی، گاز تولیدی کاهش یافت، اما در عین حال، بازده گازی‌سازی با افزایش نسبت هم‌ارزی سوخت به هوا تا نسبت ۰/۳۰ روند افزایشی داشته و با افزایش این نسبت، بازده روند کاهشی خواهد داشت. با در نظر گرفتن بازده الکتریکی موتور سین‌گازسوز به‌مقدار ۲۰/۲ درصد (Huchon et al., 2020) و ضریب ۲/۴ به‌ازای تولید یک کیلووات الکتریسته به حرارت (Salomón et al., 2011) (جدول مقدار برق و حرارت تولیدی به‌ازای ۲۷۷۵ کیلوگرم کلزا به‌صورت جدول ۶ می‌باشد. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که بهترین عملکرد در نسبت هم‌ارزی ۰/۳ به‌دست آمد و مقدار الکتریسته و حرارت تولیدی به‌ترتیب ۱۰۶۹ و ۲۵۶۷ کیلووات ساعت بود.

سامانه‌های فتوولتاییک

در این سناریو به‌منظور تأمین انرژی مورد نیاز در فرآیند تولید روغن از شبیه‌سازی در محیط نرم‌افزار Homer pro 3.18.3

- 1- Characterization
- 2- Valuation

مجموعه‌ها در حدود ۴/۲۵ میلیون کیلووات ساعت بود که با توجه به طراحی‌های صورت گرفته و میزان تابش نور خورشید در منطقه، تعداد صفحات فتولتاییک ۵۷۰۰ عدد انتخاب شدند. نتایج نشان داد که نیروگاه خورشیدی ایجاد شده می‌تواند ۷/۱۵ میلیون کیلووات ساعت در سال انرژی برق تولید کند که از انرژی مورد استفاده ۲/۹۰ میلیون کیلووات ساعت بیشتر است.

استفاده شد. به‌منظور طراحی یک نیروگاه خورشیدی برای تأمین انرژی الکتریسیته، ابتدا اقلیم منطقه به‌طور کامل شناخته شد و شدت تابش نور خورشید به‌صورت ماهانه و براساس طول و عرض جغرافیایی منطقه مورد نظر و با پیوند به نرم‌افزار Metron به نرم‌افزار Homer داده شد. همچنین میزان انرژی برق مصرفی در ۲۴ ساعت نیز به‌عنوان ورودی‌های نرم‌افزار در نظر گرفته شد. مطابق بررسی‌های انجام‌شده، میزان برق مصرفی در سال برای این

جدول ۵- نتایج مدل‌سازی گازی‌سازی کلزا

Table 5- Results of rapeseed gasification modeling

نسبت هم‌ارزی کلزا Canola equivalence ratio	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45
هیدروژن H ₂ (vol %)	16.73	15.77	14.79	13.71	12.47	11.09
مونوکسید کربن CO (vol %)	20.89	22.13	22.75	22.91	22.62	21.99
دی‌اکسید کربن CO ₂ (vol %)	17.54	15.37	13.88	12.87	12.3	12.07
متان CH ₄ (vol %)	5.14	3.58	2.33	1.33	0.57	0.01
نیتروژن N ₂ (vol %)	39.46	43.07	46.17	49.08	51.92	54.7
ارزش حرارتی پایین‌تر LHV (MJ.m ³)	6.28	5.78	5.3	4.85	4.41	3.97
دمای گازی‌سازی T gasification (k)	1039	1075	1113	1155	1198	1243
میزان گازی‌سازی Vg (m ³ gas.kg ⁻¹ canola)	1.68	1.92	2.15	2.36	2.55	2.73
کارایی Efficiency (%)	65.32	68.33	69.95	69.65	67.56	64.4

جدول ۶- برق و حرارت تولیدی با استفاده از یک سامانه گازی‌سازی کلزا

Table 6- Electricity and heat produced using a rapeseed gasification system

نسبت هم‌ارزی Equivalence ratio	مقدار گاز تولیدی The amount of gas produced (m ³)	تولید انرژی Energy production (MJ)	تولید الکتریسیته Electricity production (MJ)	تولید الکتریسیته Electricity production (kWh)	حرارت تولیدی Production heat (MJ)	حرارت تولیدی Production heat (kWh)
0.2	4053.00	25452.82	3358.87	933.02	8061.29	2239.25
0.25	4605.55	26620.11	3674.01	1020.56	8817.63	2449.34
0.3	5142.23	27253.84	3851.03	1069.73	9242.47	2567.35
0.35	5595.48	27138.08	3818.38	1060.66	9164.12	2545.59
0.4	5968.79	26322.38	3592.29	997.86	8621.50	2394.86
0.45	6320.47	25092.27	3264.38	906.77	7834.52	2176.26

