Research Article

Agricultural Engineering., 48(2) (2025) 181-203 ISSN (E): 2588-526X

DOI: 10.22055/agen.2025.49048.1768 ISSN (P): 2588-5944

The application of material flow cost accounting in optimizing energy consumption and reducing olive production costs

B. Mohammadi[1], M. Namdari[2*], A.R. Yousefi[3] and M. Heydari[4]

1. Master's Graduate, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran
2. Assistant Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran
3. Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran
4. Ph.D. Graduate, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

Received: 16 February 2025 Accepted: 19 March 2025 *Corresponding Author: namdari@znu.ac.ir

Abstract

Introduction: The generation of waste and the emission of pollutants are significant challenges in production processes, leading to increased economic costs and environmental degradation. Addressing these challenges has become a priority, as unsustainable production practices not only harm the environment but also hinder long-term economic development. Sustainable production and environmental efficiency are critical goals for manufacturing units aiming to achieve sustainable development. Achieving these goals requires innovative tools and methodologies that can assess and optimize resource use across various production systems. Cleaner production approaches, which focus on optimizing production processes and reducing negative environmental impacts, have emerged as key strategies in this context. One such tool is material flow cost accounting (MFCA), developed under ISO 14051:2011. MFCA has proven to be a powerful tool for simultaneously improving environmental and financial performance by quantifying material flows and associated costs within production systems. This study applies MFCA to analyze the energy and economic performance of olive production in Tarom County, Iran, a region known for its significant olive cultivation. The research seeks to identify inefficiencies, reduce resource waste, and promote sustainable agricultural practices through an integrated assessment of energy and economic parameters.

Materials and Methods: This study was conducted in olive orchards in Tarom County during the 2022 agricultural year, using an approach grounded in both scientific rigor and practical applicability. Data were collected through comprehensive questionnaires covering all major agricultural activities such as plowing, pruning, irrigation, fertilization, pest control, labor, and fuel and electricity consumption. A statistically reliable sample of 50 orchards was selected using Cochran's formula to ensure adequate representation of the region's olive production practices. MFCA was employed to quantify material and energy flows, focusing on input resources (e.g., water, fertilizers, electricity) and output products (e.g., olives, waste, and emissions). The methodology strictly adhered to ISO 14051 guidelines, which define four cost categories for each quantity center (QC): system costs, material costs, energy costs, and waste management costs. Energy equivalents for inputs and outputs were calculated using standard conversion factors. Additionally, energy indices such as energy efficiency, energy productivity, and net energy were evaluated to provide a comprehensive understanding of the system's energy dynamics. The economic analysis encompassed

© 2025 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

parameters such as gross production value, net income, benefit-to-cost ratio, and economic productivity, offering insights into the financial implications of production practices.

Results and Discussion: The total energy input for olive production was calculated at 77,417.56 MJ/ha, with electricity (59%), urea fertilizer (15%), and fossil fuels (14%) identified as the primary contributors. Positive energy outputs totaled 40,221.48 MJ/ha, while negative energy outputs, which included product loss and fertilizer waste, amounted to 6,853.04 MJ/ha. Among negative outputs, product loss (71%) and nitrate leaching (21%) represented the largest shares. The energy efficiency ratio was 0.52 using conventional methods but dropped to 0.43 when analyzed with MFCA, underscoring the hidden costs of waste and inefficiencies that traditional accounting methods fail to capture. These findings highlight the need for improved management practices to enhance both energy efficiency and economic viability. Economic analysis revealed that labor costs constituted 67% of variable production costs, whereas electricity, despite its high contribution to energy inputs, accounted for a mere 0.28% of financial costs. This discrepancy points to the critical need for better energy management strategies, including the adoption of renewable energy sources to reduce dependency on fossil fuels. Several inefficiencies were identified, particularly excessive water use during irrigation and significant product loss during harvesting, which adversely affect both energy and economic performance. To address these issues, implementing precision irrigation systems, mechanizing harvesting processes, and integrating renewable energy sources for pumping were proposed as effective strategies to reduce resource waste and improve sustainability. These findings align with those of previous studies on other crops, underscoring the universal applicability of MFCA in identifying inefficiencies and fostering sustainable agricultural practices. Furthermore, the study emphasizes that adopting cleaner production methods not only enhances resource efficiency but also supports broader sustainable development goals. This dual benefit makes MFCA a valuable tool for promoting both environmental stewardship and economic competitiveness in agriculture.

Conclusion: This study demonstrates the effectiveness of MFCA in providing a comprehensive analysis of energy and economic performance in olive production systems. By quantifying material and energy flows, MFCA revealed significant inefficiencies in critical areas such as water use and product loss, which are often overlooked in conventional accounting methods. The results emphasize the importance of adopting cleaner production practices, including precision irrigation, mechanized harvesting, and renewable energy integration, to improve both sustainability and economic viability. The application of MFCA not only enhances resource efficiency but also contributes to achieving sustainable development goals by reducing environmental impacts and lowering production costs. Future research should focus on the practical implementation of the proposed strategies and assess their long-term effects on carbon footprint reduction, resource optimization, and market competitiveness. This study underscores the transformative potential of MFCA as a tool for advancing sustainable agriculture, offering valuable insights for policymakers, farmers, and researchers aiming to optimize resource use and promote environmental stewardship in olive production and beyond.

