



Environmental Assessment of Olive Production in Traditional and Semi-Mechanized Scenarios Using Life Cycle Assessment

Behnam Mohammadi¹ | Majid Namdari² | Alireza Yousefi³

1. Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran. E-mail:

bmohamadi34@yahoo.com

2. Corresponding Author, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran. E-mail: namdari@znu.ac.ir

3. Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran. E-mail:

yousefi.alireza@znu.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: May. 19, 2025

Revised: June. 18, 2025

Accepted: July. 8, 2025

Published online: Summer 2025

Keywords:

***Energy Consumption,
Greenhouse Gas Emissions,
Human Toxicity,
Mechanization,
Sustainability.***

ABSTRACT

In recent years, Iran's olive sector has experienced significant changes in agricultural practices. The cultivation of olive orchards is transitioning from traditional systems towards semi-mechanized approaches. This research aimed to evaluate the environmental impacts of olive production in both traditional and semi-mechanized systems in the Tarom region of Zanjan Province, using the Life Cycle Assessment (LCA) methodology. The necessary data were collected through questionnaires completed by 50 olive growers and interviews with agricultural managers. The system boundary was defined from cradle-to-farm-gate, and the functional unit was considered as one tonne of olives. The results indicated that the semi-mechanized system demonstrated better environmental performance compared to the traditional system, with a 31% reduction in global warming potential (from 1286.11 to 888.66 kg CO₂ eq.), a 23% reduction in energy consumption (from 14399.73 to 11094.61 MJ), and a 38% reduction in human toxicity (from 553.40 to 344.54 kg 1,4-DB eq.). Input contribution analysis revealed that electricity (58 to 74 percent) and chemical fertilizers (15 to 20 percent) had the most significant impact on the environmental burden. However, diesel fuel consumption in the semi-mechanized system, due to partial mechanization, led to a 20% increase in ozone layer depletion. This study suggests that improving irrigation efficiency and managing fertilizer consumption can enhance the environmental sustainability of olive production in both systems.

Cite this article: Mohammadi, B., Namdari, M., & Yousefi, A. (2025) Environmental Assessment of Olive Production in Traditional and Semi-Mechanized Scenarios Using Life Cycle Assessment, *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 56 (2), 31-50. <https://doi.org/10.22059/ijbse.2025.395620.665596>

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijbse.2025.395620.665596>



EXTENDED ABSTRACT

Objective

The primary objective of this study was to evaluate and compare the environmental impacts of traditional and semi-mechanized olive production systems in the Tarom region of Zanjan Province, Iran, using the Life Cycle Assessment (LCA) methodology. With Iran's olive sector transitioning from traditional to semi-mechanized practices, this research aimed to quantify the environmental consequences of these systems, focusing on key impact categories such as global warming potential, energy consumption, and human toxicity. By identifying critical sources of environmental burden, the study sought to provide actionable recommendations to enhance the sustainability of olive production, supporting Iran's agricultural sector in aligning with global environmental standards and promoting sustainable farming practices.

Methods

The study was conducted in 2022 in Tarom, Zanjan Province, a key olive-producing region characterized by a hot, semi-arid Mediterranean climate. Data were collected from 50 olive growers through structured questionnaires and supplemented by interviews with local agricultural managers. A simple random sampling method was employed, with the sample size determined using Cochran's formula at a 95% confidence level and 5% margin of error. The LCA was performed following ISO 14040 and ISO 14044 standards, with the system boundary defined as cradle-to-farm-gate and the functional unit set as one ton of olive fruit. Two production scenarios were analyzed: traditional, small-scale farming reliant on manual labor, and semi-mechanized, larger-scale farming incorporating mechanized tools such as tractor-mounted sprayers and drip irrigation systems. The Life Cycle Inventory (LCI) included inputs (e.g., water, electricity, diesel, fertilizers) and outputs (e.g., emissions to air, water, and soil). Environmental impacts were assessed using the SimaPro 9.3.0.3 software with the CML-IA Baseline method, covering 11 impact categories, including global warming potential (GWP), energy use, human toxicity, and ozone layer depletion. Emission calculations followed IPCC (2006) guidelines, and data were sourced from databases such as ecoinvent 3.5 and Agri-footprint 4.0. The contribution of inputs and processes to environmental impacts was analyzed to identify key drivers of environmental burden.

Findings

The results revealed that the semi-mechanized system outperformed the traditional system across most environmental impact categories. Specifically, the semi-mechanized system reduced global warming potential by 31% (from 1286.11 to 888.66 kg CO₂ equivalent per ton of olives), energy consumption by 23% (from 14399.73 to 11094.61 MJ), and human toxicity by 38% (from 553.40 to 344.54 kg 1,4-DB equivalent). These improvements were attributed to higher efficiency in water and energy use, as well as increased yields (4268.69 kg/ha in semi-mechanized vs. 2548.51 kg/ha in traditional systems). However, the semi-mechanized system showed a 20% increase in ozone layer depletion due to higher diesel fuel consumption associated with partial mechanization. Electricity consumption, primarily for water pumping, contributed 58–74% to the overall environmental burden, while chemical fertilizers accounted for 15–20%. In the traditional system, higher water and electricity use stemmed from less efficient flood irrigation, whereas the semi-mechanized system's drip irrigation reduced resource consumption. In-field emissions, particularly from fertilizer use, were significant in both systems, with a higher contribution in the semi-mechanized system due to increased fertilizer application. The single-score analysis confirmed the semi-mechanized system's lower environmental footprint (2.3 nPt vs. 3.9 nPt for the traditional system), driven by reduced impacts in aquatic and human toxicity. Comparative studies in regions like Spain, Portugal, and Turkey corroborated these findings, though Iran's olive production exhibited higher environmental impacts, likely due to less efficient machinery and irrigation practices.

Conclusion

This study underscores the environmental advantages of semi-mechanized olive production over traditional methods in Tarom, Iran. Despite increased diesel use, the semi-mechanized system's higher efficiency and yield led to significant reductions in key environmental impacts. Critical areas for improvement include optimizing electricity use for irrigation and managing fertilizer application to minimize emissions. Recommendations include adopting high-efficiency drip irrigation, integrating renewable energy sources like solar-powered pumps, and implementing soil testing for precise fertilizer use. These measures could further enhance the sustainability of olive production. Future research should incorporate economic and social dimensions to provide a holistic view of sustainable olive farming in Iran, supporting policymakers and farmers in developing environmentally sound agricultural practices.

Author Contributions

Conceptualization, M.N. and A.Y.; methodology, M.N. and B.M.; software, M.N.; validation, M.N., B.M. and A.Y.; formal analysis, M.N. and B.M.; investigation, M.N. and B.M.; resources, M.N.; data curation, M.N. and B.M.; writing-original draft preparation, M.N.; writing-review and editing, M.N.; visualization, M.N.; supervision, M.N. and A.Y.; project administration, M.N. and A.Y.; funding acquisition, M.N., A.Y. and B. M.

All authors have read and agreed to the published version of the manuscript .

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

The authors gratefully acknowledge the support provided by the University of Zanjan, which contributed significantly to the completion of this study.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

ارزیابی زیست محیطی تولید زیتون در سناریوهای سنتی و نیمه مکانیزه با روش چرخه زندگی

بهنام محمدی^۱ | مجید نامداری^۲ | علی رضا یوسفی^۳^۱. گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران، رایانامه: bmohamadi34@yahoo.com^۲. نویسنده مسئول، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران، رایانامه: namdari@znu.ac.ir^۳. گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران، رایانامه: yousefi.alireza@znu.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

در سال‌های اخیر، بخش زیتون ایران تغییرات عمده‌ای در زمینه روش‌های زراعی تجربه کرده است. کشت باغ‌های زیتون از سامانه‌های سنتی به سمت سامانه‌های نیمه مکانیزه در حال حرکت است. این پژوهش با هدف ارزیابی اثرات محیط‌زیستی تولید زیتون در دو سامانه سنتی و نیمه‌مکانیزه در منطقه طارم استان زنجان، با استفاده از روش ارزیابی چرخه زندگی (LCA) انجام شد. داده‌های مورد نیاز از طریق پرسش‌نامه‌های تکمیل‌شده توسط ۵۰ باغدار و مصاحبه با مدیران کشاورزی جمع‌آوری گردید. مرز سامانه از گهواره تا درگاه مزرعه تعریف شد و واحد عملکردی، یک تن زیتون در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که سامانه نیمه‌مکانیزه در مقایسه با سامانه سنتی، با کاهش ۳۱ درصدی پتانسیل گرمایش جهانی (۱۲۸۶/۱۱ به ۸۸۸/۶۶ کیلوگرم CO₂ معادل)، ۲۳ درصدی مصرف انرژی (۱۴۳۹۹/۷۳ به ۱۱۰۹۴/۶۱ مگاژول) و ۳۸ درصدی سمیت انسانی (۵۵۳/۴۰ به ۳۴۴/۵۴ کیلوگرم DB-۱،۴ معادل)، عملکرد محیط‌زیستی بهتری دارد. تحلیل سهم نهاده‌ها نشان داد که الکتریسیته (۵۸ تا ۷۴ درصد) و کودهای شیمیایی (۱۵ تا ۲۰ درصد) بیشترین تأثیر را بر بار محیط‌زیستی دارند. با این حال، مصرف سوخت دیزل در سامانه نیمه‌مکانیزه به دلیل مکانیزاسیون جزئی، منجر به افزایش ۲۰ درصدی تخریب لایه اوزون شد. این مطالعه پیشنهاد می‌کند که بهبود کارایی آبیاری و مدیریت مصرف کودها می‌تواند پایداری محیط‌زیستی تولید زیتون را در هر دو سامانه افزایش دهد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۲/۲۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۳/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۴/۱۷

تاریخ انتشار: تابستان ۱۴۰۴

واژه‌های کلیدی:

انتشارات گلخانه‌ای،

پایداری،

سمیت انسانی،

مصرف انرژی،

مکانیزاسیون

استناد: محمدی، بهنام؛ نامداری، مجید؛ و یوسفی، علی‌رضا (۱۴۰۴). ارزیابی زیست محیطی تولید زیتون در سناریوهای سنتی و نیمه مکانیزه با روش چرخه زندگی، مجله

<https://doi.org/10.22059/ijbse.2025.395620.665596>، ۵۰-۳۱، ۵۶ (۲)، مهندسی بیوسیستم ایران/ ایران، ۵۶ (۲)، ۳۱-۵۰.

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijbse.2025.395620.665596>

مقدمه

بخش کشاورزی به عنوان یکی از محوری‌ترین حوزه‌های تعامل انسان با محیط زیست، همواره مورد توجه بوده است. با این وجود، شیوه‌های مرسوم کشاورزی اغلب با پیامدهای نامطلوب محیط‌زیستی متعددی همراه است. این پیامدها شامل بهره‌برداری وسیع از منابع تجدیدنپذیر، تسریع روند گرمایش جهانی، کاهش تنوع زیستی و آلودگی منابع آبی ناشی از ورود نهاده‌های شیمیایی نظیر نیتروژن و فسفر و همچنین سموم دفع آفات می‌باشند. نظر به اثرات سوء ناشی از کاربرد گسترده نهاده‌های مصنوعی و فناوری‌های نوین در کشاورزی متداول بر سلامت انسان و اکوسیستم‌ها، ضرورت توسعه و استقرار رویکردهای نوین کشاورزی که از ابعاد محیط‌زیستی، اقتصادی، فنی و اجتماعی پایدار باشند، بیش از پیش احساس می‌گردد (شاه‌محمدی و همکاران، ۱۳۹۵).

کشت درخت زیتون با نام علمی *Olea europaea L.*، با قدمتی دیرینه در سطح جهانی، به عنوان یکی از مهم‌ترین محصولات باغی از منظر اقتصادی شناخته می‌شود. علی‌رغم نقش برجسته این محصول در اقتصاد زیستی و اهمیت اجتماعی-اقتصادی مرتبط با آن، فرآیند تولید زیتون می‌تواند فشارهای محیط‌زیستی گوناگونی را به همراه داشته باشد که بالقوه منجر به کاهش منابع طبیعی، تخریب اراضی، انتشار آلاینده‌های جوی از جمله گازهای گلخانه‌ای و تولید پسماند می‌گردد. این اثرات نامطلوب ممکن است ناشی از فنون و رویه‌های مورد استفاده در مراحل مختلف کاشت، داشت و برداشت زیتون و همچنین تولید روغن زیتون باشد (Sales et al., 2022).

