Iranian Journal of Biosystem Engineering ISNN: 2423-7841
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

A study of changes in energy consumption trend and environmental indicators in the production of agricultural crops using a life cycle assessment approach in the years 2018-2022

Ali Kaab [1] | Hassan Ghasemi-Mobtaker [2]✉ | Mohammad Sharifi [3]

1. Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agriculture, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: kaab.ali@ut.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agriculture, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: mobtaker@ut.ac.ir
3. Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agriculture, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: m.sharifi@ut.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Sep. 3, 2023

Revised: Oct. 18, 2023

Accepted: Nov. 27, 2023

Published online: Autumn 2023

Keywords:
Energy,
Environmental impacts,
Sustainability,
Agricultural crops.

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate changes in energy consumption and environmental indicators in the production of crops, including sugarcane, wheat, canola and sunflower during the years 2018 to 2022. Relevant information was collected through statistics recorded in planning management of Imam Khomeini Sugarcane Agro-Industrial Company in Khuzestan province. Using these statistics and sources, the production situation of agriculture and industry products was investigated. Based on the obtained results, in sugarcane fields, energy consumption in the years 2018 to 2022 was calculated as 131.05, 142.47, 152.16, 155.45 and 161.71 GJ ha-1 respectively. Also, energy consumption was equal to 30.49, 32.70, 35.10, 36.52, and 38.02 GJ ha-1 in wheat fields in the considered period. On the other hand, for the production of canola in the years 2018 to 2022, it varied and was equal to 19.44, 20.81, 22.68, 23.83 and 24.86 GJ ha-1 respectively. Also, in sunflower fields in the same period of time, it was estimated as 44.19, 82.14, 61.15, 20.16 and 76.16 GJ ha-1 respectively. The results of environmental effects showed that the highest amount of pollution caused by the effect of resources in sugarcane production is in the mentioned years of 12.08, 12.64, 12.91, 12.40 and 12.47 USD2013. Also, in wheat production this index increased from 61.96 to 68.23, in canola production increased from 79.86 to 85.51, and finally, in sunflower production increased from 61.82 to 65.73. Based on the ranking of the by-products, sunflower, wheat and canola are prioritized for cultivation from the first to the third place respectively. Optimal use of electricity inputs, diesel fuel and chemical fertilizers can help reduce energy consumption and environmental pollution. In order to reduce energy consumption in the production of agricultural and industrial products, it is recommended to use renewable energy sources such as electricity produced from solar sources by photovoltaic systems.

Cite this article: Kaab, A., Ghasemi-Mobtaker, H., Sharifi, M. (2023) A study of changes in energy consumption trend and environmental indicators in the production of agricultural crops using a life cycle assessment approach in the years 2018-2022, *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 54 (3),1-18. https://doi.org/10.22059/ijbse.2023.364738.665522

© The Author(s). Publisher: The University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/ijbse.2023.364738.665522

مجله مهندسی بیوسیستم ایران، دوره ۵۴، شماره ۳ شاپا: ۷۸۴۱-۲۴۲۳
Homepage: http://ijbse.ut.ac.ir

مطالعه تغییرات روند مصرف انرژی و شاخص‌های زیست‌محیطی در تولید محصولات زراعی با رویکرد ارزیابی چرخه زندگی طی سال‌های ۱۴۰۱-۱۳۹۷

علی کعب [۱] | حسن قاسمی‌مبتکر [۲]✉ | محمد شریفی [۳]

۱. گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: kaab.ali@ut.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: mobtaker@ut.ac.ir

۳. گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران رایانامه: m.sharifi@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۶/۱۲
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۷/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۹/۶
تاریخ انتشار: پاییز ۱۴۰۲

واژه‌های کلیدی:
انرژی،
اثرات زیست‌محیطی،
پایداری،
محصولات زراعی

چکیده

هدف این مطالعه بررسی تغییرات مصرف انرژی و شاخص‌های زیست‌محیطی در تولید محصولات زراعی، شامل نیشکر، گندم، کلزا و آفتابگردان در طی سال‌های ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۱ بود. اطلاعات مربوطه از طریق آمار ثبت شده در مدیریت برنامه‌ریزی کشت و صنعت امام خمینی (ره) گردآوری شد. با استفاده از این آمار و منابع، وضعیت تولید محصولات کشت و صنعت مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج به دست آمده، در مزارع نیشکر، مصرف انرژی در سال‌های ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۱ به ترتیب برابر با ۱۳۱/۰۵، ۱۴۲/۴۷، ۱۵۲/۱۶، ۱۵۵/۴۵ و ۱۶۱/۷۱ گیگاژول بر هکتار محاسبه شد. همچنین، در مزارع گندم در دوره موردنظر مصرف انرژی به ترتیب برابر با ۳۰/۴۹، ۳۲/۷۰، ۳۵/۱۰، ۳۶/۵۲ و ۳۸/۰۲ گیگاژول بر هکتار بهدست آمد. در مقابل، برای تولید محصول کلزا در سال‌های ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۱ متغیر بوده است و به ترتیب برابر با ۱۹/۴۴، ۲۰/۸۱، ۲۲/۶۸، ۲۳/۸۳ و ۲۴/۸۶ گیگاژول بر هکتار بوده است. در مزارع آفتابگردان در همان بازه زمانی انرژی مصرفی به ترتیب برابر با ۴۴/۱۹، ۸۲/۱۴، ۶۱/۱۵، ۲۰/۱۶ و ۷۶/۱۶ گیگاژول بر هکتار برآورد گردید. نتایج اثرات زیست‌محیطی نشان می‌دهد که بیشترین مقدار آلایندگی ناشی از اثر منابع در تولید نیشکر به ترتیب در سال‌های مذکور ۱۲/۰۸، ۱۲/۶۴، ۱۲/۹۱، ۱۲/۴۰ و ۱۲/۴۷ USD2013 می‌باشد. همچنین، این شاخص در تولید گندم از ۶۱/۹۶ به ۶۸/۲۳ در تولید کلزا از ۷۹/۸۶ به ۸۵/۵۱ و در نهایت، در تولید آفتابگردان از ۶۱/۸۲ به ۶۵/۷۳ افزایش یافته است. بر اساس رتبه‌بندی محصولات فرعی، آفتابگردان، گندم و کلزا به ترتیب از رتبه اول تا سوم جهت کشت اولویت‌بندی شده‌اند. استفاده بهینه از نهاده‌های الکتریسیته، سوخت دیزل و کودهای شیمیایی می‌تواند به کاهش مصرف انرژی و آلایندگی زیست‌محیطی کمک کند. به منظور کاهش مصرف انرژی در تولید محصولات کشت و صنعت، استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر مانند الکتریسیته تولید شده از منابع خورشیدی توسط سامانه‌های فتولتائیک توصیه می‌شود.

استناد: کعب؛ علی، قاسمی مبتکر؛ حسن، شریفی؛ محمد، (۱۴۰۲) مطالعه تغییرات روند مصرف انرژی و شاخص‌های زیست‌محیطی در تولید محصولات زراعی با رویکرد ارزیابی چرخه زندگی طی سال‌های ۱۴۰۱-۱۳۹۷، *مجله مهندسی بیوسیستم ایران*، ۵۴ (۳)، ۱۸-۱.
https://doi.org/10.22059/ijbse.2023.364738.665522

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
© نویسندگان.
DOI: https://doi.org/10.22059/ijbse.2023.364738.665522

مقدمه

انرژی به‌عنوان یکی از عوامل اساسی در راهبرد توسعه پایدار هر جامعه شناخته شده است. هرگونه هزینه‌ای مرتبط با انرژی و همچنین دسترسی به آن، از سطح سنتی تا صنعتی، می‌تواند بحرانی را در جامعه به وجود آورد. بنابراین، مدیریت انرژی به‌عنوان راهبردی برای بهره‌برداری حداکثری از منابع انرژی شناخته می‌شود. در چارچوب راهبرد توسعه اقتصادی، هر کشور باید راه‌حل مسئله انرژی را پیدا کند. افزایش مصرف انرژی، باعث افزایش هزینه‌ها و همچنین افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. علاوه‌بر این، تأثیر آلودگی‌ها به صورت مستقیم بر سلامت عمومی جوامع، کشاورزی و اکوسیستم‌ها منفی است و باعث تحمیل هزینه‌های اجتماعی بسیار بالایی به جامعه می‌شود. انرژی در کشاورزی از دو منبع اصلی تجدیدناپذیر مانند سوخت‌های فسیلی و منابع انرژی تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی، باد و آب تأمین می‌شود (Ghasemi-Mobtaker et al., 2020). استفاده از منابع انرژی تجدیدناپذیر مانند سوخت‌های فسیلی، باعث افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلودگی هوا می‌شود. بنابراین، برخی از کشاورزان به دنبال استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر هستند که علاوه‌بر اینکه برای محیط زیست مناسب‌تر هستند، همچنین کمک می‌کنند تا هزینه‌های کشاورزی کاهش یابد (Amin et al., 2022). امروزه بحران‌های محیط‌زیستی و افزایش نیاز به منابع طبیعی، اهمیت بیشتری به ارزیابی چرخه زندگی محصولات و فرآیندهای تولیدی آن‌ها داده است. ارزیابی چرخه زندگی یک رویکرد سیستماتیک است که به بررسی تمام مراحل زندگی یک محصول از تأمین مواد اولیه تا دفع پسماندها پرداخته و تأثیرات زیست‌محیطی و انرژی مصرفی در هر مرحله را بررسی می‌کند. هدف این رویکرد، بهبود پایداری محصولات و فرآیندهای تولیدی آن‌ها با کاهش اثرات زیست‌محیطی و مصرف بهینه منابع است. چرخه زندگی برای بررسی تأثیرات محصول یا خدمات بر محیط زیست، از منابع طبیعی و اجتماعی و برای بهینه‌سازی عملکرد محصول، از ابتدا تا پایان چرخه زندگی انجام می‌شود. با ارزیابی چرخه زندگی، می‌توان به برنامه‌ریزی برای بهینه‌سازی تولید محصولات و ارائه خدمات، کاهش تأثیرات منفی بر محیط‌زیست و افزایش سودآوری کمک کرد (Kaab et al., 2019a).

مطالعات مختلفی در خصوص بررسی مصرف انرژی و ارزیابی چرخه زندگی برای تشخیص میزان آثار زیست‌محیطی تولید محصولات کشاورزی انجام شده است. رجبی و همکاران (۱۳۹۱) نشان دادند که عملیات تهیه زمین گندم با انرژی معادل ۲۰۹۱ مگاژول در هکتار بالاترین سهم را در مصرف سوخت داشت و به دنبال آن عملیات برداشت، آبیاری و کاشت هر کدام به ترتیب با انرژی معادل ۶۳۷/۹، ۳۶۹/۳ و ۲۸۳/۴ مگاژول در هکتار در رتبه‌های بعدی قرار دارند. ملائی و افضلی‌نیا (۱۳۹۱) در پژوهشی، وضعیت شاخص‌های انرژی تولید گندم و کلزا را بررسی کردند. نتایج نشان داد که نسبت انرژی برای تولید گندم و کلزا به ترتیب ۲/۲۹ و۱/۷۶ می‌باشد. در هر دو محصول بیشترین انرژی ورودی به ترتیب مربوط به کود شیمیایی و سوخت دیزل بود در نهایت نتیجه‌گیری شد با توجه به بالاتر بودن شاخص انرژی محاسبه شده برای گندم در مقایسه با کلزا، از نظر موازنه انرژی، تولید گندم بر تولید کلزا ارجحیت دارد.