Keywords: **Energy efficiency, Sustainable agriculture, Resource optimization. Material flow cost accounting, Olive production**

مهندسی زراعی (مجله علمی کشاورزی) جلد ۴۸. شماره۲، ۱۴۰۴

مقاله پژوهشی

کاربرد حسابداری هزینه جریان مواد در بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش هزینه‌های تولید زیتون

بهنام محمدی[۱]، مجید نامداری[۲*]، علی‌رضا یوسفی[۳] و مسلم حیدری[۴]

۱= دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، ایران

۲- استادیار گروه تولید و ژنتیک گیاهی ، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، ایران

۳- استاد گروه تولید و ژنتیک گیاهی ، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، ایران

۴- دانش‌آموخته دکتری گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، ایران

تاریخچه مقاله

دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۸

پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۱۲/۲۹

کلمات کلیدی:

بهره‌وری انرژی،

کشاورزی پایدار،

بهینه‌سازی منابع ،

حسابداری هزینه جریان مواد ،

تولید زیتون

* عهده دار مکاتبات

Email: namdari@znu.ac.ir

چکیده

تولید پسماند و انتشار آلاینده‌ها از چالش‌های اصلی فرآیندهای تولیدی است که نه تنها هزینه‌های اقتصادی را افزایش می‌دهد، بلکه باعث اتلاف منابع و آسیب‌های محیط‌زیستی می‌شود. در این راستا، رویکرد تولید پاک و استفاده از فناوری‌های پاک به عنوان راهکارهایی مؤثر برای کاهش مصرف مواد اولیه، انرژی و آلاینده‌ها مطرح شده‌اند. حسابداری هزینه جریان مواد (MFCA) به عنوان ابزاری نوین در مدیریت محیط‌زیستی و مالی، با هدف کمی‌سازی جریان‌های مواد و هزینه‌های مرتبط با ضایعات، به بهبود بهره‌وری و کاهش اثرات منفی محیط‌زیستی کمک می‌کند. این مطالعه با به‌کارگیری روش MFCA، به تحلیل انرژی و اقتصادی تولید زیتون در باغات شهرستان طارم پرداخته است. داده‌های مورد نیاز از طریق پرسشنامه‌های میدانی جمع‌آوری و با استفاده از استاندارد ISO 14051 تحلیل شدند. نتایج نشان داد که مجموع انرژی ورودی برای تولید زیتون ۷۷۴۱۷/۵۱ مگاژول بر هکتار است که بیشترین سهم آن مربوط به برق (۵۹ درصد) و کودهای شیمیایی (۱۵ درصد) می‌باشد. انرژی خروجی مثبت و منفی به ترتیب ۴۰۲۲۱/۴۸ و ٦٨٥٣/٠٤ مگاژول بر هکتار محاسبه شد که هدررفت محصول (۷۱ درصد) و آبشویی نیترات (۲۱ درصد) بیشترین سهم را در انرژی‌های منفی داشتند. از نظر اقتصادی، هزینه نیروی کارگری با ٦٧ درصد بیشترین سهم را در بین هزینه‌های متغیر به خود اختصاص داد. همچنین، نسبت سود به هزینه در روش MFCA (۲/۲٦) نسبت به روش مرسوم (۱/۹۵) کاهش یافت که نشان‌دهنده تأثیر هزینه‌های پنهان ضایعات و هدررفت منابع است. این مطالعه نشان می‌دهد که استفاده از MFCA می‌تواند به بهبود شفافیت در مدیریت منابع، کاهش هزینه‌ها و

© 2025 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

دستیابی به اهداف توسعه پایدار در تولید زیتون کمک کند. پیشنهاد می‌شود با بهینه‌سازی سیستم‌های آبیاری، کاهش هدررفت محصول و توسعه مکانیزاسیون، بهره‌وری انرژی و اقتصادی در این بخش افزایش یابد.

مقدمه

تولید پسماند و انتشار آلاینده‌ها از پیامدهای ناکارآمدی فرآیندهای تولیدی است که نه تنها هزینه‌های اقتصادی را افزایش می‌دهد، بلکه باعث اتلاف منابع ارزشمند و آسیب‌های محیط‌زیستی می‌شود (۲۶). در این راستا، تولید پایدار و بهبود بهره‌وری محیط‌زیستی به عنوان اهداف کلیدی واحدهای تولیدی در جهت تحقق توسعه پایدار مطرح شده‌اند. رویکردهای تولید پاک، با تأکید بر بهینه‌سازی فرآیندهای تولید و کاهش اثرات منفی محیط زیستی، به عنوان استراتژی‌های مؤثر در این زمینه شناخته می‌شوند. این رویکردها با کاهش مصرف مواد اولیه و انرژی، منجر به کاهش تولید پسماند و آلاینده‌ها می‌شوند. استفاده از فناوری‌های پاک نیز امکان بهبود کارایی فرآیندها، کاهش هزینه‌ها و افزایش رقابت‌پذیری واحدهای تولیدی را فراهم می‌کند. این فناوری‌ها با کاهش مصرف منابع و انرژی، به حفظ محیط‌زیست و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک می‌کنند. به طور کلی، اتخاذ رویکرد تولید پاک نه تنها عملکرد محیط‌زیستی واحدهای تولیدی را بهبود می‌بخشد، بلکه از طریق کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری، عملکرد اقتصادی آن‌ها را نیز ارتقا می‌دهد و در نهایت، به دستیابی به توسعه پایدار در سطح جامعه منجر می‌شود (۱۲).

حسابداری هزینه جریان مواد[1] (MFCA) به عنوان ابزاری نوین برای بهبود همزمان عملکرد محیط‌زیستی و مالی واحدهای تولیدی توسعه یافته است. مطابق با استاندارد ISO 14051:2011، MFCA به عنوان روشی برای کمی‌سازی جریان‌ها و ذخایر مواد در فرآیند تولید، هم در واحدهای فیزیکی و هم پولی تعریف می‌شود. این ابزار مدیریتی با بهبود شیوه‌های موجود، به واحدهای تولیدی در مدیریت مؤثر مصرف مواد و انرژی کمک می‌کند (۲۵، ۴۲). MFCA به عنوان یک رویکرد نسبتاً نوین در حوزه مدیریت حسابداری محیط‌زیستی، ریشه در نظریه‌های حسابداری سنتی ندارد، بلکه خاستگاه آن به عرصه مدیریت محیط‌زیستی بازمی‌گردد. این روش نخستین بار در پروژه مدیریت محیط‌زیستی داخلی شرکت کونرت[2] آلمان توسعه یافت و از طریق تحلیل تراز مواد به ارزیابی و مدیریت هزینه‌های محیط‌زیستی پرداخت (۴۸).