کشور جمهوری اسلامی ایران به دلیل تنوع اقلیمی و وجود اقلیم‌های خرد منحصربه‌فرد، از ظرفیت چشمگیری برای کشت و تولید زیتون برخوردار است (عظیمی و همکاران، ۱۳۹۵). بر اساس گزارش‌های سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO, 2025)، سطح زیر کشت زیتون در کشور در سال ۱۴۰۱ از مرز ۲۴ هزار هکتار فراتر رفته و میزان تولید سالانه آن به بیش از ۱۱۴ هزار تن رسیده است. در این میان، استان زنجان با سهمی بالغ بر ۴۰ درصد از تولید ملی، به عنوان قطب اصلی تولید زیتون در کشور شناخته می‌شود (MAJ, 2025). این آمارها مؤید سازگاری بالای درخت زیتون با اکوسیستم‌های متنوع ایران و همچنین پتانسیل کشور در راستای توسعه کشاورزی پایدار و کارآمد می‌باشد.

تحولات اخیر در روش‌های تولید زیتون، از جمله گذار تدریجی از سامانه‌های سنتی به سامانه‌های مکانیزه و نیمه‌مکانیزه، ضرورت ارزیابی دقیق اثرات محیط‌زیستی این سناریوهای تولید را دوچندان نموده است. در این راستا، بهره‌گیری از ابزارهای تحلیلی معتبر نظیر ارزیابی چرخه زندگی^۱ (LCA) به عنوان یک رویکرد جامع برای تحلیل آثار محیط‌زیستی در کلیه مراحل تولید، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (ISO 14040, 2006). این روش با در نظر گرفتن کل چرخه زندگی محصول، از آماده‌سازی زمین تا برداشت و مدیریت پسماند، امکان شناسایی نقاط حساس و مقایسه سامانه‌های مختلف تولید را فراهم می‌آورد (Rapa & Ciano, 2022; Romero-Gómez et al., 2017).

شایان ذکر است که فرآیند مکانیزاسیون می‌تواند ویژگی‌های محیط‌زیستی تولید زیتون را تحت تأثیر قرار دهد؛ به ویژه از طریق تغییر در میزان مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای (Russo et al., 2016; Rapa & Ciano, 2022). در این میان، رویکرد LCA با کمی‌سازی تبادلات در سطح سامانه، ابزاری کارآمد برای پشتیبانی از فرآیندهای تصمیم‌گیری در سیاست‌گذاری‌های کشاورزی، تخصیص یارانه‌ها، برنامه‌ریزی کاربری اراضی و طراحی مداخلات نظارتی محسوب می‌گردد (Romero-Gómez et al., 2017).

در سال‌های اخیر، روش LCA به طور گسترده‌ای برای ارزیابی عملکرد محیط‌زیستی محصولات کشاورزی متنوع مورد استفاده قرار گرفته است (Fan et al., 2022; Abeliotis et al., 2013). در زمینه تولید زیتون نیز مطالعات متعددی در کشورهای مختلف صورت گرفته است. برای نمونه، مطالعه Proietti et al., 2014 در کشور ایتالیا نشان می‌دهد که استفاده از روش ارزیابی چرخه زندگی ابزاری مؤثر برای شناسایی منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای و تخمین ذخیره کربن در طول چرخه عمر باغ زیتون است. در این پژوهش، با محاسبه منابع و فرایندهای تولید دی‌اکسید کربن و همچنین میزان جذب دی‌اکسید کربن و در نتیجه ذخیره کربن درختان، فرایندهای مدیریتی مؤثر بر میزان انتشار مورد بررسی قرار گرفته و راهکارهایی برای کاهش اثرات محیط‌زیستی در سامانه تولید زیتون پیشنهاد شده است. Pergola et al., 2013 نیز در ایتالیا، دو سامانه کشت متداول و پایدار زیتون را با استفاده از LCA مقایسه نمودند و برتری سامانه پایدار را در کاهش انتشار دی‌اکسید کربن نشان دادند. Mohamad et al., 2014 با مقایسه سامانه‌های زیتون‌کاری ارگانیک و متداول از نظر محیط‌زیستی و اقتصادی در منطقه آپولیا ایتالیا، نشان دادند که سامانه‌های ارگانیک از نظر محیط‌زیستی اثرات کمتری دارند و از نظر

اقتصادی سودآورتر هستند. نتایج این مطالعه با استفاده از ارزیابی چرخه زندگی (LCA) و هزینه چرخه زندگی (LCC) به دست آمد و بر اهمیت مدیریت بهینه کوددهی و استفاده از روش‌های مکانیکی و زیستی در کنترل علف‌های هرز و آفات به منظور کاهش هزینه‌ها و اثرات محیط‌زیستی تأکید شد.

Romero-Gómez et al., 2017 با بهره‌گیری از روش ارزیابی چرخه زندگی، اثرات محیط‌زیستی سامانه‌های مختلف تولید زیتون در اسپانیا را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که مرحله کوددهی بیشترین سهم را در ایجاد اثرات محیط‌زیستی دارد و سامانه‌های تولید تلفیقی، به ویژه در سامانه‌های سنتی مکانیزه، از نظر عملکرد محیط‌زیستی و بهره‌وری نسبت به سایر روش‌ها برتری دارند.

در ایران، خدراضایی و همکاران (۱۳۹۶) به بررسی اثرات محیط‌زیستی تولید زیتون در منطقه طارم با استفاده از روش ارزیابی چرخه زندگی پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که تولید زیتون در شرایط منطقه طارم اثرات محیط‌زیستی قابل توجهی را در هفت طبقه اثر تخلیه منابع غیرزیستی، اسیدی شدن، پتانسیل گرمایش جهانی، تخریب لایه اوزن، سمیت اکوسیستم‌های آب شیرین، سمیت اکوسیستم‌های دریایی و سمیت اکوسیستم‌های خشکی به دنبال دارد. نتایج ایشان همچنین بیانگر نقش محوری تولید کودهای شیمیایی و انتشارات مستقیم از باغ زیتون در تولید آلاینده‌ها بود.

Firouzi & Bazayr, 2020 عملکرد محیط‌زیستی سامانه‌های ارگانیک و رایج را در باغ‌های زیتون رودبار ارزیابی کردند و نتایج آن‌ها بر مزیت نسبی باغ‌های ارگانیک، به ویژه در مقیاس‌های بزرگتر (بیش از ۵ هکتار)، تأکید داشت. ایشان جایگزینی بخشی از کودهای شیمیایی با کودهای آلی نظیر کود دامی را به منظور بهبود پایداری محیط‌زیستی پیشنهاد نمودند.

در پژوهش Rahmani et al., (2022)، ارزیابی چرخه زندگی به منظور بررسی اثرات محیط‌زیستی در سامانه‌های سنتی و نیمه‌مکانیزه تولید زیتون در منطقه قزوین به کار گرفته شد. یافته‌های این تحقیق حاکی از آن بود که روش سنتی در مقایسه با سامانه نیمه‌مکانیزه، بار محیط‌زیستی بیشتری به ویژه در شاخص‌هایی نظیر گرمایش جهانی، مردابی شدن آب‌ها و آسیب به کیفیت اکوسیستم ایجاد می‌نماید. در مقابل، روش نیمه‌مکانیزه با کاهش محسوس این اثرات، به عنوان گزینه‌ای مطلوب‌تر از منظر پایداری محیط‌زیستی معرفی گردید.

Sales et al., 2022 به بررسی اثرات محیط‌زیستی سه سامانه تولید زیتون در پرتغال پرداخته و از روش ارزیابی چرخه زندگی برای مقایسه این سامانه‌ها استفاده نموده است. این تحقیق نشان داد که سامانه‌های فوق‌فشرده^۲ در مقایسه با سامانه‌های سنتی، بار محیط‌زیستی بیشتری را به همراه دارند، به طوری که اثرات محیط‌زیستی این سامانه‌ها بین ۲/۱ تا ۱۳۵/۶ برابر بیشتر از سامانه‌های سنتی گزارش شده است. در این مطالعه، منظور از سامانه «سنتی»، روش تولید با تراکم پایین کاشت (۱۰۰ اصله در هکتار) به صورت دیم و منظور از سامانه «فوق‌فشرده»، باغاتی با تراکم ۱۹۷۵ درخت در هکتار است که از روش‌های نوین آبیاری و برداشت ماشینی محصول بهره می‌برند.

باغ‌های زیتون سنتی معمولاً برای انجام اغلب فعالیت‌ها به نیروی کارگری دستی متکی هستند که منجر به مصرف مستقیم انرژی کمتر و انتشار گازهای گلخانه‌ای مرتبط در واحد سطح می‌گردد (El Hanandeh & Gharaibeh, 2016). با این وجود، مزارع زیتون مکانیزه و متراکم معمولاً به عملکرد بسیار بالاتری دست می‌یابند که اغلب در مقایسه با سامانه‌های سنتی کم‌بازده‌تر، منجر به کاهش بار محیط‌زیستی در واحد محصول (به عنوان مثال، در هر کیلوگرم زیتون) می‌شود. این مزیت می‌تواند در برخی موارد اثر انتشار مطلق بالاتر را با توزیع آن بر حجم تولید بیشتر جبران نموده و شاخص‌های شدت انتشار باغ‌های مدرن شده را بهبود بخشد (Fernández-Lobato et al., 2021; Rapa & Ciano, 2022).

تاکنون مطالعه‌ای که سامانه‌های سنتی و نیمه‌مکانیزه در تولید زیتون در منطقه طارم را مطالعه کرده باشد مشاهده نشد. هدف از این مطالعه، مقایسه اثرات محیط‌زیستی سناریوهای سنتی و نیمه‌مکانیزه تولید زیتون در منطقه طارم (به عنوان یک منطقه شاخص تولیدی در ایران) با بهره‌گیری از رویکرد LCA می‌باشد. این پژوهش در صدد است تا با شناسایی مهم‌ترین منابع آلاینده و مراحل بحرانی در چرخه زندگی زیتون، پیشنهادهایی را به منظور ارتقاء پایداری محیط‌زیستی در سطح مزرعه ارائه نموده و به توسعه الگوهای کشاورزی مبتنی بر بهره‌وری و پایداری کمک نماید.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و نمونه‌برداری

این پژوهش در سال ۱۴۰۱ شمسی در شهرستان طارم، واقع در استان زنجان، ایران (با موقعیت جغرافیایی $36^{\circ}49'36''$ شمالی و $48^{\circ}53'48''$ شرقی) به انجام رسید (شکل ۱). این شهرستان در ناحیه‌ای با اقلیم گرم و نیمه‌خشک استقرار یافته و بر اساس تقسیم‌بندی اقلیمی، به عنوان منطقه‌ای با آب و هوای مدیترانه‌ای در استان زنجان طبقه‌بندی می‌گردد. میانگین بارش سالانه در این منطقه حدود ۴۵۰ میلی‌متر گزارش شده است که با نوسانات فصلی قابل توجهی همراه می‌باشد. بر اساس داده‌های سازمان هواشناسی (IRIMO, 2025)، ماه‌های تیر و مرداد، گرم‌ترین بازه زمانی سال با میانگین دمای هوا تا ۴۵ درجه سلسیوس و ماه‌های آذر تا بهمن، سردترین دوره با میانگین دمای حدود $2/8-$ درجه سلسیوس می‌باشند.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه

در این مطالعه، جامعه آماری را کلیه باغداران زیتون فعال در شهرستان طارم تشکیل دادند. به منظور انتخاب نمونه‌ای از کشاورزان و تکمیل پرسش‌نامه‌های پژوهش، از روش نمونه‌گیری تصادفی ساده استفاده گردید. حجم نمونه مورد نیاز با بهره‌گیری از فرمول کوکران (رابطه ۱) و با در نظر گرفتن سطح اطمینان ۹۵ درصد و خطای مجاز ۵ درصد، معادل ۵۰ نفر تعیین شد (Namdari et al., 2024):

$$n = \frac{N(s \times t)^2}{(N - 1)d^2 + (s \times t)^2} \quad \text{رابطه ۱}$$

در این معادله، n نمایانگر حجم نمونه و N نشان‌دهنده حجم جامعه آماری است. پارامتر s معرف انحراف معیار متغیر مورد مطالعه و t مقدار بحرانی مربوط به سطح اطمینان ۹۵ درصد (معادل ۱/۹۶) می‌باشد. در نهایت، d بیانگر میزان خطای مجاز در نظر گرفته شده است که در این پژوهش ۵ درصد تعیین گردید. به منظور گردآوری داده‌های تکمیلی، مصاحبه‌هایی با مدیران بخش کشاورزی استانی صورت پذیرفت و همچنین به پایگاه‌های داده وزارت جهاد کشاورزی جمهوری اسلامی ایران مراجعه شد.