در پژوهشی به محاسبه شاخص‌های انرژی مصرفی و تجزیه‌وتحلیل انتشار دی‌اکسیدکربن در مزارع نیشکر پرداخته شد. نتایج نشان داد که کل انرژی ورودی در مزارع پلنت و راتون به ترتیب ۱۹۸ و ۱۴۴ گیگاژول بر هکتار می‌باشد (Sefeedpari et al., 2014). در بررسی اثرات زیست‌محیطی نظام‌های تولید آبی و دیم گندم در ایران با استفاده از ارزیابی چرخه زندگی، بیشترین و کمترین اثرات زیست‌محیطی در تولید گندم آبی به ترتیب برای گروه‌های تأثیر گرمایش جهانی و یوتریفیکاسیون به‌دست آمد. در حالی که در نظام تولید گندم دیم این گروه‌های تأثیر مربوط به یوتریفیکاسیون آبی و اسیدی شدن بود (خرم‌دل و همکاران، ۱۳۹۳). در مطالعه‌ای که به ارزیابی چرخه زندگی تولید کلزا در استان مازندران پرداخته شد، نتایج نشان داد نهاده‌های نیتروژن و سوخت دیزل پرمصرف‌ترین بودند. همچنین تحلیل و بررسی شاخص‌های زیست‌محیطی نشان داد که بیشترین میزان آلایندگی مرتبط با سه شاخص مواد غیرآلی تنفسی، گرم شدن کره زمین، و مصرف انرژی تجدیدناپذیر است (موسوی‌اول و همکاران، ۱۳۹۴). در پژوهشی با استفاده از رویکرد ارزیابی چرخه زندگی، سه محصول مختلف شامل ذرت، گندم و سویا مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این ارزیابی نشان داد که مقدار شاخص‌های اسیدی شدن و اکسیداسیون فتوشیمیایی برای گندم، ذرت و سویا به ترتیب به مقادیر ۱۶/۷۴۲۷، ۱۴/۸۹۶۴ و ۶/۶۴۵۹ کیلوگرم است. بنابراین، نتیجه‌گیری شد که تولید گندم با بیشترین میزان اسیدیته و اکسیداسیون فتوشیمیایی همراه است (Ghasempour, 2018). در مطالعه‌ای به بررسی شاخص‌های زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی و یافتن راه‌هایی برای افزایش پایداری محصول نیشکر پرداخته شده است. نتایج این مطالعه مشخص کرد که سوزاندن سربرگ‌های نیشکر و استفاده بیش از حد از کودهای شیمیایی نه تنها دلایل اصلی عملکرد منفی زیست‌محیطی، بلکه عملکرد منفی اجتماعی و اقتصادی نیز هستند (Prasara et al., 2019). در مطالعه‌ای به بهبود بهره‌وری انرژی در کشور چین پرداخته شد. این مطالعه نقش نهاده‌های کشاورزی را در مصرف انرژی، رشد تولید محصول و بهبود بهره‌وری انرژی از دیدگاه بلندمدت (۱۹۴۹ تا ۲۰۲۰)

بررسی کرد. نتایج نشان داد، مصرف کل انرژی با نرخ‌های مختلف در مراحل مختلف افزایش یافته و همچنین بهره‌وری انرژی یک روند نزولی را نشان داد (Mu et al., 2023).

محصولات زراعی به عنوان یکی از عوامل اساسی تأمین غذا و تأمین اقتصادی در کشورها، نقش بسیار مهمی در زندگی انسان‌ها و حفظ محیط زیست دارند. اما، تولید این محصولات همراه با مصرف گسترده انرژی و تأثیرات زیست‌محیطی قابل‌توجهی است. بنابراین، ارزیابی تغییرات روند مصرف انرژی و شاخص‌های زیست‌محیطی در تولید محصولات زراعی در طول زمان امری ضروری است. با توجه به اهمیت مطالعه تغییرات روند مصرف انرژی و شاخص‌های زیست‌محیطی در تولید محصولات زراعی، این مطالعه می‌تواند به شناخت بهتر و بهینه‌سازی فرآیندهای تولید، کاهش مصرف انرژی و بهبود شاخص‌های زیست‌محیطی در این صنعت کمک کند. نتایج این مطالعه می‌تواند به سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیران در حوزه محیط زیست و کشاورزی کمک کند تا تصمیمات مناسبی برای حفظ محیط زیست و توسعه پایدار اتخاذ کنند. این تحقیق در زمینه بررسی مصرف انرژی و آلاینده‌های زیست‌محیطی در محصولات کشت و صنعت بسیار حائز اهمیت است و به عنوان اولین گام مطالعه جامع در این حوزه، با تمرکز بر روی تولید نیشکر به عنوان محصول اصلی و گندم، کلزا و آفتابگردان به عنوان محصولات فرعی، انجام شده است. در این مطالعه روند مصرف انرژی و تأثیرات زیست‌محیطی در طول یک دوره ۵ ساله مورد ارزیابی قرار گرفته است. علاوه‌بر این، راهکارهایی برای کاهش مصرف انرژی و اثرات زیست‌محیطی این محصولات ارائه شده است. در پایان، محصولات فرعی مورد بررسی قرار گرفته و رتبه‌بندی شده‌اند.

مواد و روش‌ها

موقعیت و شرایط منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در استان خوزستان شهرستان شوشتر، منطقه شعیبیه، شرکت کشت و صنعت امام خمینی (ره)، یکی از کشت و صنعت‌های مهم در ایران، انجام شد. این شرکت در اراضی شعیبیه، بین رودخانه‌های شطیط و دز در۳۰ کیلومتری جنوب شهر شوشتر واقع شده است. محدوده طرح بخشی از دشت شعیبیه واقع در دهستان شعیبیه از توابع شهرستان شوشتر به مساحت تقریبی ۱۵۳۰۰ هکتار است (شکل ۱). موقعیت جغرافیایی این منطقه بین ۴۸ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۱۲ دقیقه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۲۶ دقیقه عرض شمالی قرارگرفته است (آمارنامه سالانه وزارت جهاد کشاورزی ایران، ۱۳۹۹).

شکل ۱. موقعیت کشت و صنعت امام خمینی (ره) در استان خوزستان

جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز

برای جمع‌آوری اطلاعات مربوط به وضعیت تولید محصولات کشت و صنعت در دوره زمانی ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۱، از آمار ثبت شده در مدیریت برنامه‌ریزی کشت و صنعت امام خمینی (ره) استفاده شد. این اطلاعات شامل آمارنامه مدیریت برنامه‌ریزی کشت و صنعت امام خمینی (ره) و ترازنامه انرژی بود. با استفاده از این منابع، آمار و اطلاعات مورد نیاز برای تحلیل و بررسی وضعیت تولید محصولات کشت و صنعت گردآوری شد. محصول اصلی در این کشت و صنعت نیشکر است. در طول دوره زمانی، پس از برداشت نیشکر، محصولات فرعی مانند گندم، کلزا و آفتابگردان نیز کشت می‌شوند.

روند مصرف انرژی در تولید محصولات منطقه مورد مطالعه

برای محاسبه میزان انرژی مصرفی محصولات کشت و صنعت، ابتدا مقدار ورودی و خروجی محصولات اندازه‌گیری شد و سپس به انرژی معادل خود تبدیل شدند (جدول ۱). نهاده‌های مورد استفاده در تولید محصولات مورد بررسی شامل نیروی انسانی، ماشین‌ها، سوخت دیزل، کودهای شیمیایی، الکتریسیته، سموم شیمیایی و ... می‌باشد، که برای هر یک از محصولات به صورت جداگانه و برای هر سال انرژی معادل تولید محصول محاسبه شد تا روند مصرف انرژی مشخص شود. به این صورت طبق رابطه (۱) با ضرب میزان مصرف هر یک از نهاده‌ها در ضریب انرژی آن نهاده، انرژی مصرفی معادل آن محاسبه شد.

جدول ۱. هم‌ارز انرژی نهاده‌ها و ستانده‌ها در تولید محصولات کشت و صنعت

عنوان	واحد	محتوای انرژی (مگاژول بر واحد)	منبع
نهاده‌ها			
۱- نیروی انسانی	ساعت	۱/۹۶	(Kitani, 1999)
۲- ماشین‌ها	کیلوگرم	۶۲/۷	(Kitani, 1999)
۳- سوخت دیزل	لیتر	۵۶/۳۱	(کعب و همکاران، ۱۳۹۸)
۴- الکتریسیته	کیلووات ساعت	۱۱/۹۳	(بنائیان و همکاران، ۱۳۹۰)
۵- سموم شیمیایی	کیلوگرم	۲۵۰	(Kaab et al., 2019b)
۶- کودهای شیمیایی	کیلوگرم		
نیتروژن		۷۸/۱	(Kitani, 1999)
فسفر		۱۲/۴۴	(Kitani, 1999)
۷- قلمه نیشکر	کیلوگرم	۱/۲	(Nakashima and Ishikawa, 2016)
۸- حمل و نقل	تن کیلومتر	۴/۵	(Kitani, 1999)
۹- بذر گندم	کیلوگرم	۱۳	(Kitani, 1999)
۱۰- بذر کلزا	کیلوگرم	۳/۶	(Kitani, 1999)
۱۱- بذر آفتابگردان	کیلوگرم	۲۶/۳	(Kitani, 1999)
ستانده‌ها			
۱- نیشکر	کیلوگرم	۱/۲	(Nakashima and Ishikawa, 2016)
۲- گندم	کیلوگرم	۱۳	(Kitani, 1999)
۳- کلزا	کیلوگرم	۲۵	(Kitani, 1999)
۴- آفتابگردان	کیلوگرم	۲۶/۳	(Kitani, 1999)

رابطه ۱) $$E_{input} = I_{consumption} \times ec_{input}$$

که در آن E_{input} انرژی معادل نهاده‌های مصرفی برحسب مگاژول، $I_{consumption}$ میزان نهاده مصرفی (نیروی انسانی، سوخت دیزل و غیره) برحسب واحد آن و ec_{input} محتوای انرژی نهاده برحسب مگاژول بر واحد می‌باشد. جهت برآورد انرژی نهاده برای ماشین‌ها و تجهیزات در هکتار باید وزن ماشین‌های استفاده شده در مزرعه، مدت ساعات کاری در هکتار، هم‌ارز انرژی و عمر مفید هر ماشین برحسب سال منظور شود. برای محاسبه انرژی ماشین‌ها و ادوات از رابطه (۲) استفاده شد (قاسمی‌مبتکر، ۱۳۹۸).

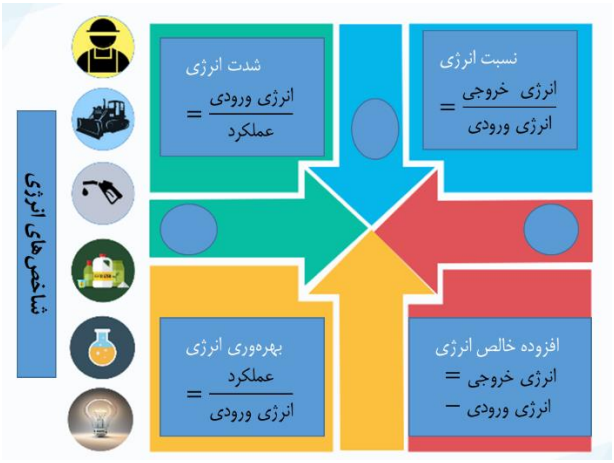
رابطه ۲) $$ME = \frac{G \times M_P \times t}{T}$$

که در آن ME انرژی ماشین در واحد سطح (مگاژول بر هکتار)، G جرم ماشین (کیلوگرم)، M_P انرژی ماشین (مگاژول بر کیلوگرم)، t زمان استفاده شده از ماشین در واحد سطح (ساعت) و T عمر مفید ماشین (ساعت) است.

شاخص‌های انرژی

شاخص‌های انرژی در سامانه‌های تولیدی موردنظر، بررسی شد که یکی از مهم‌ترین اقدامات در فرآیند تحلیل انرژی محسوب می‌شود. در این راستا از شاخص‌های مختلفی استفاده می‌شود. شامل نسبت انرژی (بدون واحد)، بهره‌وری انرژی (کیلوگرم بر مگاژول)، شدت انرژی

(مگاژول بر کیلوگرم) و افزوده خالص انرژی (مگاژول) که روابط شاخص‌های انرژی در شکل (۲) مشخص شدند.