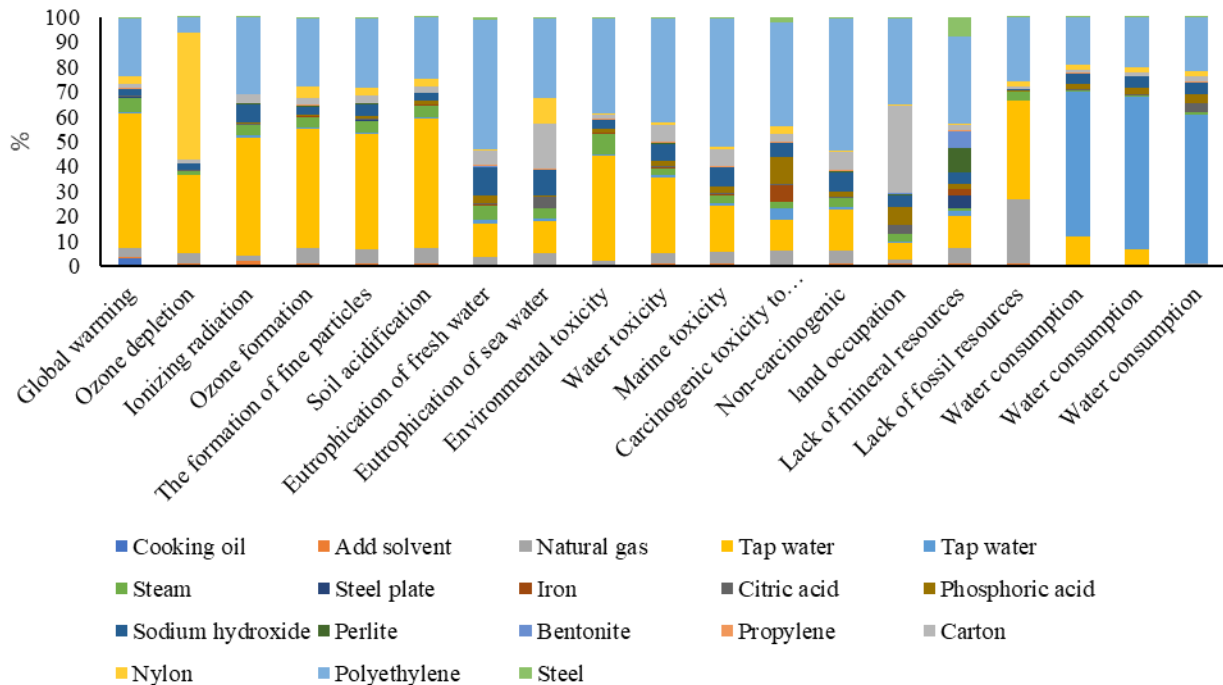
نشان داد که در اغلب شاخص‌ها، انرژی الکتریسیته بالاترین سهم را در ایجاد این شاخص‌ها داشته است. جریان الکتریسیته در ایجاد شاخص‌های گرمایش جهانی، تخریب لایه ازن، تابش یونیزاسیون، تشکیل ریزذرات، سمیت زیست‌محیطی، سمی شدن آب شیرین،

بررسی اثرات زیست‌محیطی

بررسی شاخص‌های زیست‌محیطی میانی در سناریوی اول نتایج به‌دست آمده حاصل از بررسی شاخص‌های زیست‌محیطی میانی (شکل ۶) در سناریوی اول (استفاده از انرژی تجدیدناپذیر)

زیست‌محیطی تأثیر بگذارد (Schreiber et al., 2009). لذا در این سناریو، بیشترین تخریب محیط‌زیست در استفاده از جریان الکتروسیسته اتفاق می‌افتد. نتایج این پژوهش با نتایج کومله (Komleh et al., 2017) در ارزیابی اثرات محیط زیستی تولید رب گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum L.*)، خوشنویسان (Khoshnevisan et al., 2012) در بررسی اثرات محیط زیستی تولید سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum L.*) و رجایی‌فر (Rajaeifar et al., 2014) در ارزیابی زیست‌محیطی تولید روغن زیتون (*Olea europaea L.*) مشابهت داشت.

اسیدی‌شدن خاک و کمبود منابع فسیلی به ترتیب با سهم‌های ۴۵ درصد، ۳۱ درصد، ۴۷ درصد، ۴۸ درصد، ۴۲ درصد، ۴۷ درصد، ۵۲ درصد و ۳۹ درصد اثرگذار بودند. همچنین اعداد به‌دست‌آمده از سناریوی اول نشان می‌دهد که ۶۵ درصد از کمبود منابع فسیلی ناشی از مصرف بالای الکتروسیسته و گاز طبیعی در تولید روغن بود. یکی از دلایل مهم تأثیرگذاری الکتروسیسته در ایجاد شاخص‌های سوء زیست‌محیطی این است که در هر مرحله تولید الکتروسیسته، علاوه بر انتشار گاز دی‌اکسید کربن، گازهای متان، دی‌اکسید سولفور، دی‌اکسید نیتروژن، آمونیاک و اکسید اتان، فلزات سنگین و زباله‌های خطرناک منتشر می‌شوند که می‌تواند بر ایجاد شاخص‌های مختلف



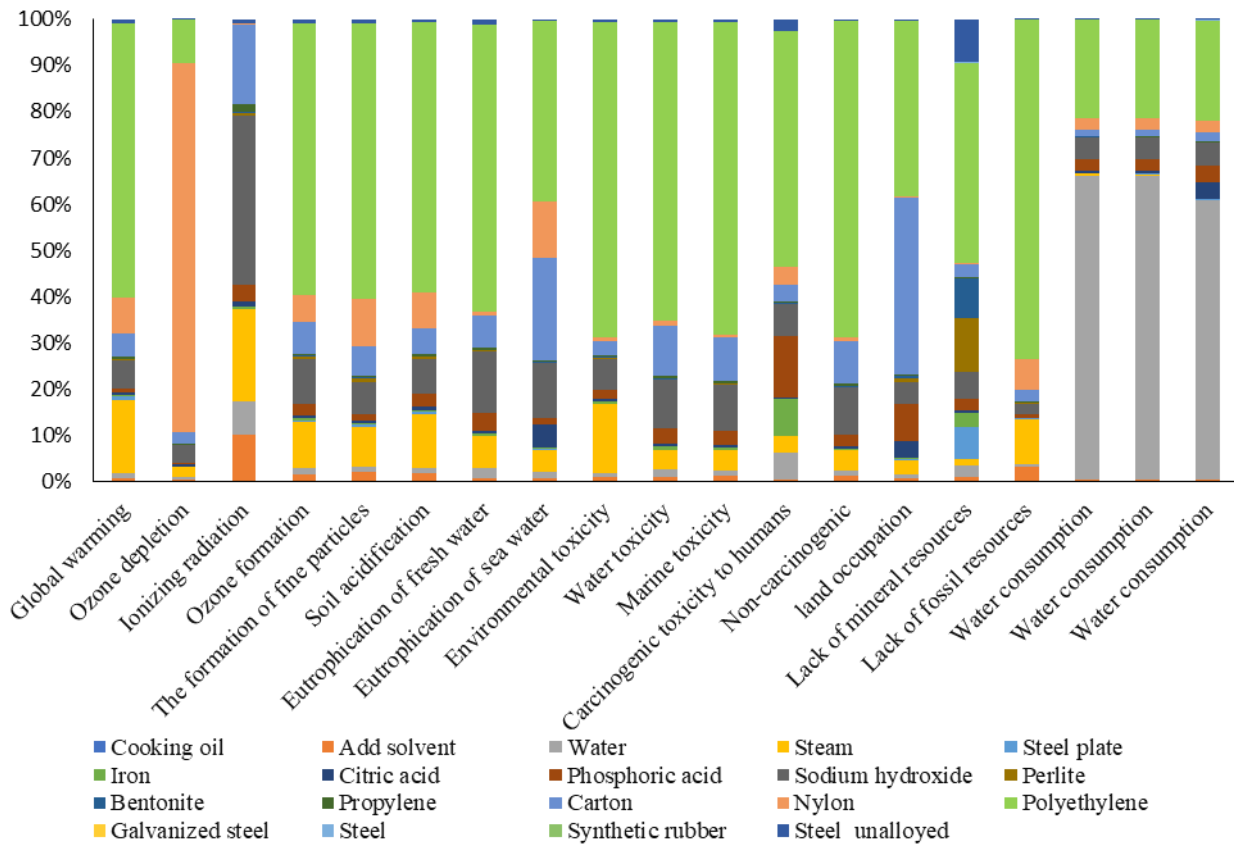
شکل ۶- سهم نهاده‌های ورودی بر شاخص‌های میانی تولید روغن در سناریوی استفاده از انرژی‌های تجدیدناپذیر
 Fig. 6- The contribution of inputs on the intermediate indicators of oil production in the scenario of using non-renewable energies