معرفی سامانه‌های مورد بررسی

باغ‌های زیتون مورد مطالعه در این پژوهش در دو گروه عمده طبقه‌بندی شدند: سنتی و نیمه‌مکانیزه. لازم به ذکر است که در منطقه مورد بررسی، نمونه‌ای از باغ‌های کاملاً مکانیزه مشاهده نگردید. باغ‌های کاملاً مکانیزه معمولاً از سامانه‌های مکانیکی جامع برای انجام کلیه مراحل باغداری بهره می‌برند، در حالی که در باغ‌های مورد مطالعه، برداشت محصول عمدتاً به روش دستی صورت می‌پذیرفت. مدیریت باغ‌های سنتی عموماً متکی به کاربرد گسترده نیروی انسانی در انجام طیف وسیعی از عملیات باغی است. کنترل آفات و

بیماری‌ها اغلب با استفاده از سم‌پاش‌های دستی یا پستی انجام می‌شود. سامانه‌های آبیاری عمدتاً بر روش‌های سنتی نظیر آبیاری غرقابی استوار هستند. مدیریت علف‌های هرز نیز معمولاً از طریق روش‌های دستی یا استفاده از علف‌کش‌های شیمیایی صورت می‌گیرد. برداشت زیتون در این نوع باغ‌ها نیز عمدتاً به صورت دستی انجام می‌پذیرد.

در مقابل، باغ‌های نیمه‌مکانیزه معمولاً از سم‌پاش‌های تراکتوری برای کنترل آفات و بیماری‌ها استفاده می‌کنند. آبیاری قطره‌ای به عنوان روش اصلی تأمین آب در این سامانه‌ها به شمار می‌رود. عملیات کنترل علف‌های هرز نیز به صورت مکانیزه و با استفاده از تراکتورهای مجهز به ادوات هرس‌کن یا علف‌چین انجام می‌پذیرد. با این حال، برداشت زیتون همچنان به روش دستی صورت می‌گیرد. باغ‌های سنتی زیتون در منطقه مورد مطالعه عموماً در مقیاس کوچک (اغلب با مساحت کمتر از ۰/۵ هکتار) بوده و دارای درختان زیتون بالغ و با سن بالا می‌باشند. در مقابل، باغ‌های نیمه‌مکانیزه معمولاً بزرگ‌تر از ۰/۵ هکتار بوده و عمدتاً از درختان جوان تشکیل شده‌اند که حاصل‌نوسازی‌های اخیر در این باغات می‌باشند.

بر اساس این ویژگی‌ها، دو سامانه‌ی زیر برای تحلیل در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت:

سامانه‌ی ۱: کشاورزی سنتی و در مقیاس کوچک، با استفاده از روش‌های متکی به نیروی انسانی.

سامانه‌ی ۲: کشاورزی نیمه‌مکانیزه و در مقیاس بزرگ‌تر، با بهره‌گیری از فناوری‌های مکانیزه در برخی مراحل تولید.

ارزیابی چرخه زندگی

منابع اصلی بارهای محیط‌زیستی در سامانه‌های تولید سنتی و نیمه‌مکانیزه زیتون شامل احتراق سوخت‌های فسیلی در ماشین‌های کشاورزی، تولید و مصرف نهاده‌های شیمیایی (کود و سم)، آبیاری با استفاده از پمپ‌های الکتریکی و عملیات حمل و نقل می‌باشند (Gkisakis et al., 2020). ماشین‌های مورد استفاده در مراحل آماده‌سازی خاک، مدیریت آفات، برداشت و حمل و نقل زیتون از سوخت‌های فسیلی استفاده می‌کنند که به طور مستقیم در انتشار آلاینده‌ها نقش دارند (Sales et al., 2022). همچنین، کاربرد بیش از حد نهاده‌های شیمیایی در سامانه‌های با بهره‌وری بالاتر می‌تواند منجر به افزایش آلاینده‌ی گردد (Fernández-Lobato et al., 2021).

به منظور ارزیابی اثرات محیط‌زیستی، از روش ارزیابی چرخه زندگی (LCA) بر اساس استانداردهای ISO 14040 و ISO 14044 استفاده گردید. این روش یک رویکرد سیستماتیک برای ارزیابی اثرات محیط‌زیستی در طول چرخه عمر تولید زیتون فراهم می‌سازد؛ این چرخه بر اساس مرزهای تعریف شده برای سامانه، از استخراج مواد اولیه تا مرحله دفع یا پایان عمر محصول را شامل می‌شود (ISO 14040, 2006). استاندارد ISO 14040 اصول و چارچوب کلی اجرای ارزیابی چرخه زندگی را تبیین می‌نماید. این استاندارد شامل چهار مرحله اصلی است: ۱) تعریف هدف و دامنه مطالعه؛ ۲) تحلیل موجودی چرخه زندگی^۱ (LCI)؛ ۳) ارزیابی اثرات محیط‌زیستی^۲ (LCIA) و ۴) تفسیر نتایج. جزئیات بیشتر در خصوص این مراحل در استانداردهای مذکور قابل دسترسی می‌باشد.

مرز سامانه در مطالعه حاضر، از گهواره تا درگاه خروجی محصول از مزرعه (گهواره تا درگاه^۳) در نظر گرفته شد. واحد عملکردی^۴ (FU) در این مطالعه، یک تن میوه زیتون در نظر گرفته شد. هدف برآورد اثرات محیط‌زیستی به ازای تولید یک تن زیتون در منطقه طارم تعریف گردید. شکل ۲ تصویری از مرزهای سیستم در مطالعه حاضر را به تصویر کشیده است.

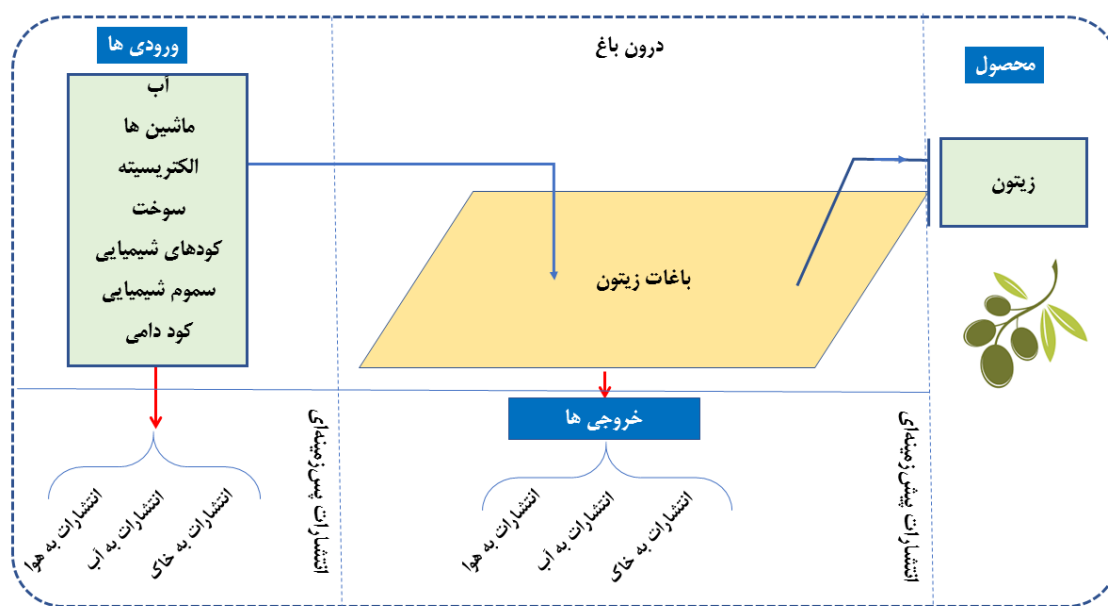
گام دوم ارزیابی چرخه زندگی، یعنی تحلیل موجودی چرخه زندگی (LCI)، به طور دقیق کلیه ورودی‌ها، خروجی‌ها و محصولات مرتبط با فرآیند تولید را مشخص می‌سازد. داده‌های مربوط به ورودی‌ها و خروجی‌ها از طریق تکمیل پرسشنامه‌ها توسط باغداران نمونه جمع‌آوری گردید. فرآیند تولید زیتون منجر به طیف وسیعی از خروجی‌ها می‌گردد، از جمله انتشار آلاینده‌ها ناشی از مصرف کودها، سموم شیمیایی و سوخت‌های فسیلی که به هوا، آب و خاک راه می‌یابند (سعیدی و همکاران، ۱۴۰۳). برای محاسبه میزان این انتشارات، از روابط ارائه شده توسط هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC, 2006) استفاده شد. در شکل ۲ نمایی از موجودی‌های چرخه زندگی تولید زیتون ارائه شده است.

1 Life Cycle Inventory

2 Life Cycle Impact Assessment

3 Gate-to-Gate

4 Functional Unit



شکل ۲. مرزهای سیستم و موجودی‌های چرخه زندگی تولید زیتون در منطقه طارم

به منظور ارزیابی اثرات محیط‌زیستی (گام سوم)، از نرم‌افزار Simapro نسخه ۹,۳,۰,۳ با روش CML-IA Baseline برای تعیین مشخصات اثرات^۱ و روش World 2000 برای نرمال‌سازی^۲ و وزن‌دهی^۳ استفاده گردید. این نرم‌افزار مقادیر مربوط به اثرات محیط‌زیستی را از پایگاه‌های داده علمی معتبر مختلف (ecoinvent 3.5, Agri-footprint 4.0, ELCD, Industry data 2.0, Methods) استخراج نموده و یک مدل محیط‌زیستی با مقادیر عددی برای انتشارات مرتبط با نهاده‌ها یا عملیات کشاورزی ارائه می‌دهد (Brito & Fernandes-Silva, 2022). گروه‌های تأثیر مورد مطالعه در این روش شامل موارد زیر می‌باشند: کاهش منابع غیرزیستی، کاهش منابع غیرزیستی (سوخت‌های فسیلی)، گرمایش جهانی (با افق زمانی ۱۰۰ سال)، تخریب لایه اوزن، سمیت انسانی، سمیت برای آب‌های سطحی شیرین، سمیت برای محیط‌های دریایی، سمیت برای اکوسیستم‌های خاکی، اکسیداسیون نوری-شیمیایی، اسیدی شدن و مردابی شدن آب‌ها (یوتریفیکاسیون).

نتایج و بحث

نتایج حاصل از صورت‌برداری چرخه زندگی (جدول ۱) در فرایند تولید زیتون، در دو سامانه سنتی و نیمه‌مکانیزه، مبنای محاسبات گروه‌های تأثیر یازده‌گانه با استفاده از روش CML-IA Baseline قرار گرفت. بررسی جدول ۱ نشان می‌دهد که در سامانه سنتی، میزان مصرف آب (۶۷۴۴/۵۶ مترمکعب)، الکتریسیته (۴۱۹۸/۷۵ کیلووات ساعت)، بنزین (۳۱ لیتر) و ریزمغذی‌ها (۴ کیلوگرم) در مقایسه با سامانه نیمه‌مکانیزه (به ترتیب ۵۹۰۷/۹۲ مترمکعب، ۳۳۶۵/۷۱ کیلووات ساعت، ۱۸/۵۵ لیتر و ۰/۲۷ کیلوگرم) بیشتر بوده است. این در حالی است که سامانه نیمه‌مکانیزه در مصرف سایر نهاده‌ها از جمله سوخت دیزل (۳۲۵ لیتر در مقابل ۴۷ لیتر)، کودهای نیتروژن (۱۶۱/۸۷ کیلوگرم در مقابل ۱۴۵/۴۴ کیلوگرم)، فسفات (۱۱۷/۹۱ کیلوگرم در مقابل ۸۳/۰۵ کیلوگرم)، پتاس (۱۲۳/۰۹ کیلوگرم در مقابل ۷۹/۵۷ کیلوگرم)، کود دامی (۶۱۵۵/۶۵ کیلوگرم در مقابل ۳۳۵۸/۱۵ کیلوگرم) و ماشین‌آلات (۲۸/۸۶ ساعت در مقابل ۴/۵۹ ساعت) مصرف بیشتری داشته است.