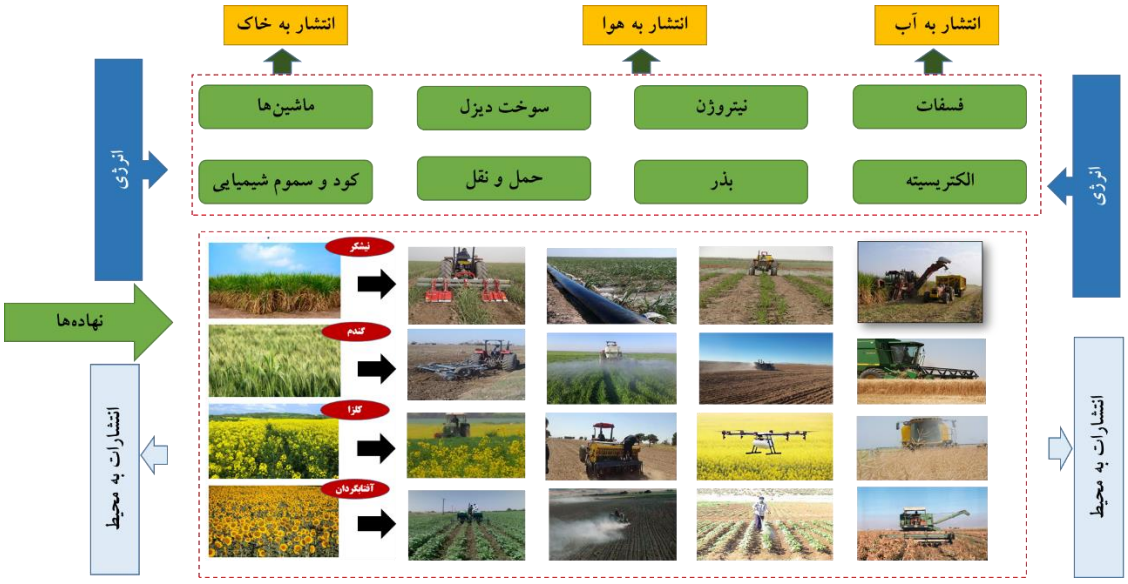
شکل ۲. شاخص‌های انرژی در فرآیند تولید.

ارزیابی چرخه زندگی

بررسی اثرات زیست‌محیطی به منظور شناسایی اثرات زیست‌محیطی تولید محصولات مورد مطالعه می‌باشد. بدین منظور پژوهش حاضر برای رسیدن به یک تولید پایدار در کشت و صنعت با استفاده از رویکرد چرخه زندگی انجام شد. به‌طورکلی یک پژوهش ارزیابی چرخه زندگی دارای چهار مرحله اصلی شامل ۱) تعیین هدف و دامنه ۲) تحلیل سیاهه، ۳) ارزیابی اثرات و ۴) تفسیر نتایج به دست آمده از مرحله ارزیابی اثرات در جهت تصمیم‌گیری‌ها، ارائه پیشنهادها و شناسایی محدودیت‌ها و فرصت‌ها است (ISO, 2006).

تعیین هدف و دامنه

این مرحله یک گام اصلی در انجام یک پروژه ارزیابی چرخه زندگی است. هدف و دامنه در یک مطالعه چرخه زندگی باید در ابتدای کار تعیین شده و سازگار با کاربرد مورد نظر پژوهش باشد (Kaab et al., 2019a). در این راستا، هدف اصلی این پژوهش ارزیابی اثرات زیست‌محیطی تولید محصولات مختلف کشت و صنعت می‌باشد، برای نیل به این هدف باید مرزهای سامانه‌های مورد بررسی و همچنین واحد عملکردی به خوبی تعریف شود (Ghasemi-Mobtaker et al., 2020). در این پژوهش یک تن محصول تولیدی به عنوان واحد عملکردی درنظر گرفته شد. همچنین مرز سامانه از کشت محصولات شروع و با تولید محصول خاتمه می‌یابد. (شکل ۳).



شکل ۰. مرز سامانه در پژوهش پیش‌رو

تجزیه و تحلیل سیاهه

پس از تعریف هدف و مشخص نمودن مرز سامانه و واحد عملکردی، نیاز به تنظیم فهرست ورودی‌ها و خروجی‌های چرخه زندگی تولید محصول به‌عنوان دومین مرحله از مراحل پژوهش‌های ارزیابی چرخه زندگی است. این مرحله شامل جمع‌آوری داده‌ها و انجام محاسبات به‌منظور کمی‌سازی ورودی‌ها و خروجی‌ها از مرزهای سامانه در چرخه زندگی تولید یک محصول است (ISO, 2006). به‌طور خلاصه، هر ماده‌ای که به مرز سامانه وارد شده و یا از آن خارج شود جمع‌آوری شده و لیست سیاهه بر اساس آن‌ها تشکیل می‌شود. داده‌های جمع‌آوری‌شده باید بر اساس واحد عملکردی گزارش شده و وارد لیست سیاهه شوند. در این پژوهش داده‌های مرتبط با میزان مصرف مواد و حامل‌های انرژی ورودی به سامانه تولیدی و میزان تولید محصولات خروجی و همچنین محصولات تولید شده از سامانه به‌طور مستقیم جمع‌آوری شد. همچنین داده‌های مربوط به اثرات زیست‌محیطی از تولید مواد و حامل‌های انرژی (از استخراج مواد اولیه تا ورود به سامانه) از پایگاه داده‌های موجود همچون اکواینونت[1] موجود در نرم‌افزار سیماپرو[2] استخراج شد.

ارزیابی اثرات چرخه زندگی

در این مرحله یک ارتباط مشخص بین محصول و اثرات زیست‌محیطی بالقوه‌اش برقرار می‌شود؛ در واقع هدف این مرحله، تبدیل نتایج کمی بخش ارزیابی سیاهه به نتایج کیفی و قابل‌فهم است که به درک بهتر اثرات و پیامدهای زیست‌محیطی سامانه مورد پژوهش بیانجامد (ISO, 2006). روش‌های مختلفی برای ارزیابی اثرات چرخه زندگی مطرح شده است که در این پژوهش روش ReCiPe 2016 که دامنه کاربرد آن در سطح جهانی است، مورد استفاده گرفت. با استفاده از این روش، ۳ نقطه نهایی سلامت انسان، منابع و زیست‌بوم‌ها مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۴). سلامت انسان با واحد (DALY) در واقع یک خسارت برابر است با یک نفر چهار سال زندگی با معلولیت ۲۵ درصد می‌باشد. زیست‌بوم‌ها با واحد (species.yr) نشان از ناپدید شدن همه گونه‌ها از یک مترمربع در طول یک سال می‌باشد. واحد منابع نیز (USD_{2013}) می‌باشد که نشان از ارزش اقتصادی منابع بر حسب دلار می‌باشد.

شکل ۴. همبستگی بین نقاط میانی و نقاط پایانی بر اساس روش ReCiPe 2016

1 EcoInvent
2 SimaPro

تفسیر ارزیابی چرخه زندگی

در مرحله تفسیر نتایج تحلیل سیاهه و ارزیابی اثرات چرخه زندگی، نتایج و توصیه‌های متنوعی ارائه می‌شوند. این مرحله شامل تشخیص و تعیین مسائل حائز اهمیت بر اساس نتایج مراحل تحلیل سیاهه و ارزیابی اثرات چرخه زندگی استاندارد ایزو می‌باشد. در این مرحله، ارزیابی تحقیق در زمینه قابلیت تکمیل، حساسیت و ثبات نیز انجام می‌شود. همچنین، در این مرحله نتایج، محدودیت‌ها و توصیه‌ها نیز بررسی می‌شوند.

نتایج و بحث

روند تغییرات مصرف انرژی در تولید محصولات منطقه مورد مطالعه

جدول (۲) نشان‌دهنده روند مصرف انرژی برای تولید محصول نیشکر از سال ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۱ است. براساس نتایج به دست آمده، مشاهده می‌شود که مصرف انرژی در این سال‌ها در حال افزایش بوده است و هر سال مصرف انرژی بیشتری نسبت به سال‌های قبلی صورت گرفته است. مصرف انرژی در مزارع نیشکر در سال‌های ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۱ به ترتیب برابر با ۱۳۱/۰۵، ۱۴۲/۴۷، ۱۵۲/۱۶، ۱۵۵/۴۵ و ۱۶۱/۷۱ گیگاژول بر هکتار محاسبه شده است. همچنین، مشاهده می‌شود که میزان خروجی انرژی در سال ۱۴۰۱ نسبت به سال‌های قبلی بیشتر بوده است. علت این افزایش در مصرف انرژی، استفاده بیش از حد از منابع تجدیدناپذیر، به‌ویژه الکتریسیته، سوخت دیزل و کودهای شیمیایی می‌باشد که بیشترین مصرف انرژی را دارند. در مطالعات دیگر، میزان مصرف انرژی نهاده‌ها در مزارع پلنت و راتون نیز مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس نتایج این مطالعات، میزان مصرف انرژی در مزارع پلنت و راتون به ترتیب برابر با ۱۷۴۲۸۳/۷۶ و ۱۴۵۱۱۷/۷۹ مگاژول بر هکتار محاسبه شده است (هارونی و همکاران، ۱۳۹۴). در مطالعه‌ای که به چرخه کامل انرژی در تولید اتانول از ملاس نیشکر پرداختند، نتایج نشان داد که مقدار انرژی مصرفی برای مزارع پلنت برابر با ۱۹۴۲۸۳ مگاژول بر هکتار می‌باشد. از میان نهاده‌های مصرفی، الکتریسیته و سوخت دیزل به ترتیب با ۶۷/۸۱ و ۱۱/۷۹ درصد، بیشترین سهم از نهاده‌های انرژی را داشتند (غدیریان‌فر و همکاران، ۱۳۹۲).

جدول ۱. روند مصرف انرژی نهاده‌ها و ستانده در یک دوره ۵ ساله برای یک هکتار (مگاژول بر هکتار) در تولید نیشکر

عنوان	سال زراعی				
	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۴۰۰	۱۴۰۱
نهاده‌ها	–	–	–	–	–
۱- نیروی انسانی	۳۲۴/۵۵	۳۴۸/۱۵	۳۵۲/۵۸	۳۵۳/۵۶	۳۶۷/۷۹
۲- ماشین‌ها	۴۰۵۰۱/۶۹	۴۴۰۷۴/۹۶	۴۹۱۷۳/۱۰	۵۰۲۷۵/۳۶	۵۲۷۰۳/۱۱
۳- الکتریسیته	۳۰۶۴۷/۶۹	۳۵۱۳۸/۱۴	۳۷۶۳۷/۸۳	۳۸۲۳۵/۴۱	۳۸۸۲۳/۲۰
۴- سوخت دیزل	۲۱۹۸۶/۲۳	۲۲۳۴۷/۷۴	۲۳۱۰۱/۷۴	۲۳۴۵۵/۳۶	۲۴۹۲۱/۶۸
۵- کودهای شیمیایی					
الف) نیتروژن	۱۳۲۷۷/۰۰	۱۴۳۷۰/۴۰	۱۴۴۴۸/۵۰	۱۴۸۳۹/۰۰	۱۵۶۲۰/۰۰
ب) فسفر	۷۴۶/۴۰	۹۳۳/۰۰	۱۰۴۴/۹۶	۱۱۱۹/۶۰	۱۲۴۴/۰۰
۶- سموم شیمیایی	۳۹۲۲/۵۰	۴۶۸۵/۰۰	۴۹۰۷/۵۰	۵۲۱۷/۵۰	۵۳۹۰/۰۰
۷- قلمه نیشکر	۱۰۲۰۰/۰۰	۱۰۶۸۰/۰۰	۱۰۹۲۰/۰۰	۱۱۱۶۰/۰۰	۱۱۴۰۰/۰۰
۸- حمل و نقل	۹۴۵۰/۰۰	۹۹۰۰/۰۰	۱۰۵۷۵/۰۰	۱۰۸۰۰/۰۰	۱۱۲۵۰/۰۰
انرژی کل نهاده‌ها	۱۳۱۰۵۶/۰۸	۱۴۲۴۷۷/۴۱	۱۵۲۱۶۱/۲۲	۱۵۵۴۵۵/۸۱	۱۶۱۷۱۹/۷۹
ستانده					
۱- نیشکر	۱۰۶۸۰۰/۰۰	۱۱۰۴۰۰/۰۰	۱۱۵۲۰۰/۰۰	۱۲۲۴۰۰/۰۰	۱۲۴۸۰۰/۰۰