با سهم حدود ۶۷ درصد، اوتریفیکاسیون آب دریا با سهم ۳۸ درصد، سمیت سرطان‌زایی برای انسان با سهم ۵۱ درصد و اشغال زمین با سهم ۳۸ درصد اثرگذار بود. همچنین حدود ۸۰ درصد از تخریب لایه ازن به‌وسیله نایلون مصرفی و ۳۶ درصد از تابش یونیزاسیون به‌دلیل استفاده از سدیم هیدروکسید بود. بررسی و مقایسه سناریوی اول و دوم نشان داد که استفاده از فناوری گازی‌سازی زیست‌توده به‌طور چشمگیری بار آلاینده‌ها را از روی تولید الکتروسیسته برداشت. ساداتی و پورطهماسبی (Saadati & Portahmasbi, 2012) نیز آلودگی

بررسی شاخص‌های زیست‌محیطی میانی در سناریوی دوم بررسی اثرات زیست‌محیطی در سناریوی استفاده از فناوری گازی‌سازی (شکل ۷) برای تأمین انرژی (الکتروسیسته و حرارت) نشان داد که استفاده از پلی‌اتیلن، آلودگی بالاتری نسبت به سایر نهاده‌ها ایجاد می‌کند. نتایج نشان داد که پلی‌اتیلن در ایجاد شاخص‌های گرمایش جهانی، تشکیل ازن، تشکیل ریزذرات و اسیدی‌شدن خاک با سهم حدود ۶۰ درصد، ایجاد شاخص‌های اوتریفیکاسیون آب شیرین، سمیت زیست‌محیطی، سمیت آبی و دریایی و غیرسرطان‌زایی

آلودگی ناشی از سوخت‌های فسیلی نام برده است. بینسی و آکسوغان (Binici & Aksogan, 2016) اثر تولید انرژی از دانه‌های زیتون را بر محیط زیست بسیار کم دانسته‌اند.

زیست‌توده را بسیار کم دانسته و صلواتی (Salavati, 2017) گازی‌سازی از طریق پسماندهای کشاورزی را برای محیط‌زیست بسیار خوب توصیف کرده و از آن به‌عنوان راهی برای برون‌رفت از



شکل ۷- سهم مراحل تولید روغن در میزان هر یک از گروه‌های تأثیر در سناریوی دوم

Fig. 7- The contribution of each of the oil production stages in the amount of each of the impact groups in the second scenario

و استفاده از منابع فسیلی شده است.

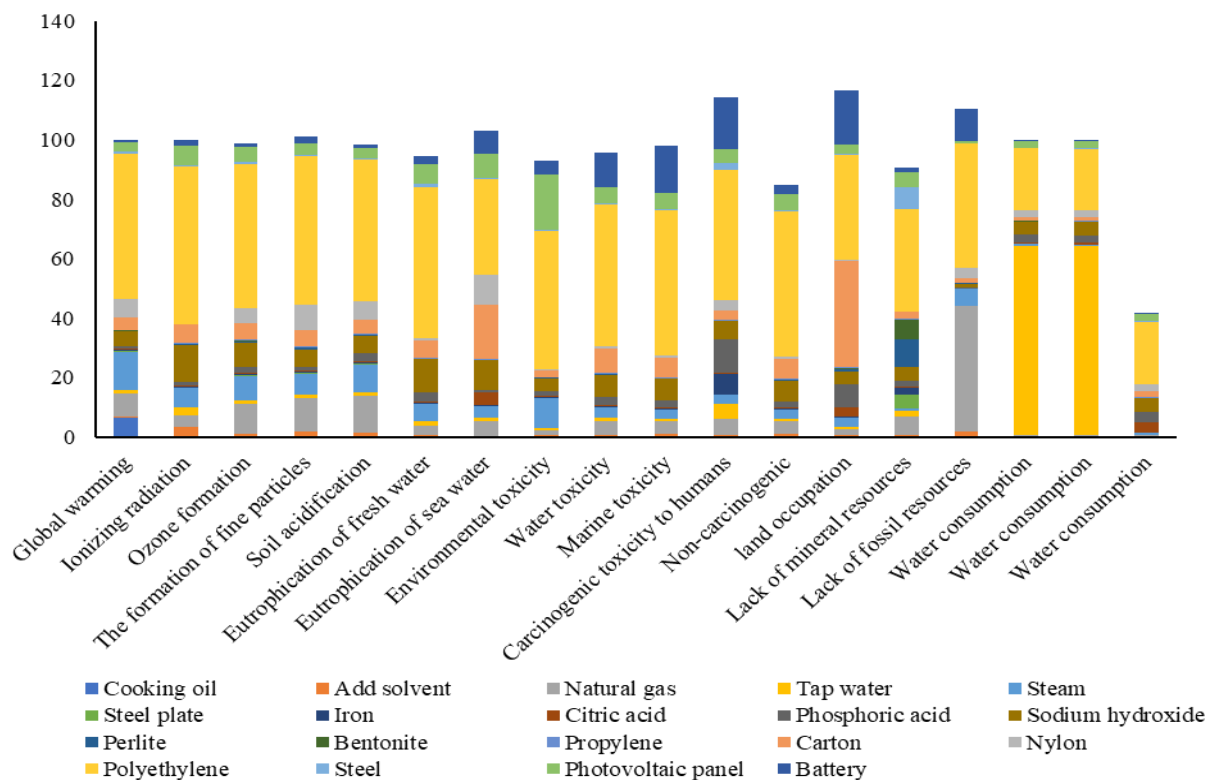
بررسی و مقایسه سناریوی دوم و سوم نشان داد که استفاده از پلی‌اتیلن در هر دو سناریو، اثرات سوء زیادی ایجاد کرده است که این ماده با تأثیر اشعه فرابنفش خورشید و دمای بالا، به قطرات ریز تبدیل شده و به‌عنوان ذرات معلق در هوا قرار می‌گیرد. این ذرات معلق می‌تواند باعث تنگی نفس، التهاب ریه‌ها و بیماری‌های دیگر در انسان و حیوانات شوند. همچنین، پلی‌اتیلن می‌تواند به آب‌های زیرزمینی و سطحی نفوذ کرده و با آلوده‌سازی آن‌ها، منابع آبی را تهدید کند. بسیاری از حیوانات و پرندگان، به اشتباه پلی‌اتیلن را به عنوان غذا می‌خورند (Mohammadi & Hammati, 2022) که