MFCA بر کمی‌سازی محصولات قابل فروش (محصولات مثبت) و ضایعات فرآیندی (محصولات منفی) که طی فرآیند تولید ایجاد می‌شوند، تمرکز دارد (۵۰). این کمی‌سازی امکان ردیابی جریان مواد ورودی به خاک، آب یا هوا را فراهم می‌آورد و از این طریق به ارزیابی اثرات محیط‌زیستی کمک می‌کند (۲۱). محدودیت‌های روش‌های سنتی حسابداری هزینه در مواجهه با چالش‌ها و فرصت‌های نوین، به ویژه در عرصه حسابداری هزینه‌های محیط‌زیستی، لزوم بازنگری و اصلاح این روش‌ها را آشکار ساخته است. رویکردهای سنتی به دلیل کاستی‌های خود در دقت و کارایی، پاسخگوی نیازهای پیچیده این حوزه نیستند. در مقابل، MFCA با اتخاذ دیدگاه و روش‌های منحصربه‌فرد، قادر است نقاط بحرانی فرآیند تولید، یعنی مراحلی که بیشترین اتلاف منابع در آن‌ها رخ می‌دهد، را با دقت شناسایی کند. این امر از هدررفت مواد جلوگیری کرده و علاوه بر مزایای اقتصادی، منافع محیط‌زیستی را نیز به همراه دارد و

1- Material flow cost accounting

2- Könert

بدین ترتیب، الگوی برد-برد را برای تولیدکنندگان و محیط زیست رقم می‌زند (۴۹).

مطالعات نشان داده‌اند که MFCA در مقایسه با روش‌های سنتی حسابداری، دقت بالاتری در شناسایی و محاسبه هزینه‌های مرتبط با ضایعات دارد (۱۵). علاوه بر این، استفاده از MFCA می‌تواند منجر به افزایش بهره‌وری در مصرف مواد اولیه و کاهش میزان ورودی‌های مورد نیاز برای تولید مقدار معینی از محصول نهایی شود (۲۸).

تولید محصولات زراعی و باغی به عنوان یکی از مصرف‌کنندگان عمده انرژی و مواد، به شدت به ماشین‌های کشاورزی، سیستم‌های آبیاری، عوامل شیمیایی کشاورزی، حمل‌ونقل و سوخت‌های فسیلی وابسته است. کاهش مصرف انرژی در تولیدات کشاورزی برای دستیابی به بهره‌وری پایدار و کارایی اقتصادی امری حیاتی است (۳۶، ۳۹). کشت زیتون در ایران با تاریخچه‌ای غنی، به عنوان یک فعالیت کشاورزی کلیدی، نه تنها از جنبه‌های اقتصادی، بلکه از نظر محیط‌زیستی نیز اهمیت زیادی دارد. درخت زیتون به دلیل تحمل بالای خود در برابر شرایط سخت آب و هوایی و نیاز کم به آب، به طور مؤثری با اقلیم متنوع ایران سازگار شده و در مناطق مختلف کشور کشت می‌شود. این فعالیت کشاورزی با تولید کنسرو و روغن زیتون با کیفیت بالا، نقش قابل توجهی در تأمین نیازهای داخلی و صادرات ایفا می‌کند. علاوه بر این، کشت زیتون با ایجاد فرصت‌های شغلی متعدد و رونق صنایع وابسته، به ویژه در مناطق روستایی، به توسعه اقتصادی این مناطق کمک می‌کند (۵۱، ۵۲).

بر اساس آخرین آمار ارایه شده توسط فائو، در سال ۲۰۲۲، سطح زیر کشت زیتون در ایران ۲۴۳۹۷ هکتار بوده و میزان تولید آن به ۱۱۴۵۹۹٫۸۷ تن رسیده است. استان زنجان مهم‌ترین منطقه تولید زیتون در ایران محسوب می‌شود و بیش از ۴۰ درصد از کل تولید زیتون کشور را به خود اختصاص داده است. در این میان، شهرستان طارم با تولید ۱۰۳۶۱۶٫۵۵ تن زیتون، بیش از ۹۰ درصد از تولید استان زنجان را شامل می‌شود (۱۶، ۳۱).

مطالعات متعددی به تحلیل انرژی و اقتصادی تولید زیتون با روش حسابداری مرسوم پرداخته‌اند. در ایران، همتی و همکاران (۲۳) و رحمانی و همکاران (۳۹) به بررسی این موضوعات پرداخته‌اند. همچنین، محققان بین‌المللی نیز در این زمینه تحقیقاتی انجام داده‌اند که از جمله آن‌ها می‌توان به اوزپینار[1] (۳۷) و آرتوکوغلو و همکاران[2] (۳) در ترکیه، کالتساس و همکاران[3] (۲۷) در ایتالیا، تاکسیدیس و همکاران[4] (۴۶) در یونان، و گوسمان و آلنسو[5] (۲۲) در اسپانیا اشاره کرد. این مطالعات با استفاده از روش تحلیل ورودی-خروجی، به بررسی ارتباط بین نهاده‌های مصرفی (به عنوان ورودی) و محصول تولیدی (به عنوان خروجی) در تولید زیتون پرداخته‌اند. نتایج این تحقیقات، داده‌های تجربی ارزشمندی را در مورد ورودی‌های انرژی، خروجی‌ها و شاخص‌های کلیدی اقتصادی مرتبط با کشت زیتون در مناطق جغرافیایی مختلف ارائه می‌دهد.