جدول (۳) روند مصرف انرژی برای تولید محصول گندم از سال ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۱ را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به دست آمده، مصرف انرژی در مزارع گندم در این دوره به ترتیب برابر با ۳۰/۴۹، ۳۲/۷۰، ۳۵/۱۰، ۳۶/۵۲ و ۳۸/۰۲ گیگاژول بر هکتار محاسبه شده است. همچنین، میزان انرژی خروجی در این دوره به ترتیب برابر با ۴۹/۴۰، ۵۰/۷۰، ۶۳/۳۰، ۵۵/۲۵ و ۵۵/۹۰ گیگاژول بر هکتار محاسبه شدند. در این محصول نهاده‌های پرمصرف شامل کود نیتروژن و سوخت دیزل بوده است. در تحقیقی، پازکی طرودی و همکاران (۱۳۹۶) به ارزیابی بیلان انرژی و انتشار دی‌اکسیدکربن در مزارع تولید گندم پرداختند. آن‌ها گزارش کردند، استفاده بهینه از منابع انرژی با انتخاب

درست نوع، مقدار، روش و زمان استفاده از نهاده‌هایی مانند کودها و سموم شیمیایی، نقش مهمی در کاهش مصرف انرژی دارد. در تحقیقی، رجبی و همکاران (۱۳۹۱) به ارزیابی مصرف انرژی در تولید گندم در گرگان پرداختند. میانگین انرژی ورودی در کل مزارع برابر با ۱۵۵۷۸/۶ مگاژول در هکتار به دست آمد، همچنین نتایج نشان داد کودهای شیمیایی با ۴۵/۸ درصد و نیتروژن با ۳۸/۳ درصد، بیشترین سهم را در کل انرژی ورودی تشکیل می‌دهند.

جدول ۳. روند مصرف انرژی نهاده‌ها و ستانده در یک دوره ۵ ساله برای یک هکتار (مگاژول بر هکتار) در تولید گندم

عنوان	سال زراعی				
	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۴۰۰	۱۴۰۱
نهاده‌ها	–	–	–	–	–
۱- نیروی انسانی	۲۲۶/۶۷	۲۳۲/۶۳	۲۳۶/۳۳	۲۳۹/۸۸	۲۴۶/۲۷
۲- ماشین‌ها	۹۸۰/۰۰	۱۲۰۶/۳۴	۱۳۶۹/۳۶	۱۵۲۷/۳۷	۱۶۸۶/۰۰
۳- الکتریسیته	۶۰۸۴/۳۰	۶۴۶۶/۰۶	۶۸۳۵/۸۹	۶۹۱۹/۴۰	۷۵۱۵/۹۰
۴- سوخت دیزل	۸۵۱۵/۷۶	۸۷۶۶/۹۰	۹۰۰۲/۲۷	۹۰۶۳/۰۹	۹۲۵۵/۱۱
۵- کودهای شیمیایی					
الف) نیتروژن	۹۷۶۲/۵۰	۱۰۹۳۴/۰۰	۱۲۱۸۳/۶۰	۱۳۱۹۸/۹۰	۱۳۶۶۷/۵۰
ب) فسفر	۹۲۰/۵۶	۹۴۵/۴۴	۱۱۴۴/۴۸	۱۱۸۱/۸۰	۱۱۸۱/۸۰
۶- سموم شیمیایی	۱۶۲۵/۰۰	۱۷۰۰/۰۰	۱۸۵۰/۰۰	۱۸۶۲/۵۰	۱۸۷۵/۰۰
۷- بذر	۲۳۷۹/۰۰	۲۴۵۷/۰۰	۲۴۸۳/۰۰	۲۵۳۵/۰۰	۲۶۰۰/۰۰
انرژی کل نهاده‌ها	۳۰۴۹۳/۷۹	۳۲۷۰۸/۳۸	۳۵۱۰۴/۹۵	۳۶۵۲۷/۹۵	۳۸۰۲۷/۵۸
ستانده					
۱- گندم	۴۹۴۰۰/۰۰	۵۰۷۰۰/۰۰	۶۳۳۰۰/۰۰	۵۵۲۵۰/۰۰	۵۵۹۰۰/۰۰

جدول (۴) نشان می‌دهد که میزان مصرف انرژی برای تولید محصول کلزا در سال‌های ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۱ متغیر بوده است. به ترتیب، مصرف انرژی در این سال‌ها به ترتیب برابر با ۱۹/۴۴، ۲۰/۸۱، ۲۲/۶۸، ۲۳/۸۳ و ۲۴/۸۶ گیگاژول بر هکتار بوده است. همچنین، میزان انرژی خروجی در این سال‌ها به ترتیب برابر است با ۴۷/۵۰، ۵۰/۰۰، ۵۲/۵۰، ۵۳/۷۵ و ۵۷/۵۰ گیگاژول بر هکتار محاسبه شد. در تولید این محصول، نهاده‌های پرمصرف شامل کود نیتروژن و سوخت دیزل بودند. پژوهشی در بررسی و تحلیل انرژی کلزا در ترکیه انجام شد و گزارش شد متوسط نسبت انرژی ۴/۶۸ است (Unakitan et al., 2010). مطالعه‌ای درباره الگوی مصرف انرژی برای تولید کلزا در استان گلستان ایران انجام شد. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که میزان کل انرژی مصرفی برای تولید کلزا در هر هکتار ۱۷۷۸۶ مگاژول بود (Mousavi-Avval et al., 2011). تفاوت و تطابق با مطالعات دیگر در مورد مصرف انرژی برای تولید کلزا در سال‌های مختلف قابل مشاهده است. در مطالعه انجام شده در ترکیه، متوسط نسبت انرژی برای تولید کلزا برابر با ۴/۶۸ بوده است و این مقدار با افزایش اندازه مزرعه افزایش می‌یابد. این نتیجه نشان می‌دهد که در مزارع بزرگ، انرژی به‌طور مؤثرتری مصرف می‌شود. از طرف دیگر، در مطالعه انجام شده در استان گلستان ایران، میزان کل انرژی مصرفی برای تولید کلزا در هر هکتار برابر با ۱۷۷۸۶ مگاژول بوده است. بنابراین، تفاوت‌ها در مصرف انرژی بین مطالعات مختلف ممکن است به دلیل عوامل متغیر مانند شرایط آب و هوایی، نوع خاک، میزان استفاده از نهاده‌های پرمصرف و اندازه مزرعه باشد. همچنین، تطابق‌ها نیز در این است که در هر دو مطالعه، مصرف انرژی برای تولید کلزا به افزایش اندازه مزرعه افزایش می‌یابد.

جدول (۵) روند مصرف انرژی در بازه زمانی ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۱ را برای تولید محصول آفتابگردان نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به دست آمده، میزان مصرف انرژی در مزارع آفتابگردان در سال‌های مذکور به ترتیب برابر با ۴۴/۱۹، ۸۲/۱۴، ۶۱/۱۵، ۲۰/۱۶ و ۷۶/۱۶ گیگاژول بر هکتار محاسبه شد. همچنین، میزان خروجی انرژی برابر است با ۳۴/۴۷، ۹۷/۴۹، ۲۸/۵۱، ۸۱/۵۱ و ۶۰/۵۲ گیگاژول بر هکتار به ترتیب از سال ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۱ محاسبه شده است. در تولید این محصول، نهاده‌های پرمصرف شامل کود نیتروژن، سوخت دیزل و الکتریسیته بوده است. در یک تحقیق در مورد مصرف انرژی در تولید گل آفتابگردان، نتایج نشان داد که میزان انرژی ورودی برابر با ۱۰۱۳۹ مگاژول بر هکتار است. بیشترین مصرف انرژی برای سوخت دیزل با ۵۹/۹۸ درصد و پس از آن، کودهای شیمیایی با ۲۸/۷۶ درصد برآورد شد (Unakıtan and Aydın, 2018). در مطالعه‌ای دیگر به تجزیه و تحلیل انرژی برای محصولات دانه‌ای در شمال چین پرداخته شد، نتایج

نشان داد که انرژی الکتریسیته بیشترین میزان و سهم انرژی مصرفی برای تولید گندم و ذرت را به خود اختصاص داده بود (Wang et al., 2014). با توجه به مطالعات مذکور، تفاوت و تطابق در مصرف انرژی برای تولید محصول آفتابگردان و محصولات دیگر مشاهده می‌شود. در مطالعه اول، سوخت دیزل و کودهای شیمیایی به ترتیب بیشترین مصرف انرژی را در تولید آفتابگردان داشتند. اما در مطالعه دوم، انرژی الکتریسیته بیشترین سهم را در مصرف انرژی برای تولید گندم و ذرت داشت. به‌طور کلی، می‌توان گفت که تفاوت‌ها در مصرف انرژی بین محصولات مختلف به عوامل مختلفی مانند نوع نهاده‌های استفاده شده، فناوری‌های مورد استفاده در تولید، شرایط آب و هوایی و منطقه تولید بستگی دارد. همچنین، تطابق‌ها نشان می‌دهد که در برخی موارد، مصرف انرژی برای تولید محصولات دانه‌ای شبیه به هم است و انرژی الکتریسیته ممکن است بیشترین سهم را در مصرف انرژی داشته باشد.

جدول ۴. روند مصرف انرژی نهاده‌ها و ستانده در یک دوره ۵ ساله برای یک هکتار (مگاژول بر هکتار) در تولید کلزا

عنوان	سال زراعی				
	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۴۰۰	۱۴۰۱
نهاده‌ها	–	–	–	–	–
۱- نیروی انسانی	۱۷۶/۴۰	۱۷۹/۴۵	۱۸۳/۹۲	۱۸۵/۶۹	۱۸۶/۲۰
۲- ماشین‌ها	۸۰۵/۰۶	۸۵۸/۳۶	۹۲۶/۷۰	۹۳۹/۸۷	۹۷۸/۱۲
۳- الکتریسیته	۳۷۱۸/۶۰	۴۵۵۱/۶۴	۴۹۵۰/۹۵	۵۸۳۳/۷۷	۶۴۴۲/۲۰
۴- سوخت دیزل	۵۴۰۵/۷۶	۵۷۴۳/۶۲	۵۹۱۲/۵۵	۵۹۱۲/۵۵	۵۹۱۲/۵۵
۵- کودهای شیمیایی					
الف) نیتروژن	۷۳۴۱/۴۰	۷۹۶۶/۲۰	۸۵۹۱/۰۰	۸۷۴۷/۲۰	۸۹۸۱/۵۰
ب) فسفر	۵۰۸/۶۷	۵۱۳/۱۵	۵۶۷/۶۳	۶۱۸/۰۱	۶۲۹/۴۶
۶- سموم شیمیایی	۱۳۵۷/۵۰	۱۳۶۷/۵۰	۱۵۲۵/۰۰	۱۵۶۲/۵۰	۱۷۰۰/۰۰
۷- بذر	۳۰/۶۰	۳۰/۹۶	۳۱/۴۶	۳۲/۲۵	۳۲/۴۰
انرژی کل نهاده‌ها	۱۹۴۴۲/۹۹	۲۰۸۱۰/۸۹	۲۲۶۸۹/۲۳	۲۳۸۳۱/۸۵	۲۴۸۶۲/۴۳
ستانده					
۱- کلزا	۴۷۵۰۰/۰۰	۵۰۰۰۰/۰۰	۵۲۵۰۰/۰۰	۵۳۷۵۰/۰۰	۵۷۵۰۰/۰۰