بررسی شاخص‌های زیست‌محیطی میانی در سناریوی سوم

بررسی سناریوی سوم و استفاده از انرژی خورشیدی در تأمین الکتریسیته فرآیند تولید روغن (شکل ۸) نشان داد که در شاخص‌های پلی‌اتیلن مصرفی در بسته‌بندی، روغن بالاترین سهم در ایجاد این شاخص‌ها را داشت، به‌طوری‌که شاخص‌های گرمایش زمین، تابش یونیزاسیون، ایجاد ازن، اسیدی شدن آب و دریاها، اوتریفیکاسیون آب دریا و آب شیرین، سرطان‌زایی، کمبود منابع فسیلی و منابع معدنی و حتی مصرف آب را هم تحت تأثیر قرار داده است. در رتبه بعدی، استفاده از بخار آب و گاز طبیعی منجر به گرمایش زمین، اسیدی شدن

در فرآیند تولید روغن از دانه‌های آفتابگردان نشان داد که به‌کارگیری سامانه‌های فتوولتاییک نسبت به انرژی مرسوم، اثرات زیست‌محیطی را به‌طور قابل توجهی کاهش داد. همچنین از طرف دیگر، می‌توان مشاهده نمود که انرژی خورشیدی، اثرات مخرب کمی داشته و این مواد بسته‌بندی است که سبب ایجاد شاخص‌های مختلف زیست‌محیطی می‌گردد. باتوجه به مطالعات طاهری‌اصل (Taheri et al., 2014)، ریچه (Reiche, 2003) و بقا (Baqat et al., 2018) می‌توان بیان کرد که انرژی خورشیدی و استفاده از پانل‌های جدید، آلودگی بسیار کمی داشته و می‌توان از این نوع انرژی به‌جای سوخت‌های فسیلی و انرژی الکتریکی حاصل از سوخت‌های فسیلی استفاده نمود.

ممکن است باعث انسداد روده و در نتیجه، مرگ آن‌ها شوند. مقایسه هر سه سناریو نشان می‌دهد که در صورت استفاده از انرژی‌های تجدیدناپذیر مانند سوخت‌های فسیلی و الکتریسته، که دارای منشأ سوخت‌های فسیلی بوده، بیشترین درصد آلودگی در گرمایش جهانی، تابش یونیزاسیون، تشکیل ازن، تشکیل ریزذرات، اسیدی‌شدن خاک، سمیت زیست‌محیطی و کمبود منابع فسیلی ایجاد شد. در همه موارد، نزدیک به ۵۰ درصد از آلودگی‌ها ناشی از استفاده الکتریسته در تولید روغن می‌باشد. در سایر موارد نیز آلودگی ناشی از الکتریسته و استفاده از آن در رتبه دوم قرار داشت. در عین حال، هنگامی که از انرژی‌های تجدیدپذیر استفاده می‌شود، بیشترین آلودگی و بالاترین درصد تخریب منابع به استفاده از پلی‌اتیلن مربوط می‌شود. نتایج پژوهش نبوی پله‌سرای (Nabavi-Pelesaraei et al., 2021)



شکل ۸- سهم هر یک از مراحل تولید روغن در میزان گروه‌های تأثیر در سناریوی سوم

Fig. 8- The contribution of each of the oil production stages in the amount of each of the impact groups in the third scenario

همچنین مصرف الکتریسته در رتبه دوم رده آسیب به سلامت انسان به‌میزان ۲۹ درصد، آسیب به کیفیت بوم‌نظام ۲۸ درصد و آسیب به منابع ۴۱ درصد از میزان کل را دارا بودند (شکل ۹). نتایج بررسی شاخص‌های رده خسارت در سناریوی دوم (شکل ۱۰) نشان داد که