حسابداری هزینه جریان مواد به عنوان یک ابزار قدرتمند برای بهبود کارایی و کاهش اثرات محیط‌زیستی در صنایع مختلف شناخته شده است (۳۵). با این وجود، پتانسیل این روش در بخش کشاورزی، به ویژه در مورد محصول زیتون، هنوز به طور کامل مورد بررسی قرار نگرفته و به عنوان یک رویکرد نوآورانه در این حوزه مطرح است (۴). بررسی متون علمی نشان می‌دهد که تاکنون مطالعه‌ای با استفاده از روش MFCA برای تحلیل انرژی و اقتصادی زیتون انجام نشده است. این در حالی است که مطالعات متعددی در سال‌های اخیر به کاربرد این روش در تحلیل سایر محصولات کشاورزی پرداخته‌اند. برای نمونه، می‌توان به مطالعات انجام شده بر روی

1- Ozpinar
2- Artukoglu *et al.*
3- Kaltsas *et al.*
4- Taxidis *et al.*
5- Guzmán and Alonso

سیب‌زمینی (۶)، کلزا (۵)، انگور (۷)، ذرت (۱)، گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای (۱۰)، سویا (۸)، بذر گشنیز (۹)، تولید چیپس سیب‌زمینی (۲) و تولید گوشت (۴) اشاره کرد. نتایج این مطالعات بیان کننده این موضوع است که در روش مرسوم که ارزیابی کارایی انرژی بر اساس نسبت انرژی خروجی به انرژی ورودی محاسبه می‌شود؛ به‌دلیل عدم توجه به ضایعات، انتشارات و محصولات جانبی نامطلوب، ممکن است تصویری غیرواقع‌بینانه از کارایی سیستم ارائه گردد. در مقابل، روش حسابداری انرژی مبتنی بر MFCA رویکردی جامع‌تر را اتخاذ می‌کند. در این روش، کلیه جریان‌های انرژی، از جمله ضایعات و محصولات جانبی منفی، در محاسبات لحاظ می‌شوند. این رویکرد امکان ارزیابی دقیق‌تر و واقع‌بینانه‌تر عملکرد سیستم‌های تولیدی را فراهم کرده و درک عمیق‌تری از بهره‌وری انرژی در فرآیند تولید ارائه می‌دهد.

این مطالعه با هدف به‌کارگیری رویکردی نوین در تجزیه‌وتحلیل اقتصادی و بررسی الگوی مصرف انرژی در باغات زیتون شهرستان طارم انجام شده است. هدف اصلی پژوهش، ارتقای فرآیند برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری برای بهینه‌سازی تولید محصولات کشاورزی در این منطقه است. به طور مشخص، این تحقیق به شناسایی جریان مواد و هزینه‌های مرتبط با تولید زیتون می‌پردازد تا فرصت‌های کاهش هدررفت منابع، بهبود بهره‌وری و کاهش اثرات محیط‌زیستی را کشف کند. یافته‌های این پژوهش می‌توانند راهکارهای عملی برای بهینه‌سازی مصرف انرژی و دستیابی به اهداف توسعه پایدار در صنعت زیتون ارائه دهند.

مواد و روش‌ها

MFCA بر اساس مفهوم «مرکز مقدارسنجی» کار می‌کند. هر مرکز مقدارسنجی[1] (QC) به عنوان واحدهای کوچکتر سیستم تولید در نظر گرفته می‌شوند که جریان مواد و موجودی آن‌ها را بر اساس اصل توازن جرمی ردیابی می‌کنند (۴۸). در هر QC، ورودی‌ها و ضایعات به‌صورت فیزیکی و مالی اندازه‌گیری می‌شوند. در ابتدا، مقدار ورودی و ضایعات تولیدشده به واحدهای فیزیکی محاسبه می‌شود و سپس هزینه‌های مالی مربوطه به هر QC تخصیص داده می‌شود (۴۲). توازن جرمی بیان می‌کند که مجموع وزن محصولات خروجی (اعم از محصولات نهایی و ضایعات) همواره باید با مجموع وزن مواد ورودی برابر باشد. تمرکز اصلی MFCA بر شناسایی و کاهش ضایعات در فرآیند تولید است. این ضایعات شامل اتلاف انرژی، ضایعات مواد و استفاده ناکارآمد از پتانسیل نیروی انسانی می‌شود. بنابراین رابطه اساسی زیر برای تحلیل‌های MFCA ارایه می‌شود (۸، ۴۲):

$$\sum M_{pi.wi(in)} = \sum_{i=1}^{p} M_{pi(in)} + \sum_{i=1}^{w} M_{wi(in)} \qquad (۱)$$

که در این رابطه $M_{pi.wi(in)}$ مجموع انرژی/مواد ورودی، $M_{pi(in)}$ مقدار محصول مثبت و $M_{wi(in)}$ مقدار انتشار و اتلاف انرژی است.

برای اجرای مراحل FMCA از استاندارد ISO 14051 استفاده شد. شکل ۱ مراحل اجرای این روش را طبق استاندارد مذکور به تصویر می‌کشد (۲۵):

هدف این پژوهش افزایش شفافیت در جریان مواد، تحلیل الگوهای مصرف انرژی، و کاهش اثرات محیط‌زیستی و هزینه‌های تولید زیتون بود. محدوده سیستم، همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، از درگاه ورودی باغ تا درگاه خروجی باغ تعریف شد.