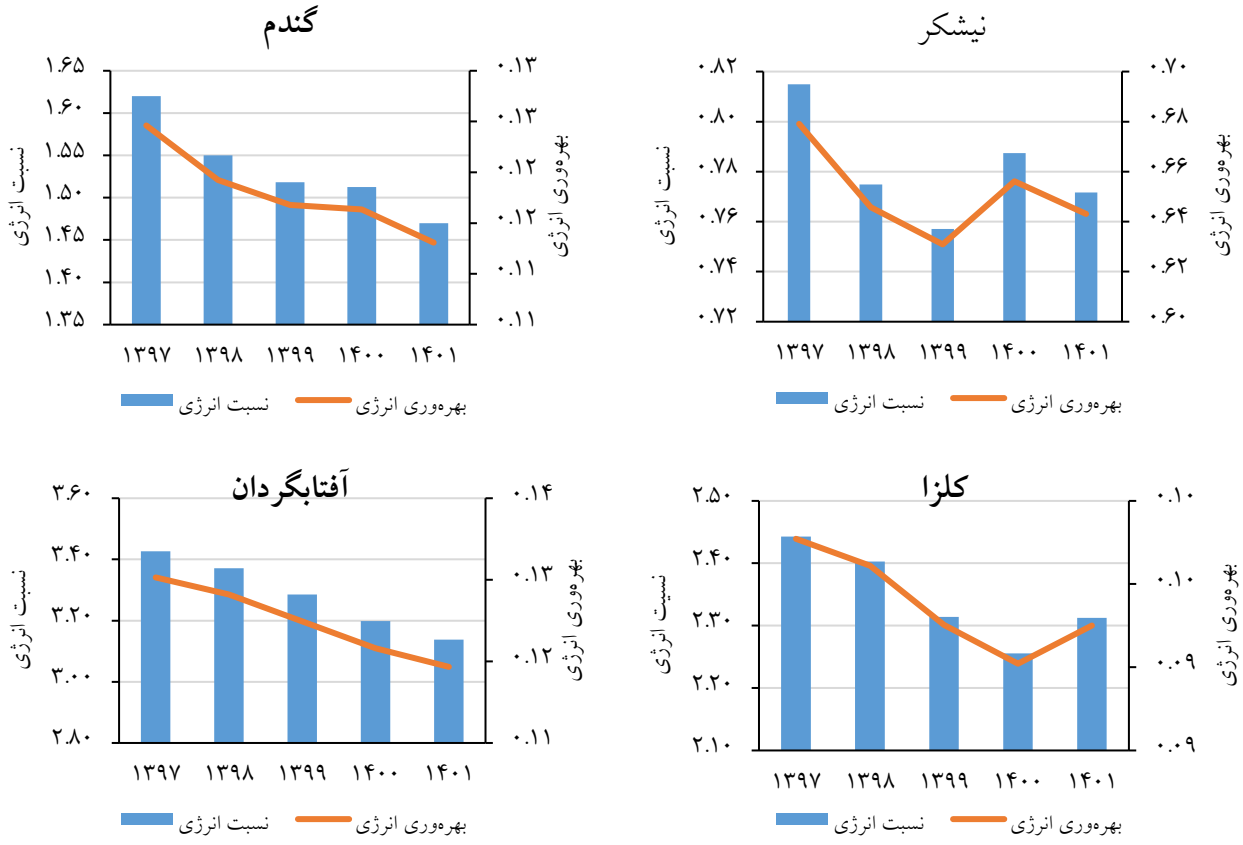
جدول ۵. روند مصرف انرژی نهاده‌ها و ستانده در یک دوره ۵ ساله برای یک هکتار (مگاژول بر هکتار) در تولید آفتابگردان

عنوان	سال زراعی				
	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۴۰۰	۱۴۰۱
نهاده‌ها	–	–	–	–	–
۱- نیروی انسانی	۱۸۶/۲۰	۲۱۵/۶۰	۲۲۵/۴۰	۲۴۵/۰۰	۲۵۴/۸۰
۲- ماشین‌ها	۴۷۴/۰۱	۵۲۷/۳۰	۵۵۹/۲۸	۵۷۰/۵۷	۶۰۱/۹۲
۳- الکتریسیته	۲۳۱۴/۴۲	۲۵۰۵/۳۰	۲۸۷۵/۱۳	۲۹۸۲/۵۰	۳۰۵۴/۰۸
۴- سوخت دیزل	۴۵۰۴/۸۰	۴۵۶۱/۱۱	۴۶۷۳/۷۳	۴۶۷۳/۷۳	۴۷۳۰/۰۴
۵- کودهای شیمیایی					
الف) نیتروژن	۵۰۷۶/۵۰	۵۴۶۷/۰۰	۵۴۶۷/۰۰	۵۸۷۰/۵۰	۶۲۴۸/۰۰
ب) فسفر	۵۲۲/۴۸	۵۵۹/۸۰	۵۵۹/۸۰	۶۲۲/۰۰	۶۲۲/۰۰
۶- سموم شیمیایی	۵۰۰/۰۰	۷۵۰/۰۰	۱۰۰۰/۰۰	۱۰۰۰/۰۰	۱۰۰۰/۰۰
۷- بذر	۲۳۶/۷۰	۲۳۶/۷۰	۲۴۹/۸۵	۲۴۹/۸۵	۲۴۹/۸۵
انرژی کل نهاده‌ها	۱۳۸۱۵/۱۱	۱۴۸۲۲/۸۱	۱۵۶۱۰/۱۹	۱۶۲۰۱/۱۵	۱۶۷۶۰/۶۹
ستانده					
۱- آفتابگردان	۴۷۳۴۰/۰۰	۴۹۹۷۰/۰۰	۵۱۲۸۵/۰۰	۵۱۸۱۱/۰۰	۵۲۶۰۰/۰۰

شکل (۵)، روند تغییرات نسبت و بهره‌وری انرژی تولید محصولات کشت و صنعت (نیشکر، گندم، کلزا و آفتابگردان) در سال‌های ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۱ را نشان می‌دهد که نسبت و بهره‌وری انرژی نیشکر از سال ۱۳۹۷ تا ۱۳۹۹ در حال کاهش بوده است. اما در سال ۱۴۰۰ افزایش یافته و در سال ۱۴۰۱ دوباره کاهش یافته است. مقادیر نسبت انرژی به ترتیب از سال ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۱ به ترتیب ۰/۸۱، ۰/۷۷،

۰/۷۶، ۰/۷۹ و ۰/۷۷ محاسبه شد. در دوره زمانی ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۱، نسبت انرژی برای محصولات گندم و آفتابگردان کاهش یافته است. در محصول گندم، نسبت انرژی از ۱/۶۲ به ۱/۴۷ کاهش یافته است و در محصول آفتابگردان، از ۳/۴۳ به ۳/۱۴ کاهش یافته است. همچنین، برای محصول کلزا، نسبت انرژی در سال ۱۳۹۷ برابر با ۲/۴۴ بوده و تا سال ۱۴۰۰ به ۲/۲۶ کاهش یافته و در سال ۱۴۰۱ مجدداً به ۲/۳۱ افزایش یافته است. این نتایج نشان می‌دهند که در سال‌هایی با نسبت انرژی بالا، بهره‌وری انرژی از نهاده‌ها به صورت بهینه‌تری استفاده شده است. همچنین، تغییرات بهره‌وری انرژی برای محصولات منطقه مورد مطالعه قابل مشاهده است و میزان تغییرات مشابه شاخص نسبت انرژی است. باید توجه داشت که نهاده سوخت دیزل، که بخش اعظمی از انرژی ورودی را تشکیل می‌دهد بیشترین نوسان را نشان داد. بیشترین افزایش و کاهش‌ها به تغییرات سالانه عملکرد برمی‌گردد. در سال‌هایی که افزایش نسبت انرژی مشاهده می‌شود، با افزایش کمی در نهاده‌های ورودی، افزایش بیشتری در انرژی خروجی مشاهده می‌شود.

در مطالعه‌ای روند مصرف و محاسبه شاخص‌های کارایی انرژی و تحلیل اقتصادسنجی مصرف انرژی در تولید غلات آبی کشور (گندم، جو، برنج، ذرت) در طی دوره زمانی ۱۳۸۷–۱۳۶۵ بررسی شد. نتایج نشان دادند روند مصرف انرژی در تولید غلات مورد بررسی در دوره یاد شده روند صعودی داشته است و مقدار کل انرژی ورودی و خروجی در سال ۱۳۸۷ نسبت به سال ۱۳۶۵ به ترتیب به مقدار ۲۷ و ۴۳ درصد افزایش یافته است. همچنین شاخص‌های کارایی و بهره‌وری مصرف انرژی غلات در طی دوره یاد شده دارای روند صعودی بوده است. نسبت انرژی از ۱/۴۵ در سال ۱۳۶۵ به ۱/۸۵ در سال ۱۳۸۷ افزایش یافته است، ولی افزایش در کارایی مصرف انرژی محصولات، همراه با افزایش انرژی ورودی بوده که نشان دهنده وابستگی بوم نظام‌های زراعی کشور به انرژی‌های ورودی به‌ویژه منابع تجدیدناپذیر همانند سوخت‌های فسیلی است (Bakhshi et al., 2018). در یک مطالعه دیگر در زمینه تولید گندم در ایران، شاخص‌های نسبت انرژی، بهره‌وری انرژی و افزوده خالص انرژی مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج، مقادیر این شاخص‌ها به ترتیب به عدد ۲/۷۳، ۰/۱۲ کیلوگرم بر مگاژول و ۷۴۳۵۲ مگاژول بر هکتار محاسبه شد (Ghasemi-Mobtaker et al., 2020).



شکل ۵. روند تغییرات نسبت انرژی و بهره‌وری انرژی در تولید محصولات کشت و صنعت

روند تغییرات اثرات زیست‌محیطی در تولید محصولات منطقه مورد مطالعه

به منظور ارزیابی اثرات زیست محیطی در تولید محصولات منطقه موردمطالعه، کل چرخه زندگی محصولات از مرحله استخراج منابع اولیه تا برداشت محصول در مزرعه مورد بررسی قرار گرفت. جدول (۶) نشان می‌دهد که روند اثرات زیست‌محیطی در محصولات کشت و صنعت از سال ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۱ افزایشی بوده است. اثر منابع بیشترین مقدار آلایندگی را تشکیل می‌دهند و مقادیر آن برای تولید نیشکر به ترتیب در سال‌های ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۱ به ترتیب برابر با ۱۲/۰۸، ۱۲/۶۴، ۱۲/۹۱، ۱۲/۴۰ و ۱۲/۴۷ USD_{2013} محاسبه شد. همچنین برای تولید گندم، این مقدار از ۶۱/۹۶ به ۶۸/۲۳ افزایش یافته است. برای تولید کلزا، این مقدار از ۷۹/۸۶ به ۸۵/۵۱ افزایش یافته است و در نهایت، برای تولید آفتابگردان، این مقدار از ۶۱/۸۲ به ۶۵/۷۳ افزایش یافته است. با توجه به محاسبه آلاینده‌های زیست‌محیطی در تولید محصولات کشت و صنعت، مشخص شد که بین نهاده‌های ورودی، الکتریسیته، سوخت دیزل و کودهای شیمیایی نقش بیشتری در انتشار آلایندگی دارند. شکل (۶) نشان می‌دهد که تغییرات در میزان آلایندگی اثر منابع با توجه به تحلیل پنج ساله، به طور مستقیم با افزایش مصرف انرژی مرتبط است. با افزایش مصرف انرژی برای فعالیت‌های کشاورزی، میزان آلاینده‌های زیست‌محیطی افزایش می‌یابد و همچنین این تغییرات در طی سال‌های ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۱ برای سایر آلاینده‌های زیست‌محیطی مانند سلامت انسان و اکوسیستم، روند صعودی داشته است. یکی از مطالعاتی که در رابطه با چرخه زندگی گیاه آفتابگردان انجام شده، تحقیقی است که توسط ایریارت و همکاران انجام شده است. این تحقیق برای مقایسه چرخه زندگی کلزا و آفتابگردان انجام شده و نتایج حاکی از آن است که اگرچه آلودگی زیست‌محیطی تولید آفتابگردان نسبت به کلزا بیشتر است، اما میزان انرژی تولید شده در آفتابگردان حدود ۳۰ درصد بیشتر از کلزا است (Iriarte et al, 2010). در تحقیقی به بررسی اثرات زیست‌محیطی تولید کلزا پرداخته شد. نتایج این تحقیق نشان داد بیشترین آلایندگی‌ها مربوط به کودهای شیمیایی است (Mousavi-Avval et al., 2017). مطالعه‌ای به منظور بررسی جریان انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی در روش‌های مختلف کشت آفتابگردان انجام شد. نتایج نشان داد که میزان انرژی ورودی در سه روش کاشت مرسوم، کم‌خاکورزی و مستقیم بـه ترتیـب برابر ۱۳۹۷۱، ۱۲۱۱۷ و ۱۰۸۶۵ مگاژول بر هکتار بود. کود نیتروژن و سوخت‌دیزل بیشترین سهم انرژی ورودی را داشتند. کمترین مقدار پتانسیل گرمایش جهانی در روش کاشت مستقیم به میزان ۱۴۴۹ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن در هکتار محاسبه شد (Omidmehr, 2019).