مصرف بالاتر آب در سامانه سنتی، که به تبع آن منجر به افزایش مصرف الکتریسیته نیز شده است، ناشی از به‌کارگیری روش‌های آبیاری با کارایی کمتر در مقایسه با سامانه آبیاری قطره‌ای مورد استفاده در سامانه نیمه‌مکانیزه می‌باشد. در مقابل، افزایش مصرف سوخت دیزل، کودها و سموم در سامانه نیمه‌مکانیزه می‌تواند مرتبط با هدف‌گذاری برای عملکرد بالاتر و نیز سهولت کاربرد این نهاده‌ها به دلیل استفاده از ماشین‌ها نسبت داده شود؛ به گونه‌ای که ماشین‌ها استفاده از کود و سم را برای کشاورزان آسان‌تر کرده و امکان مصرف مقادیر

1 Characterization

2 Normalization

3 Weighting

بیشتر آن‌ها را فراهم می‌کند. اگرچه این رویکرد ممکن است از نظر اقتصادی سودمند به نظر برسد، اما ممکن است پتانسیل ایجاد اثرات منفی در برخی شاخص‌های محیط‌زیستی را به همراه داشته باشد که هدف اصلی این پژوهش، تعیین میزان و ماهیت این اثرات می‌باشد. با این وجود، داده‌های جدول ۱ نشان می‌دهند که افزایش مصرف نهاده‌های مذکور در سامانه نیمه‌مکانیزه، همراه با به‌کارگیری روش‌های مدیریتی منسجم‌تر - شامل برنامه‌ریزی دقیق‌تر مصرف نهاده‌ها به‌خصوص آب، استفاده از ماشین‌ها به‌منظور یکنواختی و دقت بیشتر در توزیع نهاده‌ها، و انجام به‌موقع عملیات زراعی به دلیل سهولت و سرعت کار با ماشین‌ها - منجر به افزایش عملکرد این سامانه (۴۲۶۸/۶۹ کیلوگرم زیتون در مقابل ۲۵۴۸/۵۱ کیلوگرم در سامانه سنتی به ازای واحد سطح) شده است.

جدول ۱. موجودی چرخه زندگی (Life Cycle Inventory) فرایند تولید زیتون در سامانه‌های سنتی و نیمه‌مکانیزه

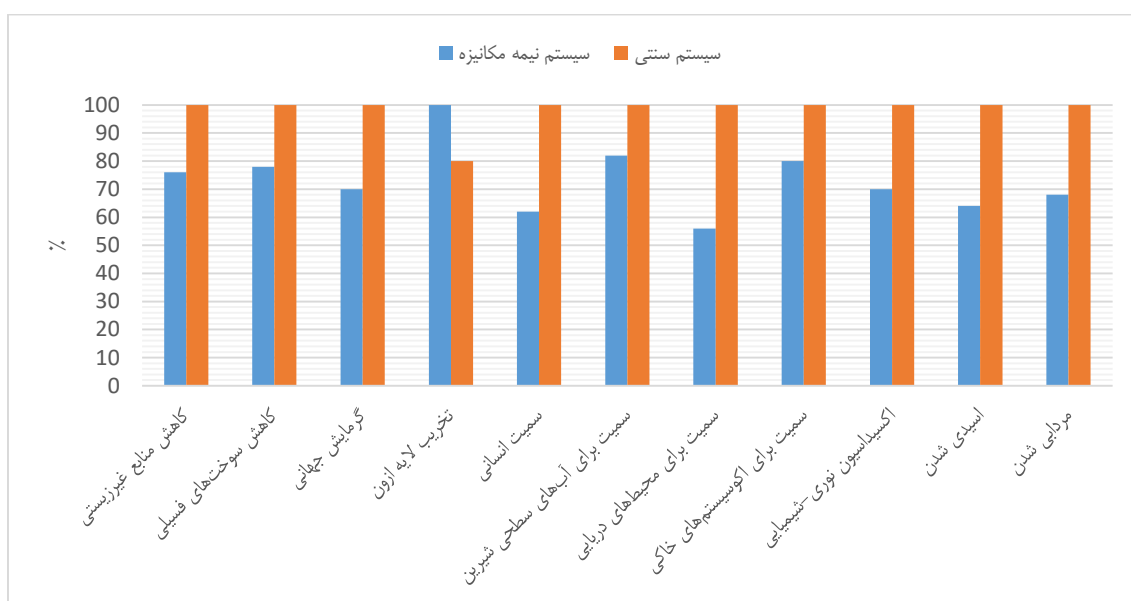
عنوان	واحد	سامانه سنتی	سامانه نیمه‌مکانیزه
(۱) ورودی			
۱-۱) آب	مترمکعب	۶۷۴۴/۵۶	۵۹۰۷/۹۲
۱-۲) الکتریسیته	کیلووات ساعت	۴۱۹۸/۷۵	۳۳۶۵/۷۱
۱-۳) سوخت دیزل	لیتر	۴۷	۳۲۵
۱-۴) سوخت بنزین	لیتر	۳۱	۱۸/۵۵
۱-۵) کود نیتروژن	کیلوگرم	۱۴۵/۴۴	۱۶۱/۸۷
۱-۶) کود فسفات	کیلوگرم	۸۳/۰۵	۱۱۷/۹۱
۱-۷) کود پتاس	کیلوگرم	۷۹/۵۷	۱۲۳/۰۹
۱-۸) ریزمغذی‌ها	کیلوگرم	۴	۰/۲۷
۱-۹) سولفور	کیلوگرم	۶	۱۲
۱-۱۰) علف‌کش	کیلوگرم	۳/۰۳	۹/۶۷
۱-۱۱) آفت‌کش	کیلوگرم	۲/۴۴	۳/۶۷
۱-۱۲) قارچ‌کش	کیلوگرم	۰/۱۵	۰/۸۲
۱-۱۳) کود دامی	کیلوگرم	۳۳۵۸/۱۵	۶۱۵۵/۶۵
۱-۱۴) ماشین‌ها	ساعت	۴/۵۹	۲۸/۸۶
(۲) خروجی			
۲-۱) انتشارات به هوا			
NH ₃ (۲-۱-۱)	کیلوگرم	۱۶/۹۰	۱۹/۷۵
N ₂ O (۲-۱-۲)	کیلوگرم	۱/۷۲	۲/۰۴
دی‌اکسید کربن (CO ₂) (۲-۱-۳)	کیلوگرم	۲۱۷/۸۷	۷۶۹/۵۵
۲-۲) انتشارات به آب			
NO ₃ (۲-۲-۱)	کیلوگرم	۱۰۸/۷۴	۱۲۷/۱۲
P (۲-۲-۲)	کیلوگرم	۰/۸۳	۱/۱۸
۲-۳) انتشارات به خاک			
۲-۳-۱) علف‌کش	کیلوگرم	۱/۲۴	۳/۹۶
۲-۳-۲) آفت‌کش	کیلوگرم	۱/۴۷	۲/۲۰
۲-۳-۳) قارچ‌کش	کیلوگرم	۰/۰۳	۰/۱۵
(۳) محصول			
زیتون (۳-۱)	کیلوگرم	۲۵۴۸/۵۱	۴۲۶۸/۶۹

به منظور تعیین کمی اثرات محیط‌زیستی به ازای واحد عملکردی (یک تن زیتون)، گروه‌های تاثیر یازده‌گانه با روش CML-IA Baseline بر اساس داده‌های جدول سیاهه (جدول ۱) برای هر دو سامانه برآورد گردید (جدول ۲). مقادیر ارائه شده در جدول ۲، مقادیر مطلق (غیروزن‌دهی‌شده) این تاثیرات می‌باشند.

بر اساس جدول ۲ نتایج حاصل از تولید یک تن زیتون در دو سامانه سنتی و نیمه‌مکانیزه، تفاوت‌های قابل‌توجهی را در اغلب شاخص‌های محیط‌زیستی نشان داد. به منظور مقایسه مقادیر این دو سامانه، نمودارهای مقایسه‌ای گروه‌های تاثیر در شکل ۳ آورده شده است. شکل ۳ نمایانگر عملکرد محیط‌زیستی بهتر سامانه نیمه‌مکانیزه در بیشتر دسته‌های تاثیر در مقایسه با سامانه سنتی می‌باشد.

جدول ۲. جدول تأثیرات محیطی (Impact Assessment Table) تولید یک تن ذرت در دو سامانه سنتی و نیمه مکانیزه

گروه تاثیر	واحد	سامانه سنتی	سامانه نیمه مکانیزه
کاهش منابع غیرزیستی	kg Sb eq	۰/۰۱۲	۰/۰۰۹
کاهش منابع غیرزیستی (سوخت‌های فسیلی)	MJ	۱۴۳۹۹/۷۳	۱۱۰۹۴/۶۱
گرمایش جهانی (با افق زمانی ۱۰۰ سال)	kg CO ₂ eq	۱۲۸۶/۱۱	۸۸۸/۶۶
تخریب لایه ازن	kg CFC-11 eq	۶/۶۸۹×۱۰ ^{-۵}	۸/۳۰۴×۱۰ ^{-۵}
سمیت انسانی	kg 1,4-DB eq	۵۵۲/۴۰	۳۴۴/۵۴
سمیت برای آب‌های سطحی شیرین	kg 1,4-DB eq	۳۳۳۱/۰۹	۲۷۳۷/۴۹
سمیت برای محیط‌های دریایی	kg 1,4-DB eq	۱/۷۸×۱۰ ^{-۶}	۹/۷۲×۱۰ ^{-۵}
سمیت برای اکوسیستم‌های خاکی	kg 1,4-DB eq	۸/۳۱	۶/۶۷
اکسیداسیون نوری-شیمیایی	kg C ₂ H ₄ eq	۰/۱۸۳	۰/۱۲۷
اسیدی شدن	kg SO ₂ eq	۴/۰۶	۲/۶۰
مردابی شدن آب‌ها (یوتروفیکاسیون)	kg PO ₄ ^{۳-} eq	۹/۰۰	۵/۹۲



شکل ۳. مقایسه شاخص‌های مختلف محیط‌زیستی بر پایه روش CML-IA برای تولید یک تن زیتون در دو سامانه کشت سنتی و نیمه مکانیزه در منطقه طارم، استان زنجان

یکی از شاخص‌های کلیدی در ارزیابی اثرات محیط‌زیستی، شاخص پتانسیل گرمایش جهانی (GWP) است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که سامانه سنتی تولید زیتون در مقایسه با سامانه نیمه مکانیزه، میزان بالاتری از انتشار گازهای گلخانه‌ای را ایجاد می‌کند؛ به طوری که مقدار GWP برای سامانه سنتی معادل ۱۲۸۶/۱۱ کیلوگرم دی‌اکسید کربن معادل و برای سامانه نیمه مکانیزه ۸۸۸/۱۱ کیلوگرم گزارش شد که بیانگر کاهش حدود ۳۱ درصدی در انتشار گازهای گلخانه‌ای در سامانه نیمه مکانیزه است. یافته‌های این مطالعه با نتایج گزارش شده توسط خدازایی و همکاران (۱۳۹۶) درباره تولید زیتون در منطقه طارم که میزان ۱۲۹۰ کیلوگرم CO₂-eq را گزارش کرده‌اند، مطابقت دارد. لازم به ذکر است، مطالعه خدازایی و همکاران دسته‌بندی خاصی از روش‌های تولید نداشته و مقادیر گزارش شده را می‌توان به عنوان مقادیر میانگین منطقه برای روش‌های مختلف در نظر گرفت. همچنین در مطالعه‌ای که در کشور ترکیه انجام شده، شاخص GWP برای سامانه‌های مختلف تولید زیتون در شرایط دیم و آبی از ۱۶۲۰ تا ۷۲۵۰ کیلوگرم CO₂-eq به ازای هر تن متغیر بوده است. بر اساس نتایج آن پژوهش، سامانه‌های سنتی دارای مقادیر بالاتری از GWP نسبت به سامانه‌های پرتراکم و فوق‌العاده پرتراکم بودند، که این یافته نیز با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد. منظور از "تراکم" در دسته‌بندی این سامانه‌ها، تعداد اصله درخت موجود به ازای هر هکتار می‌باشد. به طور خاص، در آن مطالعه سامانه فوق‌العاده پرتراکم آبیاری‌شونده دارای شاخص ۱۶۲۰ کیلوگرم CO₂-eq به ازای هر تن و سامانه سنتی آبیاری‌شونده دارای شاخصی معادل ۷۲۵۰ کیلوگرم CO₂-eq گزارش شد (Ruiz-Carrasco et al., 2023). همچنین،

تحقیق Rahmani et al., 2022 در منطقه قزوین نیز تفاوت مشابهی را نشان داده است؛ به طوری که میزان GWP برای سامانه سنتی برابر با ۸۶۵ و برای سامانه نیمه مکانیزه ۴۱۶ کیلوگرم CO₂-eq گزارش شد. در مطالعه‌ای دیگر در کشور پرتغال، مقدار این شاخص را برای تولید زیتون معادل ۲۴۷,۳۹ کیلوگرم CO₂-eq گزارش کردند که در مقایسه با منطقه طارم نشان‌دهنده اثرگذاری بیشتر تولید زیتون بر گرمایش جهانی در این منطقه است (Brito and Fernandes-Silva, 2022).