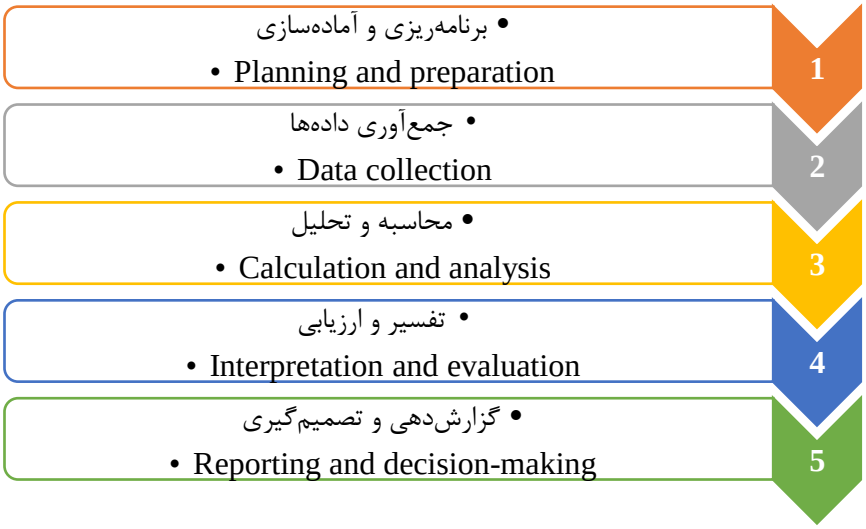
مطالعه میدانی در سال ۱۴۰۱ در باغات زیتون شهرستان طارم انجام شد تا عوامل مؤثر بر تولید زیتون بررسی شود. داده‌های مورد نیاز از طریق پرسشنامه‌هایی که اطلاعات جامعی درباره فعالیت‌های زراعی نظیر شخم، هرس، آبیاری، کوددهی، سمپاشی، استفاده از نیروی کار، و مصرف سوخت و برق ارائه می‌کرد، جمع‌آوری شد. همچنین اطلاعات مربوط به مساحت اراضی زیر کشت و

1- Quantity center

عملکرد محصول در واحد سطح نیز ثبت گردید. برای تضمین اعتبار و دقت نتایج، حجم نمونه آماری با استفاده از فرمول کوکران (رابطه ۲) محاسبه شد (۳۴). در نتیجه، تعداد ۵۰ باغ به دقت انتخاب و مطالعه شدند تا داده‌های لازم برای تحلیل انرژی و اقتصادی فرآیند تولید زیتون جمع‌آوری شود.

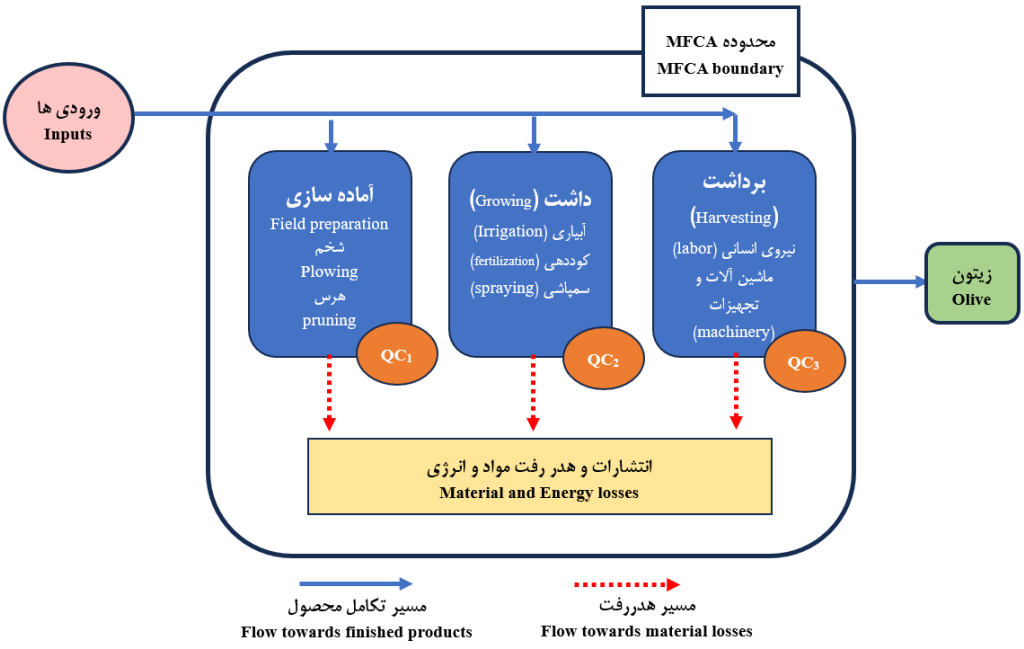
$$n = \frac{N \times s^2 \times t^2}{(N-1)d^2 + (s \times t)^2} \quad (۲)$$

که در این رابطه، n و N به ترتیب نشان‌دهنده‌ی اندازه نمونه و اندازه جامعه هستند. انحراف معیار با s نشان داده شده است، در حالی که t مقدار بحرانی مربوط به سطح اطمینان ۹۵ درصد (۱/۹۶) را نمایش می‌دهد. در نهایت، d نشان‌دهنده‌ی خطای مجاز است که برابر با ۵ درصد در نظر گرفته شده است.



شکل (۱) مراحل پنج‌گانه اجرای MFCA طبق استاندارد ISO 14051:2011

Figure (1) The five stages of implementing MFCA according to ISO 14051:2011 standard



شکل (۲) مدل جریان مواد برای تولید زیتون در محدوده MFCA

Figure (2) Material flow model for olive production within the MFCA boundary

بر اساس استاندارد ISO 14051، روش MFCA چهار نوع ورودی هزینه شامل هزینه سیستم، هزینه مواد، هزینه مدیریت پسماند و هزینه انرژی را برای هر QC در نظر می‌گیرد. در این مطالعه، فرآیندهایی از جمله آماده‌سازی، داشت و برداشت به‌عنوان QC در چارچوب روشMFCA تعریف شدند (شکل ۲). ورودی‌های هزینه/انرژی در فرآیند تولید به دو نوع خروجی تقسیم می‌شوند: هزینه/انرژی محصول مثبت و هزینه/انرژی محصول منفی. هزینه محصول مثبت به مواد و انرژی‌ای اطلاق می‌شود که به تولید محصول نهایی و قابل استفاده اختصاص می‌یابد، در حالی که هزینه محصول منفی به اتلاف مواد یا انرژی مربوط است که در طول فرآیند تولید به هدر می‌رود یا به شکل پسماند ظاهر می‌شود. این تفکیک هزینه‌ها، امکان شفاف‌سازی جریان‌های مواد و شناسایی فرصت‌های بهبود در بهره‌وری منابع را فراهم می‌کند (۱، ۲۵).