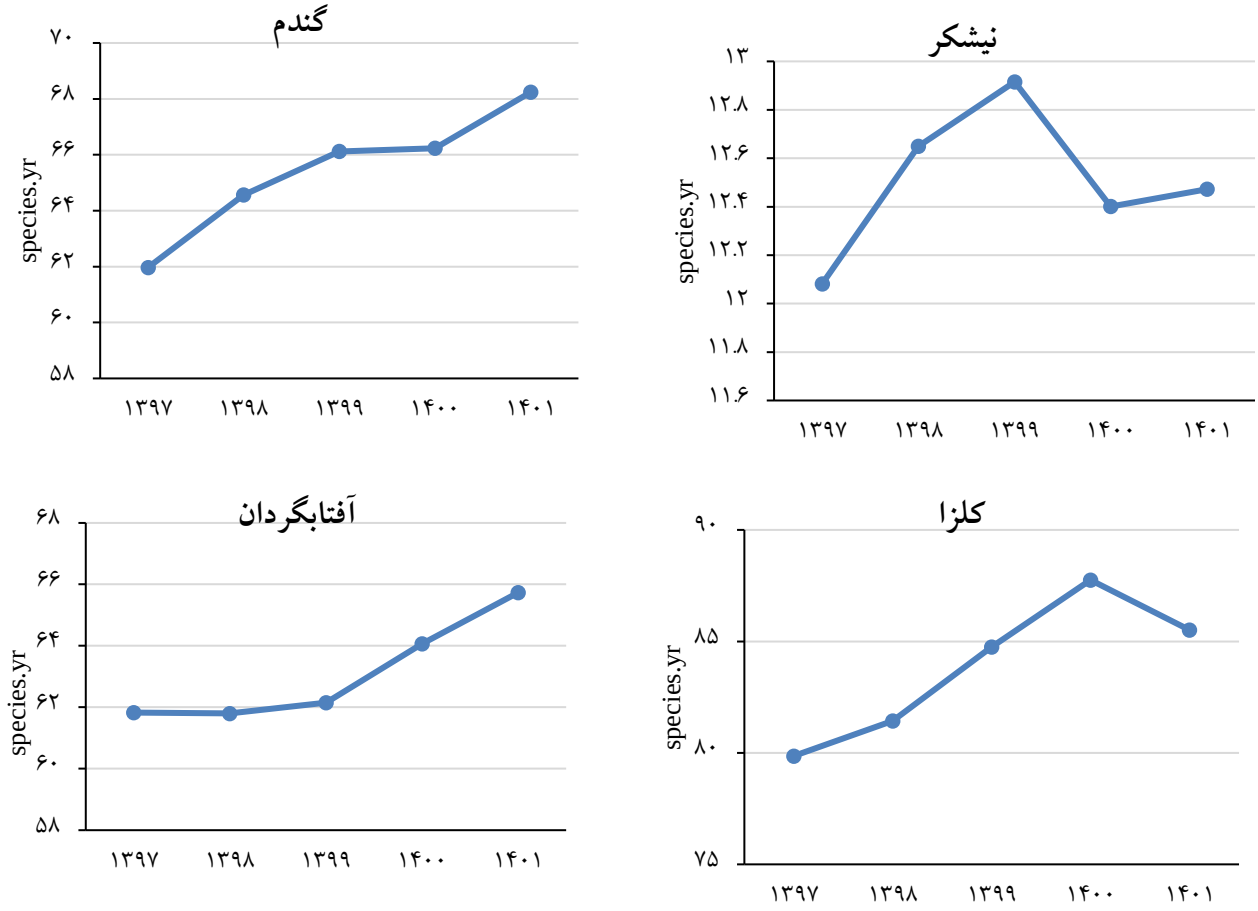
جدول ۶. روند تغییرات اثرات زیست‌محیطی در یک دوره ۵ ساله برای تولید یک تن محصولات تولیدی کشت و صنعت

اثرات (واحد)	محصولات	سال زراعی				
		۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۴۰۰	۱۴۰۱
۱- سلامت انسان (DALY)	نیشکر	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴
	گندم	۰/۰۳۸	۰/۰۳۹	۰/۰۴۳	۰/۰۴۳	۰/۰۴۳
	کلزا	۰/۰۴۶	۰/۰۴۶	۰/۰۴۸	۰/۰۴۹	۰/۰۴۷
	آفتابگردان	۰/۰۴۳	۰/۰۴۳	۰/۰۴۲	۰/۰۴۶	۰/۰۴۶
۲- اکوسیستم (species.yr)	نیشکر	۴/۶۳E-۰۶	۴/۸۹E-۰۶	۵/۰۱E-۰۶	۴/۸۴E-۰۶	۴/۹۷E-۰۶
	گندم	۳/۷۰E-۰۵	۳/۸۴E-۰۵	۴/۱۰E-۰۵	۴/۱۳E-۰۵	۴/۲۱E-۰۵
	کلزا	۴/۵۳E-۰۵	۴/۵۵E-۰۵	۴/۷۱E-۰۵	۴/۸۴E-۰۵	۴/۶۵E-۰۵
	آفتابگردان	۳/۹۳E-۰۵	۳/۹۷E-۰۵	۳/۹۳E-۰۵	۴/۱۶E-۰۵	۴/۲۴E-۰۵
۳- منابع (USD_{2013})	نیشکر	۱۲/۰۸	۱۲/۶۴	۱۲/۹۱	۱۲/۴۰	۱۲/۴۷
	گندم	۶۱/۹۶	۶۴/۵۶	۶۶/۱۱	۶۶/۲۳	۶۸/۲۳
	کلزا	۷۹/۸۶	۸۱/۴۲	۸۴/۷۵	۸۷/۷۵	۸۵/۵۱
	آفتابگردان	۶۱/۸۲	۶۱/۸۰	۶۲/۱۵	۶۴/۰۶	۶۵/۷۳

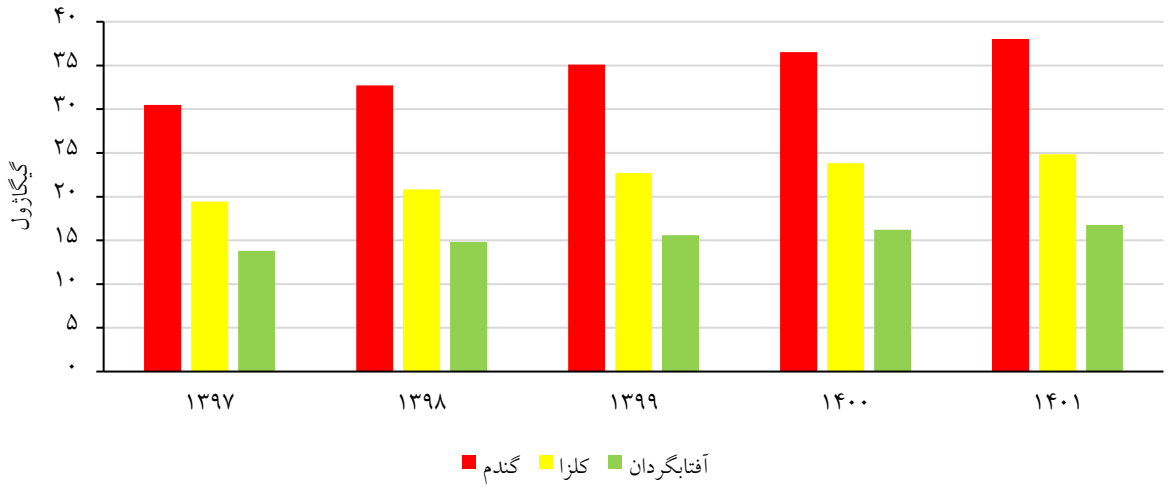
رتبه‌بندی محصولات فرعی کشت و صنعت از لحاظ تغییرات مصرف انرژی و اثرات زیست‌محیطی

با توجه به تعیین الگوی مصرف انرژی و ارزیابی اثرات زیست‌محیطی در محصولات کشت و صنعت، رتبه‌بندی بین محصولات فرعی (گندم، کلزا و آفتابگردان) انجام شد. این رتبه‌بندی بر اساس کمترین مصرف انرژی و کمترین آلاینده‌های زیست‌محیطی انجام شد تا بهترین محصول برای کشت به ترتیب اولویت انتخاب شود. نتایج نشان داد که آفتابگردان در رتبه اول، گندم در رتبه دوم و کلزا در رتبه سوم از بین محصولات فرعی کشت و صنعت قرار می‌گیرند. این نتایج بر اساس متوسط میزان مصرف انرژی و اثرات زیست‌محیطی که در شکل ۷ و ۸ نمایش داده شده است، به دست آمده است. داوودی و هوشیار در یک مطالعه به بررسی مصرف انرژی در تولید کلزا و آفتابگردان

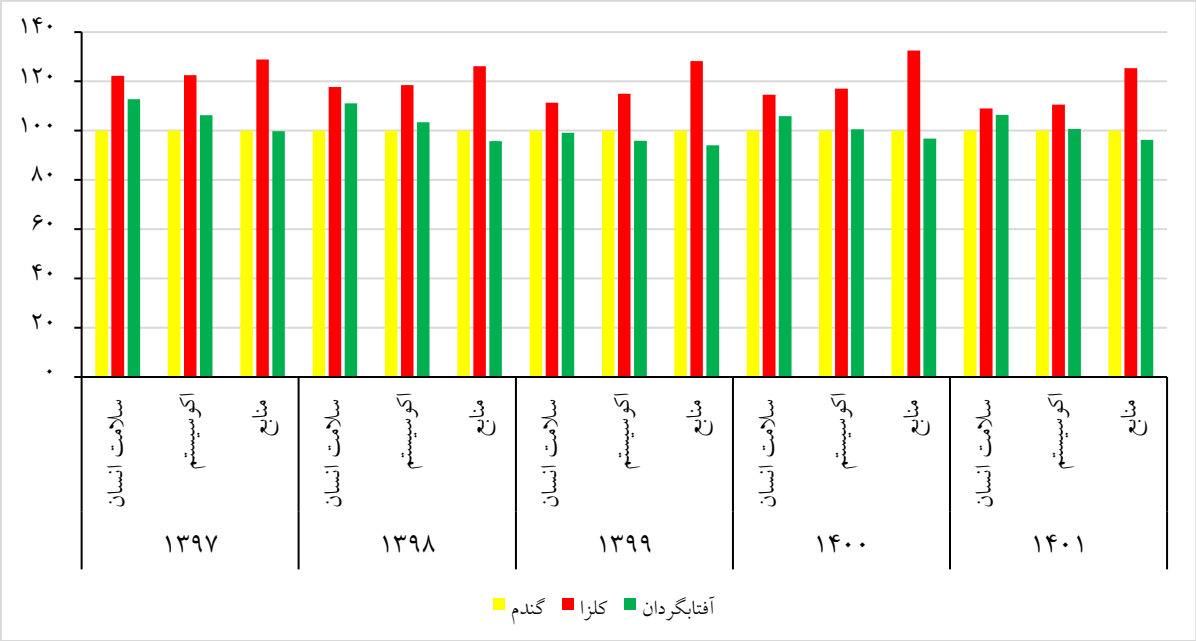
پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که مصرف انرژی برای تولید کلزا برابر با ۳۰۸۸۹/۰۹ مگاژول بر هکتار و برای تولید آفتابگردان برابر با ۲۲۹۴۵/۳۰ مگاژول بر هکتار است. در این تحقیق، مشخص شد که کودهای شیمیایی، الکتریسیته و سوخت دیزل بالاترین میزان مصرف انرژی را در تولید داشتند (Davoodi & Houshyar, 2009). در پژوهشی به مقایسه کارایی مصرف انرژی و تحلیل اقتصادی تولید گندم و آفتابگردان در ترکیه پرداخته شد. نتایج این پژوهش نشان داد که مجموع انرژی ورودی برای تولید گندم و آفتابگردان به ترتیب ۲۳۲۳۱ و ۱۰۱۳۹ مگاژول در هکتار است. همچنین بر اساس انرژی خروجی، مشخص شد که انرژی خروجی برای تولید گندم و آفتابگردان به ترتیب ۸۱۷۲۰ و ۳۸۲۵۰ مگاژول است (Unakıtan and Aydın, 2018).