در شاخص کاهش منابع غیرزیستی (سوخت‌های فسیلی)، مصرف انرژی در سامانه سنتی (۱۴۳۹۹/۷۳ مگاژول) به طور قابل ملاحظه‌ای بالاتر از سامانه نیمه مکانیزه (۱۱۰۹۴/۶۱ مگاژول) بوده است (حدود ۲۳ درصد کاهش). این مقادیر در مقایسه با مطالعه‌ای در اسپانیا بر روی زیتون و سایر محصولات (Martin-Gorriz et al., 2020) که مقادیر بسیار کمتری را گزارش کرده‌اند، بالاتر است که نشان‌دهنده راندمان پایین‌تر ماشین‌آلات و تجهیزات مورد استفاده در ایران می‌باشد.

روند مشابهی در شاخص‌های مربوط به سمیت انسانی و زیست‌بوم‌ها نیز مشاهده شد؛ به طوری که شاخص سمیت انسانی در سامانه سنتی تولید زیتون برابر با ۵۵۳/۴۰ کیلوگرم معادل ۱۰۴-دی‌کلروبنزن (DB-۱۰۴) و در سامانه نیمه مکانیزه معادل ۳۴۴/۵۴ کیلوگرم ۱۰۴-DB گزارش شد. این نتایج با داده‌های ارائه‌شده توسط خدازایی و همکاران (۱۳۹۶) در منطقه طارم که مقدار ۴۱۴ کیلوگرم DB-۱۰۴ را گزارش کرده‌اند، همخوانی دارد. در مطالعه‌ای مشابه در کشور پرتغال، میزان سمیت انسانی را برابر با ۱۱۶/۸۹ کیلوگرم DB-۱۰۴ گزارش شده است که بیانگر شدت کمتر اثرات محیط‌زیستی در آن منطقه نسبت به ایران است و لزوم اقدامات اصلاحی برای کاهش این آثار در کشور را نشان می‌دهد (Brito and Fernandes-Silva, 2022). این اقدامات می‌تواند شامل بهینه‌سازی مصرف نهاده‌های شیمیایی (کود و سم) از طریق به کارگیری کودهای آلی یا زیستی، اجرای مدیریت تلفیقی آفات، استفاده از ماشین‌های کم‌مصرف و بهبود راندمان سیستم‌های آبیاری باشد، به گونه‌ای که ضمن حفظ عملکرد، اثرات منفی زیست‌محیطی کاهش یابد. همچنین در مطالعات انجام‌شده در ایتالیا توسط De Gennaro et al., 2012 و Salomone & Ioppolo, 2012، به ترتیب مقادیر ۴۸۴ و ۲۱۵ کیلوگرم DB-۱۰۴ برای تولید هر تن زیتون گزارش شده است.

علاوه بر این، در شاخص سمیت برای محیط‌های دریایی نیز تفاوت قابل توجهی میان دو سامانه مشاهده شد؛ به گونه‌ای که مقدار این شاخص برای سامانه سنتی برابر با $۱/۷۸ \times ۱۰^۶$ کیلوگرم معادل DB-۱۰۴ و برای سامانه نیمه مکانیزه برابر با $۰/۹۷۲ \times ۱۰^۶$ کیلوگرم بود. مقدار گزارش‌شده در مطالعه خدازایی و همکاران (۱۳۹۶) برابر با $۱/۷۳ \times ۱۰^۵$ کیلوگرم DB-۱۰۴ بوده که همسو با یافته‌های مطالعه حاضر است. در مطالعه Rahmani et al., 2022 نیز نتایج مشابهی به دست آمد، به طوری که سامانه سنتی در مقایسه با سامانه نیمه مکانیزه، اثرات محیط‌زیستی بیشتری بر اکوسیستم‌های دریایی از خود نشان داده است. شاخص سمیت برای محیط‌های دریایی نشان‌دهنده پتانسیل انتقال آلاینده‌ها به منابع آبی از طریق رواناب سطحی یا نفوذ به آب‌های زیرزمینی است؛ آلاینده‌هایی که می‌توانند وارد اکوسیستم‌های آبی نظیر رودخانه‌ها، تالاب‌ها و در نهایت محیط‌های دریایی شوند (Rajak et al., 2024). در این مطالعه، مقادیر بالاتر این شاخص در سامانه سنتی را می‌توان به عملکرد پایین محصول در آن سامانه در ازای مصرف مقدار قابل توجهی از نهاده‌های شیمیایی (به ویژه کودها) نسبت داد که منجر به افزایش احتمال شسته‌شدن و انتقال این ترکیبات به منابع آبی می‌شود.

شاخص‌هایی نظیر اسیدی شدن، اکسیداسیون نوری-شیمیایی و مردابی شدن آب‌ها نیز در سامانه نیمه مکانیزه مقادیر کمتری نسبت به سامانه سنتی داشتند (شکل ۳). کاهش این شاخص‌ها در سامانه نیمه مکانیزه به بهبود کارایی مصرف نهاده‌ها و به ویژه آب، کود و سموم نسبت داده می‌شود؛ به گونه‌ای که استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای و ماشین‌های کشاورزی منجر به کاهش تلفات آب و کاهش شسته‌شدن کودها و سموم به منابع آبی شده است. در نتیجه، ورود ترکیبات نیتروژن دار و فسفره (عوامل اصلی اسیدی شدن و مردابی شدن) به اکوسیستم‌های آبی در سامانه نیمه مکانیزه محدودتر بوده است. همچنین، کاهش مصرف مستقیم انرژی الکتریکی (به دلیل راندمان بالاتر سامانه آبیاری قطره‌ای) احتمال تشکیل ترکیبات نوری-شیمیایی آلاینده در اتمسفر، که عامل اصلی اکسیداسیون نوری-شیمیایی هستند، را نیز کاهش داده است. این روند به خوبی نشان‌دهنده پتانسیل کاهش فشارهای محیط‌زیستی با به کارگیری روش‌های نیمه مکانیزه در کشت زیتون می‌باشد. این یافته‌ها با نتایج مطالعات انجام شده در قزوین (Rahmani et al., 2022) و ترکیه (Ruiz-Carrasco et al., 2023) همخوانی دارند.

در بین یازده شاخص مورد بررسی، تنها شاخص تخریب لایه ازن در سامانه نیمه مکانیزه مقدار بیشتری را به خود اختصاص داده است که بررسی دلایل آن در ادامه و با تحلیل سهم نهاده‌ها در گروه‌های تاثیر صورت خواهد گرفت. به منظور تحلیل دقیق‌تر سهم هر یک از نهاده‌ها و فرآیندهای تولید در ایجاد آثار محیط‌زیستی، شکل‌های ۴ و ۵ به ترتیب سهم

نسبی فرایندهای مختلف را در سامانه‌های سنتی و نیمه‌مکانیزه در قالب گروه‌های اثر نشان می‌دهند.

در سامانه سنتی (شکل ۴)، در شاخص کاهش منابع غیرزیستی، بیشترین سهم به مصرف کودهای شیمیایی (مجموعاً ۶۵/۳۷ درصد، شامل ۲۶/۷۴ درصد اوره، ۲۴/۸۹ درصد کود فسفره، ۱۲/۹۷ درصد پتاس و ۰/۷۷ درصد ریزمغذی‌ها) و متعاقباً به مصرف الکتریسیته (۲۷/۴۹ درصد) اختصاص دارد. یافته‌های مشابهی در پژوهش‌های مربوط به تولید میوه‌ها و سبزیجات در اسپانیا نیز گزارش شده است (Martin-Gorriz et al., 2020). همچنین، مطالعه‌ای در زمینه تولید سیب‌زمینی در استان مرکزی ایران نشان داده است که سهم کودهای شیمیایی و الکتریسیته در این شاخص به ترتیب ۵۲ و ۳۸ درصد بوده است (شاه محمدی و همکاران، ۱۳۹۵).

در شاخص کاهش منابع فسیلی، الکتریسیته با سهم ۶۹ درصد به عنوان عامل اصلی شناسایی گردید؛ در حالی که کود اوره (۱۳/۳ درصد) و سوخت دیزل (۶/۴۴ درصد) سهم‌های بعدی را به خود اختصاص داده‌اند. در شاخص گرمایش جهانی، الکتریسیته (۶۳/۵ درصد)، انتشار درون‌مزرعه‌ای (۲۰/۶ درصد) و کود اوره (۸/۵۸ درصد) بیشترین سهم را دارا هستند. مطالعه Rajaeifar et al., 2014 نیز نشان داده است که در تولید روغن زیتون، کودهای شیمیایی و الکتریسیته نقش برجسته‌ای در تولید گازهای گلخانه‌ای ایفا می‌کنند.

در شاخص تخریب لایه ازن، الکتریسیته (۴۵ درصد)، سوخت دیزل (۱۷/۸ درصد)، اوره (۱۲ درصد) و بنزین (۱۱/۹ درصد) سهم قابل توجهی را به خود اختصاص می‌دهند. از دست دادن ازن یک فرایند طبیعی است که از سطح معمول گازهای موجود مانند متان، اکسید نیتروز، متیل بروماید و متیل کلراید نتیجه می‌شود. اگر به دلایلی میزان این گازهای طبیعی در استراتوسفر افزایش یابد، یا ترکیبات جدیدی مثل کلروفلوروکربن‌ها به اتمسفر وارد شوند که در این فرایند بتوانند شرکت کنند، میزان از دست دادن ازن افزایش پیدا خواهد کرد (شاه محمدی و همکاران، ۱۳۹۵). چون الکتریسته در ایران از سوخت‌های فسیلی حاصل می‌گردد، بنابراین الکتریسته و سوخت‌های فسیلی (دیزل و بنزین) عامل اصلی تخریب لایه ازن در منطقه طارم در تولید زیتون شناسایی شده‌اند.

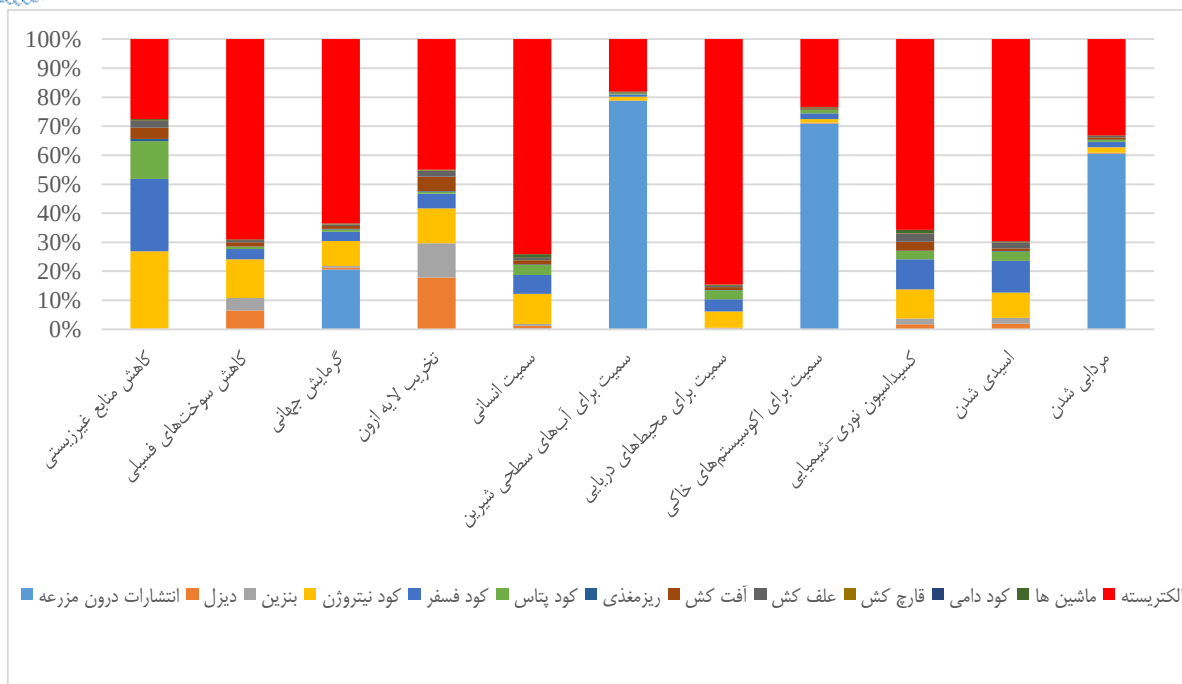
در شاخص سمیت انسانی نیز سهم بالایی برای الکتریسیته (۷۴/۱ درصد)، اوره (۱۰/۴ درصد) و کود فسفره (۶/۴۹ درصد) گزارش شده است. این الگو با یافته‌های خدراضایی و همکاران (۱۳۹۶) همخوانی دارد که در آن کودهای شیمیایی و الکتریسیته به عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر بر سمیت انسانی در تولید زیتون معرفی شده‌اند.