در روش MFCA، مرکز مقدارسنجی به‌عنوان پایه و اساس جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها در نظر گرفته می‌شود. برای هر QC، داده‌های میدانی گردآوری‌شده مورد استفاده قرار گرفت و براساس روش‌های ارائه‌شده، مصرف انرژی و جریان مواد به‌دقت اندازه‌گیری شد. سپس، هزینه‌های مرتبط با انرژی و مواد برای هر واحد کمی محاسبه گردید. شکل ۲ نحوه انجام این فرآیند و ساختار مرتبط با تحلیل جریان‌های انرژی و مواد را به‌وضوح نمایش می‌دهد.

برای هر QC، ورودی‌ها و خروجی‌ها به‌دقت شناسایی شدند. ورودی‌های مورد بررسی شامل نهاده‌های کشاورزی و انرژی، و خروجی‌ها شامل میوه زیتون، آلاینده‌های منتشرشده و پسماندهای تولیدی بودند. پس از تعیین ورودی‌ها و خروجی‌ها برای هر QC، داده‌ها گردآوری و برای کل سیستم مورد مطالعه ارزیابی شدند.

مقدار ورودی و خروجی هر QC بر اساس واحدهای فیزیکی مشخص اندازه‌گیری شد. سپس تمامی واحدهای فیزیکی مربوط به ورودی‌ها و خروجی‌ها به یک واحد هزینه‌ای استاندارد (مگاژول بر هکتار در تحلیل انرژی و دلار بر هکتار در تحلیل اقتصادی) تبدیل شدند تا امکان محاسبه تعادل هزینه‌ای برای هر QC فراهم شود. در این تعادل هزینه‌ای، ارزش کل خروجی‌ها، با در نظر گرفتن تغییرات انرژی درون QC، باید با مجموع ورودی‌های مصرف‌شده برابر باشد (۸).

در این مطالعه، برای هر QC، هزینه مواد به عنوان ورودی و خروجی بر حسب مگاژول (MJ) مصرف انرژی تعیین شد. برای هم‌ارزهای انرژی ورودی‌ها و خروجی‌ها، از جدول ۱ استفاده شد.

در محاسبات MFCA، مقدار کل ورودی، بازده تولید و میزان ضایعات مشخص گردید. برای محاسبات از روابط (۳) تا (۶) استفاده شده (۱):

$$IE\ (MJ\ ha^{-1}) = I\ (unit\ ha^{-1}) \times EE(MJ\ unit^{-1}) \quad (۳)$$

$$ME\ (MJ\ ha^{-1}) = \big(MW\ (kg) + IW\ (kg)\big) \times M_{EE}(MJ\ kg^{-1}) \times t(h\ ha^{-1})/T_t(h) \quad (۴)$$

$$OE\ (MJ\ ha^{-1}) = Y\ (unit\ ha^{-1}) \times EE(MJ\ unit^{-1}) \quad (۵)$$

$$E_mE\ (MJ) = EF\ (MJ\ kg^{-1}) \times M(kg) \quad (۶)$$

که، IE انرژی ورودی، OE انرژی خروجی، EE هم‌ارز انرژی، ME انرژی ماشین‌ها، MW وزن ماشین، IW وزن تجهیزات، M_{EE} هم‌ارز انرژی ماشین، t زمان استفاده از ماشین، T_t طول عمر مفید ماشین، Y عملکرد محصول، E_mE انرژی انتشارات، EF هم‌ارز انرژی انتشارات و M جرم انتشارات می باشند.

جدول (۱) هم‌ارز انرژی برای ورودی‌ها و خروجی‌های منفی و مثبت

Table (1) Energy equivalent for positive and negative inputs and outputs

منبع Reference	انرژی هر واحد (مگاژول بر واحد) Energy equivalent (MJ unit^{-1})	واحد Unit	جریان ورودی/خروجی Input/output flow
			ورودی Input
(۳۸)	56.31	l	سوخت Fuel
(۳۸)	1.96	h	نیروی انسانی Labor
(۳۸)	62.7	h	ماشین‌ها Machinery
(۱۳، ۲۳، ۴۰)	78.10	kg	کود اوره Urea
(۱۳، ۲۳، ۴۰)	17.40	kg	کود دی‌آمونیوم فسفات Diammonium phosphate
(۱۳، ۲۳، ۴۰)	13.70	kg	کود پتاسیم سولفات Potassium sulfate
(۲۷)	85	l	علف‌کش Herbicide
(۲۷)	115	l	آفت‌کش Pesticide
(۲۷)	295	l	قارچ‌کش Fungicide
(۲۷)	0.3	kg	کود دامی Manure
(۲۰)	12	kWh	الکتریسیته Electricity
(۲۰)	60	kg	نایلون Nylon
			خروجی منفی Negative output
(۱)	2.70	kg	آمونیاک Ammonia (NH_3)
(۱)	12.44	kg	نیترات Nitrate (NO_3^-)
(۱)	3.32	kg	فسفر Phosphorus (P)
(۱)	1.88	kg	نیتروس اکسید Nitrous oxide (N_2O)
(۲۷)	85	kg	علف‌کش Herbicide
(۲۷)	115	kg	آفت‌کش Pesticide
(۲۷)	295	kg	قارچ‌کش Fungicide
(۲۰)	11.80	kg	هدررفت زیتون Olive waste
			خروجی مثبت Positive output
(۲۰)	11.80	kg	میوه زیتون Olive fruit

ضرایب مورد نیاز برای محاسبه معادل‌های انرژی خروجی‌های منفی با استفاده از روش آنتروپی استاندارد تشکیل[1] مطابق با جدول ۲ به دست آمدند. آنتروپی استاندارد تشکیل معیاری ترمودینامیکی است که نشان‌دهنده‌ی میزان بی‌نظمی یا آنتروپی یک ماده در شرایط استاندارد (دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و فشار یک اتمسفر) هنگام تشکیل از عناصر سازنده‌اش در حالت پایدار است (۷).