شکل ۶. روند تغییرات اثر منابع در محصولات کشت و صنعت



شکل ۷. مقایسه میزان مصرف انرژی بین محصولات فرعی کشت و صنعت در یک دوره ۵ ساله



شکل ۸. مقایسه میزان اثرات زیست‌محیطی بین محصولات فرعی کشت و صنعت در یک دوره ۵ ساله

برای کاهش اثرات زیست محیطی در کشت و صنعت، راهکارهای زیر پیشنهاد می‌شود:

استفاده از کودهای طبیعی و عدم استفاده از کودهای شیمیایی می‌تواند به کاهش آلودگی خاک و آب و همچنین حفظ تنوع زیستی کمک کند.

استفاده از روش‌های آبیاری قابل‌انعطاف، مدیریت منابع آب و کاهش هدررفت آب می‌تواند به حفظ منابع آب و کاهش اثرات منفی بر روی اکوسیستم کمک کند.

استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی و بادی به جای سوخت‌های فسیلی می‌تواند به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و بهبود کیفیت هوای منطقه کمک کند.

استفاده از روش‌های مناسب برای دفع و بازیافت پسماندها و جلوگیری از سوزاندن بقایای محصول پس از برداشت می‌تواند به کاهش آلاینده‌ها و بهبود کیفیت زیست‌محیطی کمک کند.

آموزش در خصوص روش‌های پایدار و کاهش اثرات زیست‌محیطی می‌تواند به بهبود روند تولید و مدیریت منابع کمک کند.

با اجرای این راهکارها و افزایش همکاری بین نهادهای مختلف، می‌توان به کاهش اثرات زیست‌محیطی در کشت و صنعت و حفظ منابع طبیعی پرداخت.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، هدف بررسی میزان مصرف انرژی و تأثیرات زیست‌محیطی در تولید محصولات کشت و صنعت و تغییرات آن در بازه زمانی ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۱ بود. علاوه‌بر این، پس از تعیین الگوی مصرف انرژی و اثرات زیست محیطی، رتبه‌بندی بین محصولات فرعی از نظر مصرف انرژی و اثرات زیست‌محیطی نیز انجام شد. نتایج نشان داد در دوره زمانی ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۱، مصرف انرژی در تولید محصولات کشت و صنعت افزایش یافته است. همچنین، انرژی خروجی نیز در سال ۱۴۰۱ نسبت به سال‌های قبلی افزایش یافته است. با توجه به داده‌های به‌دست آمده، در مزارع نیشکر، مصرف انرژی در سال‌های ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۱ به ترتیب برابر با ۱۳۱/۰۵، ۱۴۲/۴۷، ۱۵۲/۱۶، ۱۵۵/۴۵ و ۱۶۱/۷۱ گیگاژول بر هکتار محاسبه شد. همچنین، مصرف انرژی در مزارع گندم در دوره مورد نظر به ترتیب برابر با ۳۰/۴۹، ۳۲/۷۰، ۳۵/۱۰، ۳۶/۵۲ و ۳۸/۰۲ گیگاژول بر هکتار محاسبه شده است. در مورد مزارع کلزا، مصرف انرژی در سال‌های ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۱ متغیر بوده و به ترتیب برابر با ۱۹/۴۴، ۲۰/۸۱، ۲۲/۶۸، ۲۳/۸۳ و ۲۴/۸۶ گیگاژول بر هکتار بوده است. همچنین، مصرف انرژی در مزارع آفتابگردان نیز در همان بازه زمانی متغیر بوده و به ترتیب برابر با ۴۴/۱۹، ۸۲/۱۴، ۶۱/۱۵، ۲۰/۱۶ و ۷۶/۱۶ گیگاژول بر هکتار محاسبه شده است. نهاده‌های پرمصرف در تولید این محصولات شامل الکتریسیته، سوخت دیزل و کود نیتروژن بوده است. به‌طور کلی نتایج نشان می‌دهد که

مصرف انرژی در تولید محصولات کشت و صنعت در حال افزایش است و نیاز به استفاده بهینه از منابع انرژی و افزایش بهره‌وری انرژی می‌باشد. تحلیل روند تغییرات نسبت و بهره‌وری انرژی در تولید محصولات کشت و صنعت نشان می‌دهد که نسبت انرژی و بهره‌وری در محصولات مختلف در دوره زمانی ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۱ متفاوت بوده است. در برخی محصولات مانند نیشکر و آفتابگردان، نسبت انرژی و بهره‌وری در حال کاهش بوده است، در حالی که در محصولات دیگر مانند گندم و کلزا، نسبت انرژی و بهره‌وری در برخی سال‌ها کاهش یافته و در سال‌های دیگر افزایش یافته است. باید توجه داشت که نهاده سوخت دیزل و الکتریسیته نقش مهمی در انرژی ورودی دارد و نوسانات بیشتری از سایر نهاده‌ها نشان می‌دهند. به‌منظور بهبود بهره‌وری انرژی در تولید محصولات کشاورزی، استفاده بهینه از نهاده‌ها و منابع انرژی، بهبود فناوری‌ها و روش‌های کشاورزی، و افزایش آگاهی در مورد مدیریت انرژی می‌تواند مؤثر باشد. همچنین با توجه به تحلیل انجام شده درباره تغییرات اثرات زیست‌محیطی در محصولات کشت و صنعت از سال ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۱، نتایج نشان می‌دهد که این شاخص‌ها در حال افزایش بوده است. تغییرات در میزان آلایندگی نشان می‌دهدکه بیشترین مقدار آلایندگی زیست‌محیطی ناشی از اثر منابع در تولید نیشکر به ترتیب از ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۱، ۱۲/۰۸، ۱۲/۶۴، ۱۲/۹۱، ۱۲/۴۰ و ۱۲/۴۷ USD_{2013} می‌باشد. همچنین، تولید گندم از ۶۱/۹۶ به ۶۸/۲۳، تولید کلزا از ۷۹/۸۶ به ۸۵/۵۱ و در نهایت، تولید آفتابگردان از ۶۱/۸۲ به ۶۵/۷۳ افزایش یافته است. از میان نهاده‌های ورودی، الکتریسیته و سوخت دیزل و کودهای شیمیایی نقش مؤثرتری در انتشار آلایندگی دارند. تحلیل‌ها نشان می‌دهد که افزایش مصرف انرژی برای فعالیت‌های کشاورزی منجر به افزایش آلایندگی زیست‌محیطی می‌شود، که این امر می‌تواند تأثیر منفی بر سلامت انسان و اکوسیستم داشته باشد. بنابراین، برای کاهش اثرات زیست‌محیطی در تولید محصولات کشت و صنعت، لازم است اقداماتی انجام شود که بهبود بهره‌وری انرژی، استفاده بهینه از منابع انرژی و کاهش مصرف آلاینده‌های زیست‌محیطی را به دنبال داشته باشد. با توجه به تحلیل انجام شده، نتایج نشان می‌دهد که آفتابگردان با کمترین مصرف انرژی و کمترین آلاینده‌های زیست‌محیطی در رتبه اول قرار دارد. این محصول فرعی از کشت و صنعت به عنوان یک گزینه مناسب برای تولید محصولات کشاورزی به منظور کاهش تأثیرات زیست‌محیطی معرفی می‌شود. در رتبه دوم، گندم قرار دارد که به دلیل کمترین آلاینده‌های زیست‌محیطی در میان محصولات فرعی قابل توجه است. کلزا نیز در رتبه سوم قرار می‌گیرد و از آلاینده‌های زیست‌محیطی به میزان کمی بیشتر از گندم قرار دارد. بنابراین، برای کاهش تأثیرات زیست‌محیطی در تولید محصولات کشاورزی، می‌توان از آفتابگردان و گندم به عنوان محصولات فرعی مناسب استفاده کرد و از کلزا نیز به عنوان یک گزینه مطلوب در نظر گرفت. در پایان برای کاهش مصرف انرژی و اثرات زیست‌محیطی، پیشنهاد می‌شود از منابع انرژی تجدیدپذیر مانند سامانه‌های فتوولتائیک استفاده شود. این سامانه‌ها با تولید الکتریسیته از انرژی خورشیدی، منبعی پاک و تجدیدپذیر را فراهم می‌کنند. با استفاده از این سامانه‌ها، می‌توان مصرف انرژی را کاهش داد و در نتیجه تأثیرات زیست‌محیطی را کاهش داد.

تشکر و قدردانی

مقاله حاضر بخشی از رساله دکتری گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران می‌باشد. بدین‌وسیله از حمایت مالی دانشگاه مربوطه در انجام این تحقیق تشکر و قدردانی می‌شود. همچنین از مدیریت محترم شرکت کشت و صنعت امام خمینی (ره) به خاطر همکاری ارزنده قدردانی می‌گردد.

منابع

آمارنامه سالانه وزارت جهاد کشاورزی ایران. .www.maj.ir. (۱۳۹۹).

بنائیان، نرگس؛ امید، محمود و احمدی، حجت (۱۳۹۰). برآورد شاخص‌های انرژی و بهینه‌سازی مصرف آن در تولید توت فرنگی گلخانه‌ای: مطالعه موردی شهرستان ساوجبلاغ در استان البرز. *مجله مهندسی بیوسیستم ایران*، ۴۲ (۲)، ۱۵۷-۱۵۱.

خرم‌دل، سرور؛ رضوانی مقدم، پرویز و امین غفوری، افسانه (۱۳۹۳). ارزیابی اثرات زیست‌محیطی بر اکوسیستم‌های کشاورزی گندم ایران با استفاده از روش ارزیابی چرخه حیات. *تحقیقات غلات*، ۴ (۱)، ۴۴-۲۷.

رجبی، محمدحسین؛ زینعلی، ابراهیم و سلطانی، الیاس (۱۳۹۱). ارزیابی مصرف انرژی در تولید گندم در گرگان. پژوهش‌های تولید گیاهی، ۱۹ (۳)، ۱۷۱-۱۴۳.

طرودی، محمد؛ ص.، نوروزی، حسین؛ مالیدره، عباس؛ داداشی، محمدرضا و دستان، سلمان (۱۳۹۶). ارزیابی تعادل انرژی و انتشار CO_2 تولید گندم (Triticum aestivum L.). *نشریه بوم‌شناسی کشاورزی*، ۹ (۴)، ۱۱۶۸-۱۱۹۳.