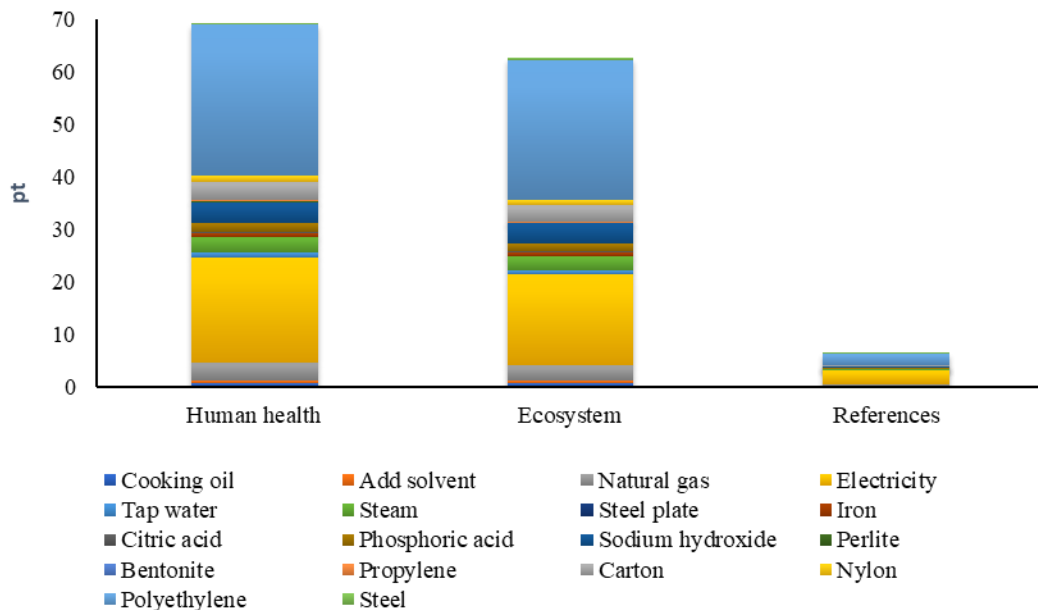
بررسی شاخص‌های رده خسارت

براساس یافته‌ها، استفاده از پلی‌اتیلن در رده آسیب به سلامت انسان به‌میزان ۴۱ درصد، آسیب به کیفیت بوم‌نظام ۴۲ درصد و آسیب به منابع ۳۳ درصد از میزان کل را به خود اختصاص داده است.

طبیعی) بود که با جایگزینی سامانه‌های گازی‌سازی و فتولتائیک، میزان تأثیرگذاری آن‌ها به‌شدت کاهش یافت. مقایسه سه سناریو نشان داد که سناریوی استفاده از فناوری گازی‌سازی، پایین‌ترین میزان رده خسارت به‌میزان ۱۳/۴۵ Pt و استفاده از انرژی‌های تجدیدناپذیر بالاترین رده خسارت به‌میزان ۶۹/۲۹ Pt به‌دست آمد. نتایج به‌دست آمده در ارزیابی اثرات زیست‌محیطی فرآیند تولید روغن خوراکی در پژوهش خانعلی (Khanali et al., 2018) نشان داد که استفاده از پلی‌اتیلن، الکتریسیته و گاز طبیعی، سهم بالایی در ایجاد شاخص‌های مختلف زیست‌محیطی در مرحله روغن‌کشی و تصفیه روغن دارد. همچنین نتایج پژوهش نبوی پله‌سرائی (Nabavi-Pelesaraei et al., 2021) در ارزیابی اثرات زیست‌محیطی تولید روغن از دانه‌های آفتابگردان در مرحله روغن‌کشی و تصفیه روغن نشان داد که الکتریسیته سهم بالایی در ایجاد شاخص‌های مختلف زیست‌محیطی دارد.

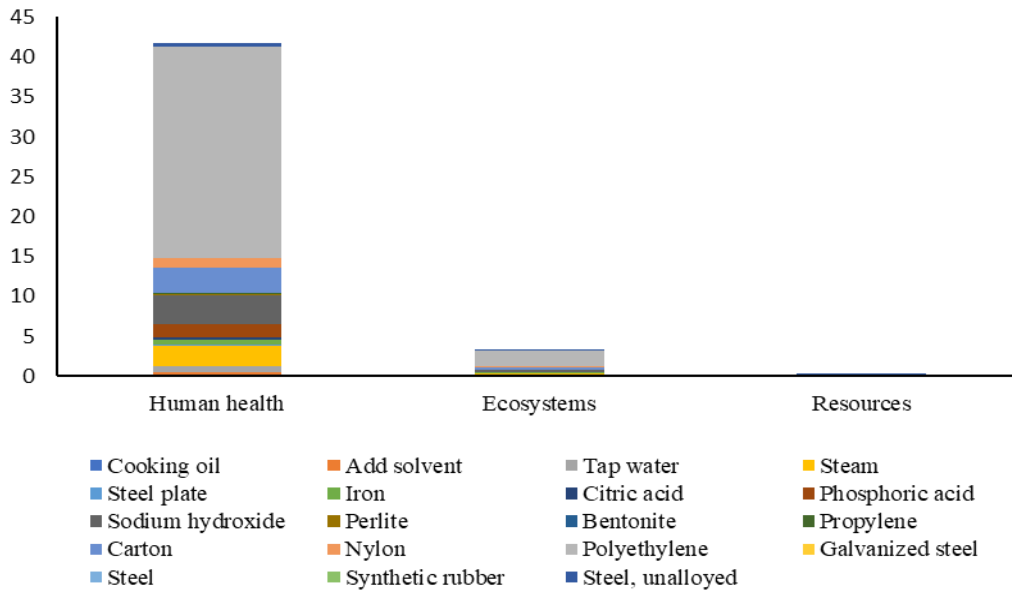
استفاده از پلی‌اتیلن بر ایجاد شاخص‌های سلامتی انسان، کیفیت بوم‌نظام و منابع به‌ترتیب به‌میزان ۶۲ درصد، ۶۳ درصد و ۷۳ درصد اثرگذار بود. پارامتر اثرگذار بعدی در ایجاد این شاخص‌ها بخار آب به ترتیب با سهم ۶ درصد، ۱۰ درصد و ۱۰ درصد بود. همچنین در بررسی نتایج در سناریوی سوم نتایج نشان داد که پلی‌اتیلن، بالاترین سهم به‌ترتیب به‌میزان ۴۸ درصد و ۴۹ درصد را در ایجاد شاخص‌های سلامتی انسان‌ها و کیفیت بوم‌نظام داشت، درحالی‌که بالاترین سهم در ایجاد تخریب منابع به گاز طبیعی با سهم ۴۲ درصد اختصاص یافت. در عین حال، تلفیق صفحات خورشیدی و باتری در رده دوم ایجاد رده‌های خسارت آسیب به سلامت انسان و کیفیت بوم‌نظام به‌ترتیب با سهم ۱۸ درصد و ۱۴ درصد و پلی‌اتیلن با سهم ۴۱ درصد در رده دوم خسارت به منابع قرار گرفتند.