در شاخص سمیت برای آب‌های سطحی شیرین، انتشار درون‌مزرعه‌ای با سهم ۷۸/۸ درصد نقش غالب را ایفا می‌کند؛ که این امر به‌طور مستقیم متأثر از مصرف کودهای شیمیایی است. این نتیجه با مطالعات انجام شده در زمینه تولید سیب (Naderi et al., 2020)، چغندرقد (Namdari et al., 2024) و محصولات علوفه‌ای نظیر یونجه و ذرت (Fathollahi et al., 2018) سازگار است. همچنین، در شاخص سمیت برای محیط‌های دریایی، الکتریسیته ۸۴/۵ درصد از سهم را به خود اختصاص داده و در شاخص سمیت برای اکوسیستم‌های خاکی نیز انتشار درون‌مزرعه‌ای (۷۰/۸ درصد) و الکتریسیته (۲۳/۴ درصد) نقش دارند. مطالعه‌ای در تولید سیب در اصفهان نیز نشان داده است که ۵۵ درصد از بار محیط‌زیستی این شاخص ناشی از انتشار مستقیم نهاده‌ها بوده است (Naderi et al., 2020).

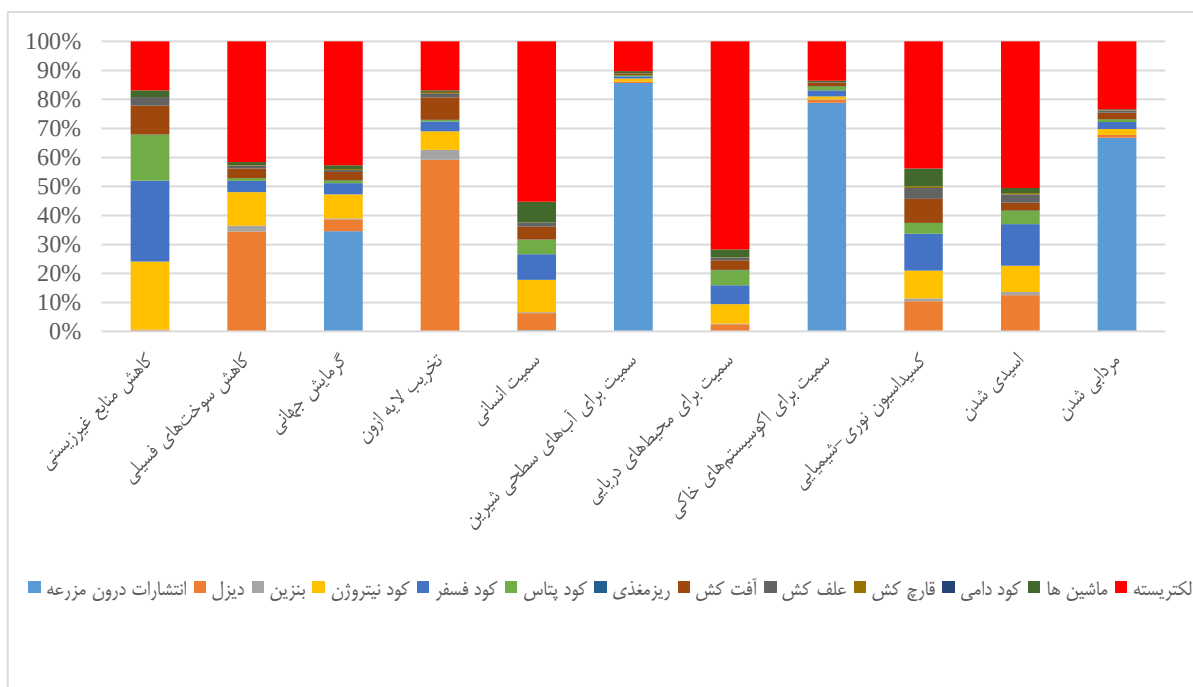
در شاخص‌های اکسیداسیون نوری- شیمیایی و اسیدی شدن، الکتریسیته با سهم‌های ۶۵/۷ درصد و ۶۹/۷ درصد به ترتیب، عامل غالب محسوب می‌شود و کود فسفره (۱۰/۹ درصد) و اوره (۱۰/۱ درصد و ۸/۷۳ درصد به ترتیب) در رتبه‌های بعدی اهمیت قرار دارند. شاخص مردابی شدن آب‌ها نیز عمدتاً تحت تأثیر انتشار درون‌مزرعه‌ای (۶۰/۶ درصد) و الکتریسیته (۳۲/۲ درصد) قرار دارد. گزارش‌های پیشین نیز سهم بالای انتشار درون‌مزرعه‌ای در این شاخص را تأیید کرده‌اند؛ از جمله در تولید سیب‌زمینی (۸۳ درصد) و سیب (۸۵ درصد) (Shahmohammadi et al., 2016; Naderi et al., 2020).

در مقابل، در سامانه نیمه‌مکانیزه (شکل ۵)، اگرچه نهاده‌هایی نظیر الکتریسیته و کودهای شیمیایی همچنان سهم قابل توجهی دارند، اما نسبت به سامانه سنتی کاهش یافته و سهم انتشار درون‌مزرعه‌ای افزایش یافته است. به عنوان مثال، در شاخص گرمایش جهانی، سهم الکتریسیته به ۴۲/۷ درصد کاهش و سهم انتشار درون‌مزرعه‌ای به ۳۴/۵ درصد افزایش یافته است. در شاخص سمیت برای آب‌های سطحی شیرین، در حالی که سهم الکتریسیته ۱۰/۲ درصد باقی مانده است، سهم انتشار درون‌مزرعه‌ای به ۸۵/۷ درصد افزایش یافته است. انتشارات به هوا، آب و خاک در سامانه نیمه‌مکانیزه (جدول ۲) ناشی از مصرف بیشتر کودهای شیمیایی و سوخت دیزل در این سامانه است که نشان می‌دهد فرایندهای زراعی نیز می‌توانند اثرات محیط‌زیستی قابل توجهی داشته باشند و مدیریت مصرف نهاده‌ها، به ویژه کودهای شیمیایی، در سامانه نیمه‌مکانیزه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

در نهایت، شاخص تخریب لایه ازن در سامانه نیمه‌مکانیزه نسبت به سامانه سنتی افزایش نشان می‌دهد که علت آن افزایش مصرف سوخت دیزل در این سامانه است. مقایسه شکل‌های ۴ و ۵ به وضوح این روند را نمایان می‌سازد.



شکل ۴. سهم نسبی نهاده‌های مختلف در شاخص‌های گوناگون محیط‌زیستی در تولید یک تن زیتون در سامانه سنتی



شکل ۵. سهم نسبی نهاده‌های مختلف در شاخص‌های گوناگون محیط‌زیستی در تولید یک تن زیتون در سامانه نیمه‌مکانیزه

به‌منظور ارائه دیدگاهی جامع از اثرات محیط‌زیستی سامانه‌های سنتی و نیمه‌مکانیزه تولید زیتون در منطقه طارم، ارزیابی چرخه‌ی زندگی با بهره‌گیری از روش نمره‌دهی واحد نیز صورت پذیرفت. این رویکرد امکان مقایسه‌ی یکپارچه اثرات محیط‌زیستی در گروه‌های مختلف تأثیر را از طریق تجمیع آن‌ها در یک شاخص عددی واحد فراهم می‌سازد. شکل‌های ۶ و ۷ به‌ترتیب سهم نهاده‌ها و فرایندهای مختلف را در نمره‌ی نهایی برای سامانه‌های سنتی و نیمه‌مکانیزه نشان می‌دهند.

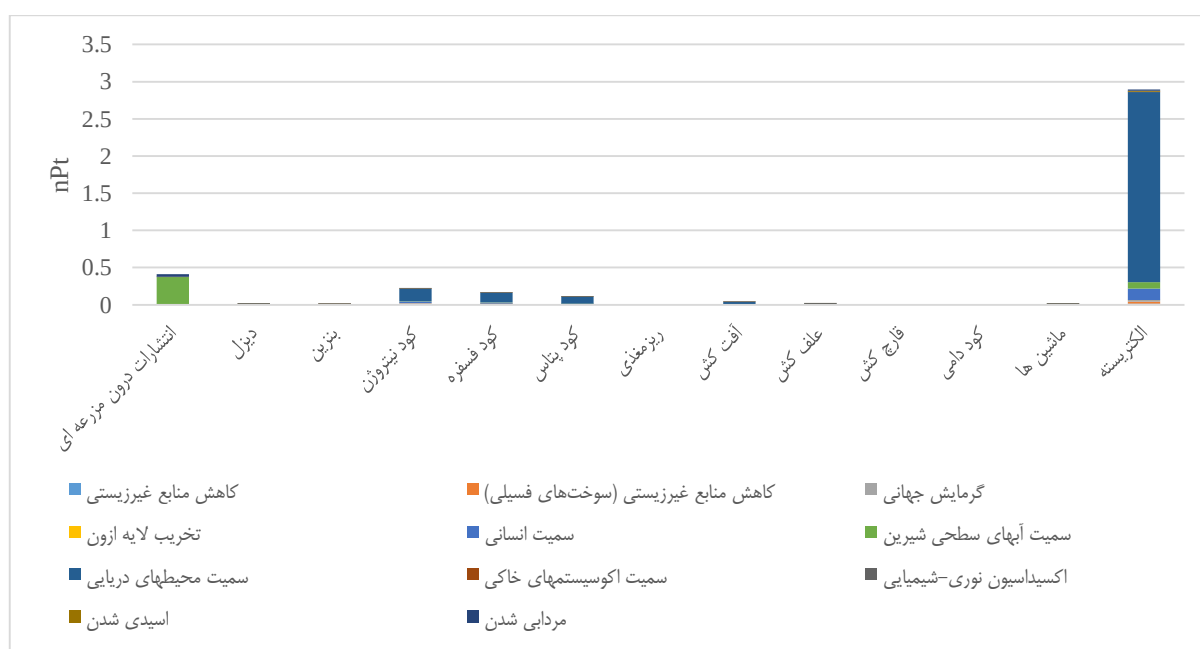
نتایج حاصل از تحلیل نمره‌ی واحد حاکی از آن است که در هر دو سامانه، مصرف الکتریسیته در مزرعه به‌عنوان مهم‌ترین عامل مؤثر در بار محیط‌زیستی شناسایی می‌گردد. الکتریسیته‌ی مصرفی به‌طور کامل به استخراج آب از چاه و اجرای آبیاری اختصاص می‌یابد. با

این وجود، سهم این عامل در سامانه نیمه‌مکانیزه (تقریباً ۵۸ درصد از کل نمره) به‌طور قابل توجهی کمتر از سامانه سنتی (تقریباً ۷۴ درصد) است. این کاهش عمدتاً ناشی از افزایش کارایی سامانه آبیاری قطره‌ای در سامانه نیمه‌مکانیزه می‌باشد؛ در حالی که در سامانه سنتی، استفاده از روش‌های آبیاری سطحی، منجر به افزایش مصرف آب و به تبع آن، الکتریسیته شده است.

اولویت بالای مصرف الکتریسیته در میان نهاده‌های مورد استفاده، بر اهمیت مدیریت بهینه‌ی انرژی الکتریکی در بخش کشاورزی تأکید می‌ورزد. به‌کارگیری پمپ‌های با راندمان بالا، استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر در تولید برق، و توسعه‌ی سامانه‌های آبیاری با راندمان بالا نظیر آبیاری قطره‌ای، از جمله راهکارهای مؤثر در راستای کاهش اثرات محیط‌زیستی در تولید زیتون به شمار می‌روند. لازم به ذکر است که قیمت یارانه‌ای برق کشاورزی نیز می‌تواند منجر به کاهش حساسیت بهره‌برداران نسبت به میزان مصرف آن گردد.