برای به‌دست آوردن میزان انتشارات از روش‌های ارایه شده در IPCC و سایر مقالات استفاده شد (۱، ۷). جدول ۳ ضرایب و فاکتورهای استفاده‌شده را نشان می‌دهد:

1- Standard Entropy of Formation

جدول (۲) آنتروپی استاندارد تشکیل انتشار کودهای شیمیایی
Table (2) Standard entropy of formation for emissions from chemical fertilizers

انتشارات Emissions	جرم مولی Molar mass (g/mol)	هم ارز انرژی Energy equivalent (kJ/mol)	هم ارز انرژی Energy equivalent (MJ/kg)
N_2O	44	82.50	1.88
NH_3	17.03	46	2.70
NO_3	62	206	3.32

جدول (۳) فاکتورها و ثابت‌های انتشار کودهای شیمیایی*
Table (3) Emission factors and constants for chemical fertilizers

مقدار Value	فاکتورها و ثابت‌های انتشار Factors and constants
0.01325	$\frac{kg\ N_2O-N}{kg\ N_{fer}}$
0.17	$\frac{kg\ NH_3-N}{kg\ N_{fer}}$
0.3	$\frac{kg\ NO_3^--N}{kg\ N_{fer}}$
$\frac{44}{28}$	N_2O-N به N_2O
	$N_2O-N\ to\ N_2O$
$\frac{17}{14}$	NH_3-N به NH_3
	NH_3-N to NH_3
$\frac{62}{14}$	NO_3^--N به NO_3^-
	NO_3^--N to NO_3^-

× در این فاکتورها N_{fer} نی‌تروژن موجود در کودهای شی‌می‌ایی می‌باشد.

شاخص‌های مختلف انرژی، از جمله نسبت انرژی، بهره‌وری انرژی، شدت انرژی و انرژی خالص با استفاده از معادلات ارائه‌شده در روابط (۷) تا (۱۰) محاسبه شدند (۱۴):

$$ER = {OE\ (MJ\ ha^{-1})}/{IE\ (MJ\ ha^{-1})} \quad (۷)$$

$$EP = {Y\ (kg\ ha^{-1})}/{IE\ (MJ\ ha^{-1})} \quad (۸)$$

$$ES = {IE\ (MJ\ ha^{-1})}/{Y\ (kg\ ha^{-1})} \quad (۹)$$

$$NE = OE\ (MJ\ ha^{-1}) - IE\ (MJ\ ha^{-1}) \quad (۱۰)$$

که در این روابط، ER نسبت انرژی، EP بهره‌وری انرژی، ES شدت انرژی، NE انرژی خالص، Y عملکرد محصول، IE انرژی ورودی، و OE انرژی خروجی می‌باشند.

در این ارزیابی، جریان‌های مواد شامل تلفات و خروجی‌های محصول در فرآیند تولید به‌دقت محاسبه شدند. قیمت ورودی‌ها و خروجی‌ها با توجه به میانگین قیمت‌های بازار در سال مورد مطالعه (سال ۱۴۰۱) تعیین گردید. به منظور امکان مقایسه بهتر و ایجاد مبنای واحد برای تحلیل هزینه‌ها و درآمدهای مرتبط با تولید زیتون، مقادیر پولی در این مطالعه بر حسب دلار بیان شده است. این انتخاب به ویژه در پژوهش‌های اقتصادی مرسوم است، زیرا استفاده از واحدهای پولی محلی ممکن است به دلیل نوسانات تورمی و تغییرات نرخ ارز منجر به تحلیل‌های نادرست شود. با این حال، برای اطمینان از صحت این روش، روند تغییرات قیمت، درآمد و هزینه‌های زیتون در دوره مورد بررسی با نرخ ارز مقایسه شده است. نتایج این

تحلیل نشان می‌دهد که تغییرات این متغیرها تا حد زیادی همسو با نوسانات نرخ دلار بوده است. هزینه‌های مرتبط با انتشارهای منفی بر اساس ارزش بازار آن‌ها محاسبه شد. برای تحلیل اقتصادی، شاخص‌هایی نظیر ارزش ناخالص تولید، سود ناخالص[1]، نسبت سود به هزینه، و شاخص عملکرد هزینه[2] مورد بررسی قرار گرفتند و با استفاده از روابط و فرمول‌های مربوطه محاسبه شدند. این تحلیل‌ها به شناسایی نقاط بهبود و کاهش هزینه‌ها در فرآیند تولید کمک می‌کند (۴۷):

$$GV = Y \times P \quad (۱۱)$$

$$GP = GV - C_V \quad (۱۲)$$

$$BCR = {}^{GV}/_{C} \quad (۱۳)$$

$$CPI = {}^{Y}/_{C} \quad (۱۴)$$

که در این روابط، GV ارزش ناخالص تولید (دلار بر هکتار)، Y عملکرد محصول (کیلوگرم بر هکتار)، P قیمت محصول (دلار بر کیلوگرم)، GP سود ناخالص (دلار بر هکتار)، C_V هزینه متغیر تولید (دلار بر هکتار)، BCR نسبت سود به هزینه، C کل هزینه‌های تولید و CPI شاخص عملکرد هزینه (کیلوگرم بر دلار) می‌باشند.