بررسی و مقایسه سه سناریو نشان داد که در هر سه سناریو، پلی‌اتیلن بالاترین سهم را دارا بود که مربوط به بسته‌بندی روغن می‌باشد. در رده دوم، بخش اثرگذاری استفاده از انرژی (الکتریسیته و گاز



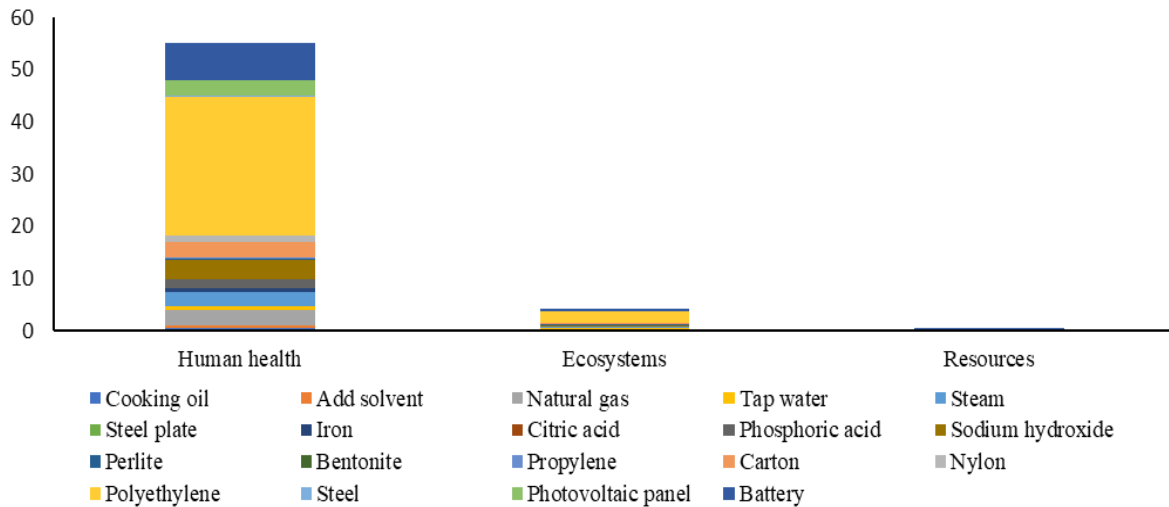
شکل ۹- پتانسیل آسیب هر گروه بر سلامت انسان، تغییر اقلیم و منابع در سناریوی اول

Fig. 9- The damage potential of each group on human health, climate change and resources in the first scenario



شکل ۱۰- پتانسیل آسیب هر گروه بر سلامت انسان، تغییر اقلیم و منابع در سناریوی دوم

Fig. 10- The damage potential of each group on human health, climate change, and resources in the second scenario



شکل ۱۱- پتانسیل آسیب هر گروه بر سلامت انسان، تغییر اقلیم و منابع در سناریوی سوم

Fig. 11- The damage potential of each group on human health, climate change, and resources in the third scenario

نسبت، بازده روند کاهشی خواهد داشت. بهترین عملکرد در نسبت هم‌ارزی ۰/۳ به دست آمد و مقدار الکتریسته و حرارت تولیدی به ترتیب ۱۰۶۹ و ۲۵۶۷ کیلووات ساعت بود. در سناریوی استفاده از انرژی خورشیدی، تعداد صفحات فتولتاییک ۵۷۰۰ عدد انتخاب شد، به طوری که این تعداد صفحات می‌توانست ۷/۱۵ میلیون کیلووات

نتیجه‌گیری

نتایج شبیه‌سازی سامانه‌های گازی نشان داد که بهترین عملکرد گازی‌سازی بقایای گیاه گلزا، برای نسبت هم‌ارزی ۰/۲ الی ۰/۴۵ می‌باشد، به طوری که بازده گازی‌سازی با افزایش نسبت هم‌ارزی سوخت به هوا تا نسبت ۰/۳۰ روند افزایشی داشته و با افزایش این

زیست‌محیطی را تا حدود ۳۵ درصد و ۱۴ درصد نسبت به سناریوی استفاده از انرژی تجدیدناپذیر کاهش دهند.

سپاسگزاری:

به‌این‌وسیله از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری برای حمایت مالی و از کارخانه بهپاک و غنچه برای همراهی در انجام پژوهش حاضر سپاسگزاری می‌گردد.

ساعت در سال انرژی برق تولید کند که از انرژی مورد استفاده ۲/۹۰ میلیون کیلووات ساعت بیشتر خواهد بود. بررسی اثرات زیست‌محیطی در هر سه سناریو نشان داد که استفاده از پلی‌اتیلن، بالاترین سهم را در ایجاد شاخص‌های زیست‌محیطی دارد. در عین حال، در رده دوم مواد تأثیرگذار در ایجاد شاخص‌های زیست‌محیطی، در سناریوی اول الکتریسیته و سدیم هیدروکسید، در سناریوی دوم سدیم هیدروکسید و بخار آب و در سناریوی سوم باتری و سدیم هیدروکسید نقش به‌سزایی داشتند. مقایسه سه سناریو نشان داد که استفاده از فناوری‌های گازی‌سازی و خورشیدی می‌توانند میزان اثرات کلی