در مرتبه‌ی دوم اهمیت، فرایندهای زراعی درون مزرعه (انتشارات مستقیم) سهم قابل توجهی در نمره‌ی واحد کلی دارند؛ به‌طوری که این میزان در سامانه نیمه‌مکانیزه حدود ۱۵ درصد و در سامانه سنتی حدود ۱۴ درصد گزارش شده است. این انتشارات عمدتاً متأثر از مصرف کودهای شیمیایی می‌باشند. همچنین، در هر دو سامانه، فرایند تولید کودهای شیمیایی در رتبه‌های سوم و چهارم نمره‌ی واحد قرار گرفته‌اند که بیانگر نقش مؤثر آن‌ها در بار محیط‌زیستی است. در این میان، کودهای نیتروژنه و فسفره بیشترین سهم را دارا هستند. سهم کود اوره در سامانه نیمه‌مکانیزه ۶/۴ درصد و در سامانه سنتی ۵/۷ درصد گزارش شده است. همچنین، سهم کود فسفره به‌ترتیب ۵/۹۸ درصد و ۴/۱۸ درصد می‌باشد که ضرورت مدیریت دقیق مصرف کودهای شیمیایی را در هر دو سامانه آشکار می‌سازد.

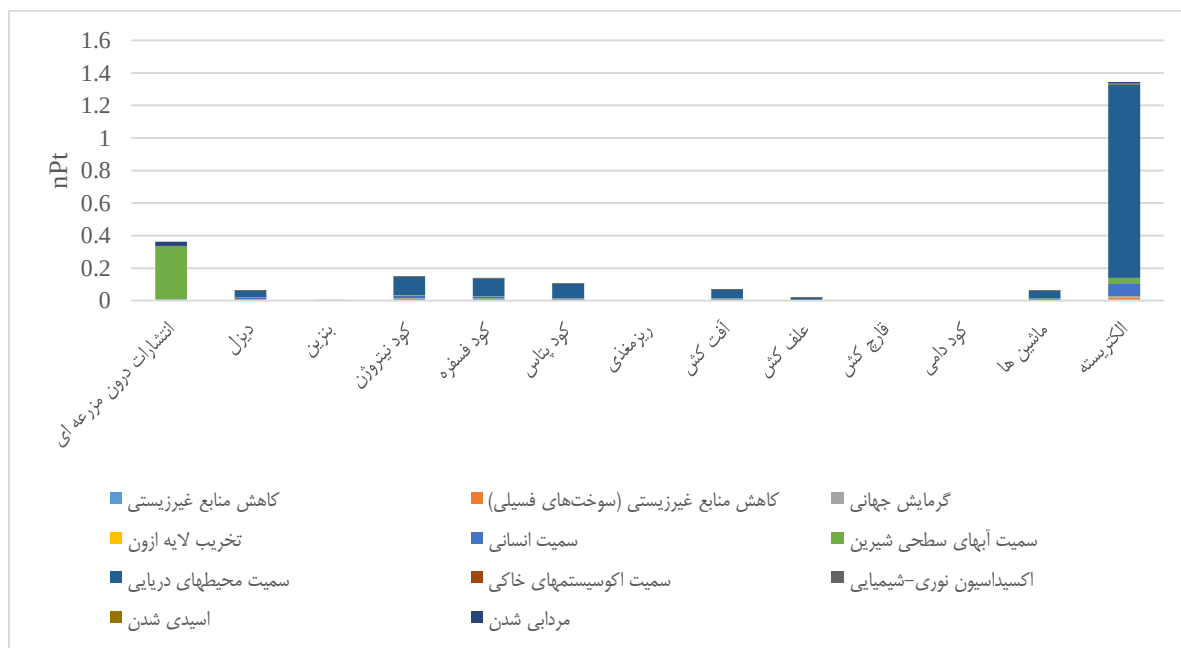
مطالعات مشابه در اسپانیا نیز بار محیط‌زیستی قابل توجهی را برای سه بخش اصلی آبیاری (آب و الکتریسیته)، عملیات مزرعه‌ای (انتشارات مستقیم)، و تولید کودهای شیمیایی گزارش نموده‌اند. در آن پژوهش، جایگزینی کودهای شیمیایی با کود دامی منجر به کاهش ۲۱ درصد در اثرات محیط‌زیستی و به‌کارگیری آبیاری کنترل‌شده، موجب کاهش ۶ درصد در اثرات بدون کاهش عملکرد محصول گردیده است (Martin-Gorriz et al., 2020).



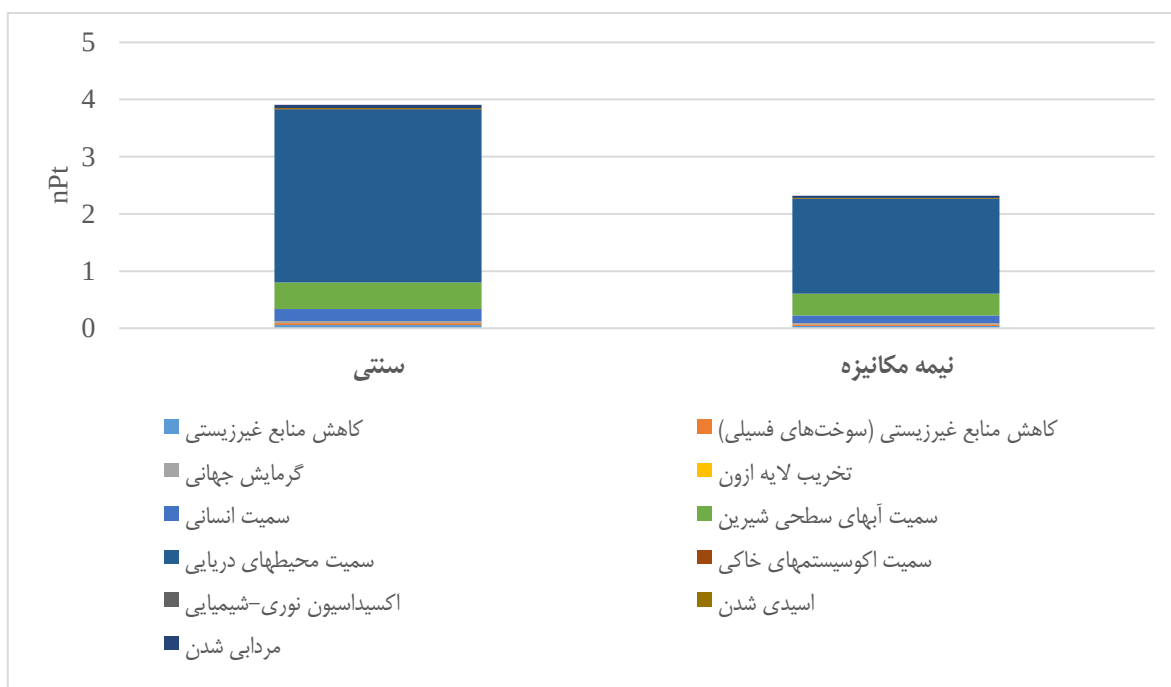
شکل ۶. نمودار تجمیعی تأثیرات محیط‌زیستی ورودی‌های مختلف در تولید یک تن زیتون در سامانه سنتی با استفاده از امتیاز نهایی (Single Score)

شکل ۸ نمره‌ی واحد کلی اثرات محیط‌زیستی در تولید یک تن زیتون را برای دو سامانه کشت سنتی و نیمه‌مکانیزه مورد مقایسه قرار می‌دهد. این نمره، حاصل تجمیع مقادیر نرمال‌شده و وزن‌دهی شده‌ی تمامی گروه‌های تأثیر محیط‌زیستی است. همان‌گونه که در این شکل مشهود است، نمره‌ی کلی سامانه سنتی (تقریباً ۳/۹ nPt) به‌طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر از سامانه نیمه‌مکانیزه (تقریباً ۲/۳ nPt) می‌باشد. این تفاوت بار دیگر برتری محیط‌زیستی سامانه نیمه‌مکانیزه را تأیید می‌نماید. مطالعه Rahman et al., 2022 در منطقه قزوین نیز نشان داد که روش نیمه‌مکانیزه در اغلب شاخص‌های محیط‌زیستی مانند تغییر اقلیم (۴۱۶/۵۶ در مقابل ۸۶۵/۰۱ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن)، سلامت انسان (۰/۰۰۱ در مقابل ۰/۰۰۲ DALY) و کیفیت اکوسیستم (۲۸۵۹/۵۳ در مقابل ۸۶۸۸/۵۲ PDF.m².yr) برتری دارد.

عملکرد بهتری نسبت به روش سنتی داشته است. مطالعه Ruiz-Carrasco et al., 2023 در ترکیه نیز نشان داده است که کشت سنتی اثرات محیط‌زیستی بیشتری نسبت به باغات متراکم دارد. تمام شاخص‌های مورد مطالعه‌ی آن‌ها در کشت سنتی مقدار کمتری نسبت به باغات متراکم ثبت کرده است. خوشنویسان و همکاران نیز در تولید برنج در گیلان گزارش کرده است که کشت مکانیزه نسبت به کشت سنتی از نظر محیط‌زیستی، تأثیرات منفی کمتری دارد و تمام شاخص‌های مورد مطالعه‌ی آن‌ها در سامانه مکانیزه نسبت به سامانه سنتی ارجحیت داشته است (Khoshnevisan et al., 2014).



شکل ۷. نمودار تجمیعی تأثیرات محیط‌زیستی ورودی‌های مختلف در تولید یک تن زیتون در سامانه نیمه‌مکانیزه با استفاده از امتیاز نهایی (Single Score)



شکل ۸. نمره واحد کلی اثرات محیط‌زیستی تولید یک تن زیتون در سامانه‌های کشت سنتی و نیمه‌مکانیزه در منطقه طارم، با تفکیک سهم گروه‌های تأثیر مختلف

تحلیل سهم گروه‌های تأثیر مختلف در نمره‌ی نهایی (شکل ۸) نشان می‌دهد که شاخص سمیت برای محیط‌های دریایی بیشترین

سهم را در هر دو سامانه به خود اختصاص می‌دهد، اگرچه سهم آن در سامانه نیمه‌مکانیزه کمتر است. شاخص‌های سمیت برای آب‌های سطحی شیرین و سمیت انسانی نیز نقش قابل توجهی دارند، اما سهم آن‌ها نیز در سامانه نیمه‌مکانیزه کمتر از سامانه سنتی گزارش شده است. سایر شاخص‌ها نظیر مردابی شدن آب‌ها، کاهش منابع غیرزیستی، گرمایش جهانی و اسیدی شدن در مراتب بعدی اهمیت قرار دارند. کمترین اثر نیز مربوط به تخریب لایه‌ی اوزن می‌باشد. در تولید محصولات نظیر زیتون (خدارضایی و همکاران، ۱۳۹۶)، گندم (Ghasemi-Mobtaker et al., 2020)، علوفه (Fathollahi et al., 2018)، و ذرت (Hossein et al., 2024) نیز شاخص سمیت برای محیط‌های دریایی بیشترین سهم را در فرایند تولید داشته‌اند.

در مجموع، این تحلیل تجمیعی نشان می‌دهد که به‌کارگیری سامانه نیمه‌مکانیزه در کشت زیتون منجر به کاهش قابل ملاحظه در بار محیط‌زیستی می‌گردد. این کاهش عمدتاً ناشی از کاهش اثرات در شاخص‌های سمیت برای محیط‌های آبی و انسانی است. با این وجود، مدیریت بهینه‌ی مصرف الکتریسیته و کودهای شیمیایی، به‌ویژه با توجه به سهم بالای آن‌ها در برخی گروه‌های تأثیر، کماکان از اهمیت بسزایی برخوردار است.

نکته قابل توجه دیگر این است که، مقایسه‌ی یافته‌های این مطالعه با نتایج پژوهش‌های انجام‌شده در کشورهای توسعه‌یافته (نظیر Brito and Fernandes-Silva, 2022; Martin-Gorriz et al., 2020) نشان می‌دهد که شدت گروه‌های تأثیر در ایران بالاتر می‌باشد. این مسئله بیانگر بار محیط‌زیستی بیشتر تولید زیتون در ایران بوده و بر ضرورت اجرای اقدامات اصلاحی در مصرف نهاده‌ها تأکید می‌نماید. استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر مانند پنل‌های خورشیدی در سامانه‌های پمپاژ آب و مصرف کودهای شیمیایی با توجه به نیاز واقعی محصول، به عنوان راهکارهای مؤثر برای بهبود وضعیت محیط‌زیستی در باغات زیتون ایران قابل توجه است (Hossein et al., 2024).

نتیجه گیری

این مطالعه به ارزیابی جامع اثرات محیط‌زیستی دو سامانه تولید سنتی و نیمه‌مکانیزه زیتون در منطقه طارم استان زنجان پرداخت. یافته‌ها نشان داد که سامانه نیمه‌مکانیزه علی‌رغم مصرف بیشتر سوخت دیزل و برخی نهاده‌های شیمیایی، به دلیل کارایی بالاتر در مصرف آب و انرژی و افزایش عملکرد محصول، در اکثر شاخص‌های محیط‌زیستی برتری قابل توجهی دارد. کاهش ۳۱ درصدی پتانسیل گرمایش جهانی و ۳۸ درصدی سمیت انسانی در این سامانه، گواهی بر این مدعاست.