غدیریان‌فر، محسن؛ کیهانی، علیرضا و امید، محمود (۱۳۹۲). چرخه کامل انرژی در تولید اتانول از ملاس نیشکر در ایران. م*جله مهندسی بیوسیستم*

ایران، ۴۴ (۲)، ۱۴۲-۱۳۵.

قاسمی‌مبتکر، حسن (۱۳۹۸). بررسی روند مصرف انرژی در دو سامانه آبیاری غرقابی و تحت‌فشار: مطالعه موردی یک مزرعه صد هکتاری در همدان. *مجله مهندسی بیوسیستم ایران*، ۵۰ (۴)، ۸۰۹-۸۰۱.

کعب، علی؛ شریفی، محمد و مبلی، حسین (۱۳۹۸). تجزیه وتحلیل و بهینه سازی مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید نیشکر با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها. *مجله مهندسی بیوسیستم ایران*، ۵۰ (۱)، ۱۹-۳۰.

ملائی، کمیل و افضلی‌نیا، صادق (۱۳۹۱). تعیین شاخص‌های انرژی در تولید گندم و کلزا در کشت و صنعت دشت نمدان اقلید. مجله علمی- پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی، ۴ (۱۰)، ۲۶-۳۶.

موسوی‌اول، سیدهاشم؛ رفیعی، شاهین؛ شریفی، محمد و حسین پور، سلمیان (۱۳۹۴). ارزیابی چرخه زندگی انرژی و تأثیرات زیست محیطی تولید کلزا در استان مازندران با دو رویکرد متفاوت. *مجله مهندسی بیوسیستم ایران*، ۴۶ (۳)، ۲۷۴-۲۶۵.

هارونی، سپیده؛ شیخ داوودی، محمدجواد و کیانی ده کیانی، مصطفی (۱۳۹۴). مدل‌سازی انرژی مصرفی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در روند تولید نیشکر در مزارع راتون با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی (بررسی موردی کشت و صنعت دعبل خزائی استان خوزستان). پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی، ۴ (۱)، ۱۱-۱۹.

REFERENCES

Amin, M., Shah, H. H., Fareed, A. G., Khan, W. U., Chung, E., Zia, A. & Lee, C. (2022). Hydrogen production through renewable and non-renewable energy processes and their impact on climate change. *International journal of hydrogen energ.* 47(77). 33112-33134.

Bakhshi, M. R. (2018). Econometric analysis of energy use in cereal production of Iran (Case study: wheat, barley, corn, rice). *Agricultural Economics Research.* 10(37). 133-148.

Baniyan, N., Omid, M., & Ahmadi, H. (2011). Estimation of energy indicators and optimization of its consumption in greenhouse strawberry production: a case study of Savojbolagh city in Alborz province. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*. 42(2). 151-157. [In Persian].

Davoodi, M. S. & Houshyar, E. (2009). Energy consumption of canola and sunflower production in Iran. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science*. 6 (4). 381-384.

Ghadirian-Far, M., Keyhani, A. & Omid, M. (2013). Full cycle of energy in the production of ethanol from sugarcane molasses in Iran. *Iranian Journal of Biosystem Engineering*. 44 (2). 135-142. [In Persian].

Ghasemi-Mobtaker, H. (2019). Investigating the trend of energy consumption in two flooded and pressurized irrigation systems: a case study of a hundred-hectare farm in Hamedan. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*. 50(4). 801-809. [In Persian].

Ghasemi-Mobtaker, H., Kaab, A. & Rafiee, S. (2020). Application of life cycle analysis to assess environmental sustainability of wheat cultivation in the west of Iran. *Energy*. 193. 116768.

Ghasempour, A. (2018). Evaluation of environmental effects in producing three main crops (corn, wheat and soybean) using life cycle assessment. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*. 20(2). 126-137.

Haroni, S., Shiekhdavoodi, M.G. & Kiani, M. (2015). Modeling of energy consumption and greenhouse gas emissions in the sugarcane production process in ratoon farms using artificial neural networks. A case study in Debel Khazai Agro-industry in Iran. *Iranian Journal of Agricultural Machinery*. 4(1). 11-19. [In Persian].

Iriarte, A., Rieradevall, J. & Gabarrell, X. (2010). Life cycle assessment of sunflower and rapeseed as energy crops under Chilean conditions. *Journal of Cleaner Production*. 18. 336–345.

ISO, 2006. 14040 International standard. Environmental Management–Life Cycle Assessment–Principles and Framework, International Organisation for Standardization, Geneva, Switzerland.

Kaab, A., Sharifi, M., & Mobli, H. (2019b). Analysis and optimization of energy consumption and greenhouse gas emissions in sugarcane production using data envelopment analysis. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*. 50(1). 19-30. [in Persian].

Kaab, A., Sharifi, M., Mobli, H., Nabavi-Pelesaraei, A. & Chau, K. W. (2019a). Combined life cycle assessment and artificial intelligence for prediction of output energy and environmental impacts of sugarcane production. *Science of the Total Environment*. 664. 1005-1019.

Khorramdel, S., Rezvani Moghaddam, R. & Amin Ghafori, A. (2014). Evaluation of environmental impacts for wheat agroecosystems of Iran by using life cycle assessment methodology. *Cereal Research*. 4(1).

27-44. [in Persian].
Kitani, O. (1999). CIGR, Handbook of agricultural engineering volume 5, Energy & Biomass Engineering. ASAE publication.
Ministry of Jihad-e-Agriculture of Iran, Annual Agricultural Statistics. www.maj.ir. (2020). [in Persian].
Molaeei, K. & Afzalinia, S. (2012). Determination of energy indices in producing wheat and canola in Dashte Namdan Agro-industry (Eghlid region, Fars). *Agricultural Science and sustainable production*. 26-36. [in Persian].
Mousavi-Avval, S. H., Rafiee, S., Jafari, A. & Mohammadi, A. (2011). Improving energy use efficiency of canola production using data envelopment analysis (DEA) approach. *Energy*. 36(5). 2765-2772.
Mousavi-Avval, S. H., Rafiei, S., Sharifi, M. & Hosseinpour, S. (2015). Energy and environmental life cycle assessment of canola production in Mazandaran province of Iran by applying two different approaches. *Iranian Journal of Biosystems Engineering.* 46 (3). 265-274. [in Persian].
Mousavi-Avval, SH., Rafiee, S., Sharifi, M., Hosseinpour, S. & Shah, A. (2017). Combined application of Life Cycle Assessment and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System for modeling energy and environmental emissions of oilseed production. *Renew. Sustain. Energy Rev*. 78. 807–820.
Mu, M., Ge, X., Cao, C., Zeng, Y., Xu, T., Huang, J., & Rong, W. (2023). The energy consumption and efficiency of crop production in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 43. 111-125.
Nakashima, T., Ishikawa, S. (2016). Energy inputs and greenhouse gas emissions associated with small-scale farmer sugarcane cropping systems and subsequent bioethanol production in Japan. *NJAS - Wageningen J. Life Sci.* 76. 43–53.
Omidmehr, Z. (2019). Comparison of Energy Productivity and Global Warming Potential in Rain-fed Sunflower (Helianthus annuus L.) Production Systems. *Journal Of Agroecology*. 11(2). 739-755.
Prasara-A, J., Gheewala, S. H., Silalertruksa, T., Pongpat, P., & Sawaengsak, W. (2019). Environmental and social life cycle assessment to enhance sustainability of sugarcane-based products in Thailand. *Clean Technologies and Environmental Policy*. 21. 1447-1458.
Rajabi, M. H., Zeinali, E. & Soltani, E. (2012). Evaluation of energy use in wheat production in Gorgan. *Journal of Plant Production Research*. 19(3). 143-171. [in Persian].
Sefeedpari, P., Shokoohi, Z. & Behzadifar, Y. (2014). Energy use and carbon dioxide emission analysis in sugarcane farms: a survey on Haft-Tappeh Sugarcane Agro-Industrial Company in Iran. *Journal of cleaner production*. 83. 212-219.
Toroudi, M. P., Nouruzi, H. A., Malidareh, A. G., Dadashi, M. R. & Dastan, S. (2018). Evaluation of energy balance and CO2 emissions of wheat (Triticum aestivum L.) production. *Agroecology*. 9 (4). 1168-1193. [in Persian].
Unakıtan, G., & Aydın, B., (2018). A comparison of energy use efficiency and economic analysis of wheat and sunflower production in Turkey: A case study in Thrace Region. *Energy*. 149. 279–285.
Unakitan, G., Hurma, H. & Yilmaz, F. (2010). An analysis of energy use efficiency of canola production in Turkey. *Energy*. 35(9), . 3623-3627.
Wang, X., Chen, Y., Sui, P., Gao, W., Qin, F., Zhang, J. & Wu, X. (2014). Emergy analysis of grain production systems on large-scale farms in the North China Plain based on LCA. *Agricultural Systems*. 128. 66-78.

A study of changes in energy consumption trend and environmental indicators in the production of agricultural crops using a life cycle assessment approach in the years 2018-2022

Extended Abstract

Introduction

In today's world, the escalating environmental crises and growing demand for natural resources have underscored the importance of evaluating the entire life cycle of products and their production processes. The primary objective of this approach is to enhance the sustainability of products and their production processes by minimizing environmental effects and optimizing resource consumption. By employing life cycle assessment, one can effectively plan and optimize products and services, minimize adverse impacts on the environment, and boost profitability. To conduct a life cycle assessment, it is essential to utilize accepted methods such as the ISO 14040 standard. Additionally, computational analysis and evaluation should be carried out at each stage of the life cycle. This study focuses on examining the various stages of the life cycle of specific products and evaluating their energy consumption over a 5-year period. Additionally, it investigates energy trends and various environmental impacts associated with these products, while also offering potential solutions to mitigate them. Furthermore, the study aims to rank secondary products (wheat, canola, and sunflower) based on their energy consumption and environmental impacts.

Materials and Methods

This research was conducted in Khuzestan province, Shushtar city, Shoaibieh region, Imam Khomeini Sugarcane Agro-Industrial Company, one of the important agriculture and industries in Iran. To gather data on the production status of agricultural and industrial products between 2018 and 2022, a series of steps were taken. Initially, experts in the field were interviewed to gather their insights on the topic. These interviews were conducted through specially designed questionnaires. Throughout the research process, various sources of information in the field of agriculture were utilized, including agriculture and industry planning management statistics and energy balance sheets. These sources provided the necessary data to analyze and evaluate the production status of agricultural and industrial products. The primary focus of this research was on sugarcane, which serves as the main product of cultivation and industry. Additionally, during the cropping season, other crops such as wheat, canola, and sunflower were cultivated, resulting in increased productivity and efficient use of land and resources.

Results and Discussion

The results indicated an increase in energy consumption in the cultivation of sugarcane, wheat, canola, and sunflower. Specifically, the energy consumption in sugarcane farms ranged from 131.05 to 161.71 GJ ha^{-1} during the study period. The energy consumption for by-products also showed an upward trend. Furthermore, the study found that the highest environmental pollution from resource usage in sugarcane production occurred in the respective years, with values ranging from 12.08 to 12.91 USD_{2013}. Similar increases were observed in wheat, canola, and sunflower production. Among the by-products, sunflower ranked highest, followed by wheat and canola. Electricity inputs, diesel fuel, and chemical fertilizers were identified as significant contributors to energy consumption and pollution.

Conclusion

The research findings emphasize the significance of optimizing input usage and reducing consumption to address environmental pollution. One effective solution to tackle the rising energy consumption in agricultural production is the adoption of renewable energy sources, such as solar-generated electricity through photovoltaic systems. Implementing these systems can result in decreased energy consumption and a subsequent reduction in the environmental impact. Furthermore, the integration of new technologies can help minimize reliance on non-renewable energy sources like diesel fuel. These initiatives not only contribute to lower energy consumption and reduced environmental pollutants but also have the potential to improve overall air quality. Ultimately, the utilization of renewable energy sources and the incorporation of clean and sustainable technologies play a pivotal role in mitigating environmental impacts associated with agricultural product production, ultimately benefiting the environment.