References

- Alamsyah, R., Loebis, E.H., Susanto, E., Junaidi, L., & Siregar, N.C., (2015). An experimental study on synthetic gas (Syngas) production through gasification of Indonesian biomass pellet. *Energy Procedia*, 65, 292–299. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.01.053>
- Alishah, A., Motevali, A., Tabatabaekoloor, R., & Hashemi, S.J. (2019). Multiyear life energy and life cycle assessment of orange production in Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(31), 32432–32445. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06344-y>
- Baqa, S., Sajjadi, N., & Jozi, S.A. (2018). Investigating the environmental effects of different generations of solar cells. *Environmental Science Studies*, 4(1), 1092-1099. (in Persian with English abstract)
- Basappaji, K.M., & Nagesha, N., (2013). Cleaner production in rice processing: an efficient energy utilization approach. *International Journal of Applied Engineering Research*, 8(15), 1783-1790.
- Binici, H., & Aksogan, O. (2016). Eco-friendly insulation material production with waste olive seeds, ground PVC and wood chips, *Journal of Building Engineering*, 5, 260-266. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2016.01.008>
- Brentrup, F., Küsters, J., Kuhlmann, H., & Lammel, J. (2004a). Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment methodology: I. Theoretical concept of a LCA method tailored to crop production. *European Journal of Agronomy*, 20, 247–264. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(03\)00024-8](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(03)00024-8)
- Brentrup, F., Küsters, J., Lammel, J., Barraclough, P., & Kuhlmann, H. (2004b). Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment (LCA) methodology II. The application to N fertilizer use in winter wheat production systems. *European Journal of Agronomy*, 20, 265–279. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(03\)00039-X](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(03)00039-X)
- Dai, L.; Jia, J.; Yu, D., Lewis, B.J.; Zhou, L.; Zhou, W.; Zhao, W., & Jiang, L. (2013). Effects of climate change on biomass carbon sequestration in old-growth forest ecosystems on Changbai Mountain in Northeast China. *Forest Ecology and Management*, 300, 106-116. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.06.046>
- Dalgaard, T., Halberg, N., & Fenger, J. (2000). Fossil energy use and emissions of greenhouse gases – three scenarios for conversion to 100% organic farming in Denmark. In: E. van Lerland, A.Q. Lansink, and E. Schmieman (Eds.), *Proceedings of the International Conference on Sustainable Energy: New Challenges for Agriculture and Implications for Land Use*, Wageningen, The Netherlands. Chapter 7.2.1, 11 p.
- Dekamin, M., Barmaki, M., Kanooni, A., & Mosavi, S.R (2018). Study of the environmental impacts of oil seed crops production in by using the life cycle assessment in Ardabil province. *Journal of Agroecology*, 10(1), 160-174. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/JAG.V10I1.55340>
- Erfani, R., Pirdashti, H., Abbasi, R., & Nouri, M.Z. (2017). Evaluation of energy efficiency components in organic, low-input and conventional rice (*Oryza sativa* L.) farming systems. Ph.D. Dessertation, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. pp. 125. (in Persian with English abstract)
- FAO. (2023). *World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2023*. Rome. <https://doi.org/10.4060/cc8166en>
- Fathollahi, H., Rafiei, S., & Mousavi I.S.E. (2016). Evaluation of energy, economic and environmental indicators

- in rainfed and irrigated wheat production (case study: Lorestan province). *Iranian Biosystem Engineering Journal*, 48(4), 527-537. (in Persian with English abstract)
14. Georgiopoulou, M., & Lyberatos, G. (2018). Life cycle assessment of the use of alternative fuels in cement kilns: a case study. *Journal of Environmental Management*, 216, 224–234. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.07.017>
 15. Guinée, J.B., & Lindeijer, E., (2002). Handbook on Life Cycle Assessment: Operational guide to the ISO standards (EcoEfficiency in Industry and Science (Vol. 7)). Springer Science and Business Media.
 16. Hosseini-Fashami, F., Motevali, A., Nabavi-Pelesaraei, A., Hashemi Seyyed, J., & Chau, K. (2019) Energy-life cycle assessment on applying solar technologies for greenhouse strawberry production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 116, 109411.
 17. Huchon, V., François, P., Commandré, J., & Laurent, V. (2020). How electrical engine power load and feedstock moisture content affect the performance of a fixed bed gasification genset. *Energy, Elsevier*, 197(C). <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117144>
 18. IPCC. (2007a). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of working group I to the assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge. 850 pp.
 19. IPCC (2007). Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability (p. 976). In M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden & C. E. Hanson (Eds.), Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. https://assets.cambridge.org/97805218/80107/frontmatter/9780521880107_frontmatter.pdf
 20. Iribarren, D., Teresa Moreira, M., & Feijoo, G. (2010). Life cycle assessment of fresh and canned mussel processing and consumption in Galicia (NW Spain). *Resources, Conservation and Recycling*, 55, 106–117. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.08.001>
 21. ISO 14040. International Organization for Standardization. (2006). Environmental management- Life Cycle.
 22. Keikha, M., Darzi-Naftchali, A., Motevali, A., & Valipour, M. (2023). Effect of nitrogen management on the environmental and economic sustainability of wheat production in different climates. *Agricultural Water Management*, 276, 108060. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.108060>
 23. Khanali, M., Mousavi, S.A., Sharifi, M., Keyhani-Nasab, F., & Chau, K. (2018) Life cycle assessment of canola edible oil production in Iran: A case study in Isfahan province. *Journal of Cleaner Production* 196, 714-725. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.217>
 24. Khoshnevisan, B., Rafiei, S. Omid, M., & Mousazadeh, (2012). Modeling and forecasting of environmental indicators of potato cultivation using adaptive neuro-fuzzy inference system and life cycle assessment approach. The Second National Conference on Environmental Protection and Planning, Hamedan, Iran. (In Persian)
 25. Khoshnevisan, B., Bolandnazar, E., Shamsirband, S., Shariati, H.M., Anuar, N.B., & Mat Kiah, M.L. (2015). Decreasing environmental impacts of cropping systems using life cycle assessment (LCA) and multi-objective genetic algorithm. *Journal of Cleaner Production*, 86, 67-77. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.08.062>
 26. Khoshnevisan, B., Rafiee, S., & Mousazadeh, H., (2013). Environmental impact assessment of open field and greenhouse strawberry production. *European Journal of Agronomy*, 50, 29-37. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.05.003>
 27. Komleh, S.H., Akram, A., & Keyhani, A. (2017). Life cycle assessment of paste production (case study: Alborz province). *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 47(4), 688-677. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/ijbse.2017.60262>
 28. Li, Q., Song, G., Xiao, J., Hao, J., Li, H., & Yuan, Y., (2020). Exergetic life cycle assessment of hydrogen production from biomass staged-gasification. *Energy*, 190, 116416. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116416>
 29. Luderer, G., Pehl, M., Arvesen, A., Gibon, T., Bodirsky, B.L., De Boer, H.S., Fricko, O., Hejazi, M., Humpenöder, F., Iyer, G., & Mima, S., (2019). Environmental co-benefits and adverse side-effects of alternative power sector decarbonization strategies. *Nature Communications*, 10(1), 5229. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-13067-8>
 30. Makkar, H.P.S. (2018). Review: Feed demand landscape and implications of food-not feed strategy for food security and climate change. *Animal*, 12(8), 1744-1754. <https://doi.org/10.1017/S175173111700324X>. Epub 2017 Dec 4. PMID: 29198265