تحلیل‌های صورت گرفته دو عامل اصلی را به عنوان نقاط بحرانی در ایجاد اثرات محیط‌زیستی شناسایی نمود: مصرف الکتریسیته برای پمپاژ آب با سهمی بین ۵۸ تا ۷۴ درصد و استفاده از کودهای شیمیایی با سهمی بین ۱۵ تا ۲۰ درصد از کل بار محیط‌زیستی. این نتایج بر ضرورت بازنگری در الگوی مصرف این نهاده‌ها تأکید می‌نماید.

برای بهبود پایداری سامانه‌های تولید زیتون، راهکارهای عملیاتی متعددی پیشنهاد می‌شود. استقرار سامانه‌های آبیاری با راندمان بالا مانند آبیاری قطره‌ای، به‌کارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر در پمپاژ آب، و مدیریت دقیق کوددهی بر اساس آزمون خاک و نیاز گیاه از جمله این راهکارهاست. همچنین توسعه مکانیزاسیون کامل با استفاده از ماشین‌آلات کم‌مصرف می‌تواند به کاهش بیشتر اثرات محیط‌زیستی منجر شود.

نتایج این مطالعه می‌تواند مبنای علمی مناسبی برای سیاست‌گذاران بخش کشاورزی و باغداران در جهت تدوین الگوهای پایدار تولید زیتون باشد. با این حال، برای دستیابی به تصویر کامل‌تری از پایداری این سامانه‌ها، انجام مطالعات تکمیلی که ابعاد اقتصادی و اجتماعی را نیز پوشش دهند، توصیه می‌شود. چنین پژوهش‌هایی می‌توانند به توسعه راهکارهای جامع‌تر برای تولید پایدار زیتون در ایران کمک کنند.

منابع

خدارضایی، احسان؛ ویسی، هادی؛ نوری، امید؛ طاهری، مهدی و خوشبخت، کوروس (۱۳۹۶). ارزیابی اثرات محیط زیستی تولید زیتون (Olea europaea L) با استفاده از ارزیابی چرخه حیات: مطالعه موردی شهرستان طارم، استان زنجان. *بوم‌شناسی کشاورزی*، ۹(۲)، ۴۵۸-۴۷۴.

<https://doi.org/10.22067/jag.v9i2.46350>

سعیدی، کامبیز؛ نامداری، مجید و یوسفی، علی‌رضا (۱۴۰۳). تحلیل مقایسه‌ای روش‌های حسابداری مرسوم و MFCA برای ارزیابی بهره‌وری انرژی و اقتصادی در تولید گوجه‌فرنگی در شهرستان نهاوند. *مهندسی بیوسیستم / ایران*، ۵۵(۴)، ۴۵-۶۲.

<https://doi.org/10.22059/ijbse.2025.388967.665582>



شاه‌محمدی، علیرضا؛ ویسی، هادی؛ خوشبخت، کوروس؛ مهدوی دامغانی، عبدالمجید و سلطانی، الیاس (۱۳۹۵). ارزیابی چرخه حیات تولید سیب‌زمینی به روش نیمه مکانیزه در ایران: مطالعه موردی، استان مرکزی. *مهندسی بیوسیستم ایران*، ۴۷(۴)، ۶۶۶-۶۵۹.

<https://doi.org/10.22059/ijbse.2017.60260>

عظیمی، محمود؛ زینالو، علی‌اصغر و مصطفوی، کریم (۱۳۹۵). بررسی سازگاری و مطالعه ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی تعدادی از ارقام زیتون (Olea europaea L.) در شرایط اقلیمی طارم. *علوم باغبانی*، ۳۰(۱)، ۱۹-۳۴. <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v30i1.26236>

REFERENCES

- Abeliotis, K., Detsis, V., & Pappia, C. (2013). Life cycle assessment of bean production in the Prespa National Park, Greece. *Journal of Cleaner Production*, 41, 89-96. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.09.032>
- Azimi, M., Zeinanloo, A. A. and Mostafavi, K. (2016). Evaluation of Compatibility and Morpho-Physiological Characteristics of Some Olive Cultivars (Olea europaea L.) at Tarom Climate. *Journal of Horticultural Science*, 30(1), 19-34. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v30i1.26236>
- Brito, T., & Fernandes-Silva, A. (2022). Life cycle assessment for olive production: A case study for the region of Trás-os-Montes, Portugal. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences*, 76 (4), 526-530. <https://doi.org/10.2478/prolas-2022-0081>
- De Gennaro, B., Notarnicola, B., Roselli, L., & Tassielli, G. (2012). Innovative olive-growing models: an environmental and economic assessment. *Journal of cleaner production*, 28, 70-80. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.11.004>
- El Hanandeh, A., & Gharaibeh, M. A. (2016). Environmental efficiency of olive oil production by small and micro-scale farmers in northern Jordan: Life cycle assessment. *Agricultural Systems*, 148, 169-177. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.08.003>
- Fan, J., Liu, C., Xie, J., Han, L., Zhang, C., Guo, D., Niu, J., Jin, H., & McConkey, B. G. (2022). Life Cycle Assessment on Agricultural Production: A Mini Review on Methodology, Application, and Challenges. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(16), 9817. <https://doi.org/10.3390/ijerph19169817>
- FAO. 2025. Food and Agriculture Organization. Available from: www.fao.org
- Fathollahi, H., Mousavi-Avval, S. H., Akram, A., & Rafiee, S. (2018). Comparative energy, economic and environmental analyses of forage production systems for dairy farming. *Journal of Cleaner Production*, 182, 852-862. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.073>
- Fernández-Lobato, L., García-Ruiz, R., Jurado, F., & Vera, D. (2021). Life cycle assessment, C footprint and carbon balance of virgin olive oils production from traditional and intensive olive groves in southern Spain. *Journal of Environmental Management*, 293, 112951. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112951>
- Firouzi, S., & Bazyar, A. H. (2020). Environmental Life Cycle Assessment of Olive Fruit Production under Different Orchard Size and Upon Organic and Conventional Agro-Systems. *International Journal of Agricultural Management and Development (IJAMAD)*, 10(3), 267-277. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.335131>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116768>
- Gkisakis, V. D., Volakakis, N., Kosmas, E., & Kabourakis, E. M. (2020). Developing a decision support tool for evaluating the environmental performance of olive production in terms of energy use and greenhouse gas emissions. *Sustainable Production and Consumption*, 24, 156-168. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.07.003>
- Hossein, H. Y., Azizpanah, A., Namdari, M., & Shirkhani, H. (2024). Environmental life cycle assessment of corn production in tropical regions. *Scientific Reports*, 14(1), 20036. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-70923-4>
- IPCC (2006) Guidelines for national greenhouse gas inventories. In: ggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. (Eds.), Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. IGES, Japan. <<http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.htm>>
- IRIMO, 2025. Iran Meteorological Organization. www.irimo.ir
- ISO 14040, (2006). Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework. International Organization for Standardization, Geneva.

- ISO 14044, (2006). Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines. International Organization for Standardization, Geneva.
- Khodarezaie, E., Veisi, H., Noori, O., Taheri, M. and Khoshbakht, K. (2017). Environmental impact assessment of olive production using Life Cycle Assessment: A case study, Tarom County, Zanjan province. *Journal of Agroecology*, 9(2), 458-474. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jag.v9i2.46350>
- Khoshnevisan, B., Rajaeifar, M. A., Clark, S., Shamahirband, S., Anuar, N. B., Shuib, N. L. M., & Gani, A. (2014). Evaluation of traditional and consolidated rice farms in Guilan Province, Iran, using life cycle assessment and fuzzy modeling. *Science of the Total Environment*, 481, 242-251. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.052>
- MAJ, (2025). Ministry of Agriculture Jihad of Iran. Available from: www.maj.ir
- Martin-Gorritz, B., Gallego-Elvira, B., Martínez-Alvarez, V., & Maestre-Valero, J. F. (2020). Life cycle assessment of fruit and vegetable production in the Region of Murcia (south-east Spain) and evaluation of impact mitigation practices. *Journal of Cleaner Production*, 265, 121656. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121656>
- Mohamad, R. S., Verrastro, V., Cardone, G., Bteich, M. R., Favia, M., Moretti, M., & Roma, R. (2014). Optimization of organic and conventional olive agricultural practices from a Life Cycle Assessment and Life Cycle Costing perspectives. *Journal of Cleaner Production*, 70, 78-89. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.02.033>
- Naderi, S., Raini, M. G. N., & Taki, M. (2020). Measuring the energy and environmental indices for apple (production and storage) by life cycle assessment (case study: Semirom county, Isfahan, Iran). *Environmental and sustainability indicators*, 6, 100034. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2020.100034>
- Namdari, M., Rafiee, S., Notarnicola, B., Tassielli, G., Renzulli, P. A., & Hosseinpour, S. (2024). Use of LCA indicators to assess Iranian sugar production systems: Case study—Hamadan Province. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14(5), 6759-6772. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-02982-4>
- Pergola, M., Favia, M., Palese, A. M., Perretti, B., Xiloyannis, C., & Celano, G. (2013). Alternative management for olive orchards grown in semi-arid environments: An energy, economic and environmental analysis. *Scientia Horticulturae*, 162, 380-386. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.08.031>
- Proietti, S., Sdringola, P., Desideri, U., Zepparelli, F., Brunori, A., Ilarioni, L., ... & Proietti, P. (2014). Carbon footprint of an olive tree grove. *Applied Energy*, 127, 115-124. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.04.019>
- Rahmani, A., Parashkoohi, M. G., & Zamani, D. M. (2022). Sustainability of environmental impacts and life cycle energy and economic analysis for different methods of grape and olive production. *Energy Reports*, 8, 2778-2792. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.01.197>
- Rajaeifar, M. A., Akram, A., Ghobadian, B., Rafiee, S., & Heidari, M. D. (2014). Energy-economic life cycle assessment (LCA) and greenhouse gas emissions analysis of olive oil production in Iran. *Energy*, 66, 139-149. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.12.059>
- Rajak, P., Ganguly, A., Nanda, S., Mandi, M., Ghanty, S., Das, K., ... & Sarkar, S. (2024). Toxic contaminants and their impacts on aquatic ecology and habitats. In *Spatial Modeling of Environmental Pollution and Ecological Risk* (pp. 255-273). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95282-8.00040-7>
- Rapa, M., & Ciano, S. (2022). A Review on Life Cycle Assessment of the Olive Oil Production. *Sustainability*, 14(2), 654. <https://doi.org/10.3390/su14020654>
- Romero-Gámez, M., Castro-Rodríguez, J., & Suárez-Rey, E. M. (2017). Optimization of olive growing practices in Spain from a life cycle assessment perspective. *Journal of Cleaner Production*, 149, 25-37. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.071>
- Ruiz-Carrasco, B., Fernández-Lobato, L., López-Sánchez, Y., & Vera, D. (2023). Life cycle assessment of olive oil production in turkey, a territory with an intensive production project. *Agriculture*, 13(6), 1192. <https://doi.org/10.3390/agriculture13061192>
- Russo, C., Cappelletti, G. M., Nicoletti, G. M., Di Noia, A. E., & Michalopoulos, G. (2016). Comparison of European Olive Production Systems. *Sustainability*, 8(8), 825. <https://doi.org/10.3390/su8080825>
- Saidi, K., Namdari, M., & Yousefi, A. (2025). Comparative Analysis of Conventional and MFCA Methods for Assessing Energy and Economic Efficiency of Tomato Production in Nahavand County, *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 55(4), 45-62. (In Persian) <https://doi.org/10.22059/ijbse.2025.388967.665582>
- Sales, H., Figueiredo, F., Patto, M. C. V., & Nunes, J. (2022). Assessing the environmental sustainability of Portuguese olive growing practices from a life cycle assessment perspective. *Journal of Cleaner*



Production, 355, 131692. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131692>

Salomone, R., & Ioppolo, G. (2012). Environmental impacts of olive oil production: A Life Cycle Assessment case study in the province of Messina (Sicily). *Journal of cleaner production*, 28, 88-100.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.10.004>

Shahmohammadi, A. , Veisi, H. , khoshtakht, K. , Mahdavi Damghani, A. and Soltani, E. (2017). Life Cycle Assessment of potato production semi-mechanized method in Iran: A Case Study of Markazi Province. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 47(4), 666-659. (In Persian)

<https://doi.org/10.22059/ijbse.2017.60260>