31. Malek, F. (2009) Characteristics and processing of edible vegetable fats and oils, second edition, Agricultural Education and Promotion Publications. Iran, 470p. (In Persian)
32. Mirhaji, H., Khojastehpour, M., Abaspour-fard, M.H. (2013). Environmental effects of wheat production in the Marvdasht region. *Journal of Natural Environment*, 66(2), 223-232. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/JNE.2013.35859>
33. Mofijur, M., Mahlia, T.M.I., Logeswaran, J., Anwar, M., Silitonga, A.S., Rahman, S.A., & Shamsuddin, A.H. (2019). Potential of rice industry biomass as a renewable energy source. *Energies*, 12(21), 4116. <https://doi.org/10.3390/en12214116>
34. Mohammadi, M., & Hammati, A. (2022). Environmental effects of consumer plastics, 6th National Conference on Chemistry and Nanotechnology Development, Tehran, <https://civilica.com/doc/1672592>. (In Persian)
35. Motevali, A., Hashemi, S.J., & Tabatabaekoloor, R. (2019). Environmental footprint study of white rice production chain-case study: Northern of Iran. *Journal of Environmental Management*, 241, 305-318. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.04.033>
36. Motevali, A., Hooshmandzadeh, N., Fayyazi, E., Valipour, M., & Yue, J. (2023). Environmental Impacts of biodiesel production cycle from farm to manufactory: An application of sustainable systems engineering. *Atmosphere*, 14(2), 399. <https://doi.org/10.3390/atmos14020399>
37. Nabavi-Pelesaraei, A., Azadi, H., Van Passele, S., Saber, Z., Hosseini-Fashami, F., Mostashari-Rad, F., & Ghasemi-Mobtaker, H. (2021). Prospects of solar systems in production chain of sunflower oil using cold press method with concentrating energy and life cycle assessment. *Energy*, 223, 120117. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120117>
38. Nasrollahi, M., Motevali, A., Banakar, A., & Montazeri, M. (2023). Comparison of environmental impact on various desalination technologies. *Desalination*, 547, 116253. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2022.116253>
39. Pourbehzadi, M., Niknam, T., Aghaei, J., Mokryani, G., Shafie-khah, M., & Catalão, J.P. (2019). Optimal operation of hybrid AC/DC microgrids under uncertainty of renewable energy resources: A comprehensive review. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 109, 139-159. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2019.01.025>
40. Rajaeifar, M.A., Akram, A., Ghobadian, B., Rafiee, S. & Heidari, M.D. (2014). Energy_economic life cycle assessment (LCA) and greenhouse gas emission analysis of olive oil production in Iran. *Energy*, 66, 139-149. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.12.059>
41. Rajaeifar, M.A., Ghobadian, B., Heidari, M.D., & Fayyazi, E. (2013). Energy consumption and greenhouse gas emissions of biodiesel production from rapeseed in Iran. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 5(063134), 1-13. <https://doi.org/10.1063/1.4854596>
42. Reiche, D. (2003). Handbook of Renewable Energies in the European Union, vol. II. Published by Frankfurt, Germany. 332 pp.
43. Roy, P., Nei, D., Orikasa, T., Xu, Q., Okadome, H., Nakamura, N., & Shiina, T. (2009). A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. *Journal of Food Engineering*, 90, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.06.016>
44. Saadati, A., & Portahmasbi, K. (2012). Ability to produce bioenergy from hemp biomass. National Conference on Natural Resources Management. SID. (In Persian). <https://sid.ir/paper/883604/fa>
45. Safiuddin, M. (2009) Design, construction and evaluation of castor oil extraction machine for biodiesel production. M.Sc. Thesis, Tarbiat Madras University, Tehran, Iran, 109 pp. (in Persian with English abstract)
46. Salavati, S. (2017). Gasification of waste and biomass and its effects on the environment. *Quarterly Journal of Application of Chemistry in Environment*, 9(36), 13-19. (in Persian with English abstract)
47. Salomón, M. Savola, T., Martin, A., Fogelholm, C., & Fransson C. (2011). Small-scale biomass CHP plants in Sweden and Finland. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(9), 4451-4465. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.106>
48. Samadi, S.H., Ghobadian, B., & Nosrati, M. (2020). Prediction and estimation of biomass energy from agricultural residues using air gasification technology in Iran. *Renewable Energy*, 149, 1077-1091. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.10.109>
49. SamiHesar, B., Zarghami, M., Yegani, R., & Sabahi, M. (2018) Design of solar water softener system by reverse osmosis-photovoltaic method (case study: Brackish water of Sarband village, Ardabil). *Water and Wastewater*

- Engineering Sciences*, 4(2), 37-46. (in Persian with English abstract)
50. Sarasuk, K., & Sajjakulnukit, B. (2011). Design of a lab-scale two-stage rice husk gasifier. *Energy Procedia*, 9, 178-185. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.09.019>
51. Schreiber, S.J., & Lloyd-Smith, J.O. (2009). Invasion dynamics in spatially heterogeneous environments. *The American Naturalist*, 174(4), 490-505. <https://doi.org/10.1086/605405>. PMID: 19737109
52. Soheili-Fard, F., & Kouchaki-Penchah, H. (2015). Assessing environmental burdens of sugar beet production in East Azerbaijan province of IR Iran based on farms size levels. *International Journal of Farm Science*, 4 (5) 489-495.
53. Soltani, A., Rajabi, M.H., Zeinali, E., & Soltani, E., (2011). Evaluation of environmental impact of crop production using LCA: wheat in Gorgan. *Journal of Crop Production*, 3, 201-218. (in Persian with English abstract). <https://dori.net/dor/20.1001.1.2008739.1389.3.3.12.1>
54. Taheri Asl, A., Reihani, M., & Azari, M. (2014). The effect of using solar energy to reduce environmental pollution. International Conference on Architecture, Urban Planning, Civil Engineering, Art and Environment. SID. (in Persian with English abstract). <https://sid.ir/paper/827862/fa>