نتایج و بحث

نتایج نشان می‌دهد که مجموع انرژی ورودی برای تولید زیتون در طول سال زراعی برابر با ۷۷۴۱۷/۵۱ مگاژول بر هکتار است (جدول ۴). از این مقدار، برق با سهم ۵۹ درصد، کود اوره با ۱۵ درصد و سوخت‌های فسیلی با ۱۴ درصد، بیشترین سهم را در مصرف انرژی دارند. سهم سایر نهاده‌ها در این میان ناچیز است (شکل ۳). تحقیقات پیشین نشان داده‌اند که مصرف کل انرژی برای تولید زیتون در مناطق مختلف جهان، تنوع قابل‌توجهی دارد. در یونان، مطالعات مقادیری بین ۶۹۴۳۱ تا ۱۱۸۱۲۵ مگاژول در هکتار را گزارش کرده‌اند (۲۷). در ترکیه، تخمین‌ها حاکی از آن است که مصرف انرژی برای کشت زیتون در بازه‌ای بین ۷۳۸۰ تا ۳۱۰۹۸ مگاژول در هکتار قرار دارد (۳۷). در ایران، همتی و همکاران (۲۳)، با توجه به شرایط توپوگرافی باغ‌ها، به طور میانگین مصرف انرژی را در بازه ۱۵۹۰۰ تا ۲۳۳۰۰ مگاژول در هکتار گزارش کرده‌اند. در اسپانیا نیز، گوزمان و آلونسو[3] (۲۲) مقادیری بین ۴۹۲۰ تا ۱۳۰۹۳۰ مگاژول در هکتار را بسته به شرایط باغ و سیستم‌های تولیدی اعلام کرده‌اند. این تفاوت‌ها عمدتاً به تفاوت در روش‌های کشاورزی، به‌ویژه سیستم‌های آبیاری، و همچنین شرایط اقلیمی منطقه‌ای نسبت داده می‌شود.

همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، بیش از نیمی از انرژی ورودی در تولید زیتون در منطقه طارم به برق اختصاص دارد. پس از برق، کودهای شیمیایی در رتبه دوم مصرف انرژی قرار می‌گیرند. مطالعه‌ای که توسط کالتساس و همکاران[4] (۲۷) انجام شد، نشان داد که برق، کودهای شیمیایی و آب آبیاری از مهم‌ترین ورودی‌های انرژی در باغ‌های زیتون یونان هستند. به‌طور مشابه، همتی و همکاران (۲۳) در پژوهشی که روی تولید زیتون در باغ‌های واقع در زمین‌های مسطح و شیب‌دار ایران انجام دادند، گزارش کردند که بیشترین مصرف انرژی مربوط به کودهای شیمیایی است و پس از آن برق در رتبه دوم قرار دارد.

مصرف الکتریسیته در باغات زیتون عمدتاً به عملیات آبیاری (استخراج آب از چاه‌ها و توزیع آن از طریق شبکه‌های آبیاری) مربوط می‌شود. با توجه به شرایط کنونی ایران و مواجهه با ناترازی انرژی در بخش برق، پرداختن به این موضوع و تلاش برای افزایش بهره‌وری مصرف انرژی الکتریکی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بازده انرژی مصرفی در چاه‌های کشاورزی تحت تأثیر عواملی همچون کارایی پایین پمپ‌ها، انتخاب نادرست ظرفیت پمپ، استهلاک تجهیزات، و نصب غیراصولی ایستگاه‌های پمپاژ قرار می‌گیرد (۴۱). در فرآیند تولید زیتون، سیستم آبیاری قطره‌ای به‌عنوان روش اصلی آبیاری به کار گرفته می‌شود که

1- Gross Profit
2- Cost Performance Index (CPI)
3- Guzmán and Alonso
4- Kaltsas *et al.*

به دلیل کارایی بالا در مصرف آب، کاهش تلفات، و بهینه‌سازی مصرف انرژی نقش مهمی در افزایش بهره‌وری دارد. با این حال، بهینه‌سازی آرایش کاشت و تنظیم فاصله مناسب قطره‌چکان‌ها می‌تواند بازده انرژی را بهبود بخشیده و مصرف منابع را به میزان قابل‌توجهی کاهش دهد (۱۹).

بهره‌گیری از منابع انرژی تجدیدپذیر برای عملیات پمپاژ می‌تواند به شکل قابل‌توجهی مصرف برق را کاهش دهد. علاوه بر این، استفاده از پمپ‌های با بازدهی بالا نیز به‌عنوان یک راهکار مؤثر مطرح است (۴۳).

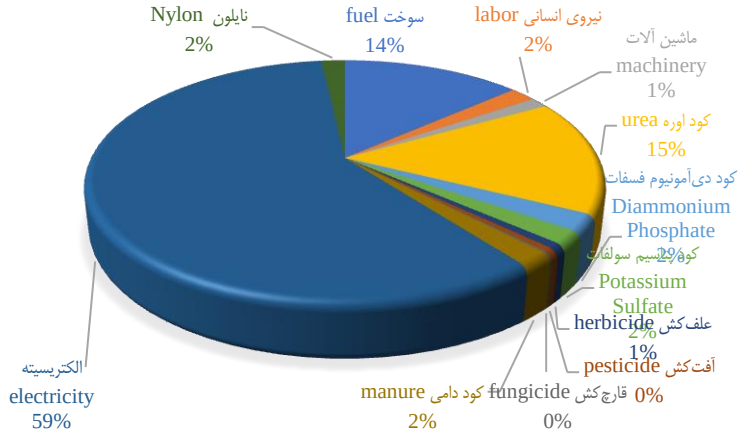
جدول (٤) ورودی‌ها، خروجی‌های مثبت و خروجی‌های منفی انرژی در تولید زیتون

Table (4) Inputs, positive outputs, and negative outputs of energy in olive production

جریان ورودی/خروجی Input / output flow	واحد Unit	مقدار مصرف/تولید (واحد بر هکتار) Value (unit ha^{-1})	معادل انرژی (مگاژول بر هکتار) Energy (MJ ha^{-1})
ورودی‌ها Inputs			
سوخت Fuel	l	186	10473.66
نیروی انسانی Labor	h	779.30	1527.43
ماشین آلات Machinery	h	16.73	1048.97
کود اوره Urea	kg	153.66	12000.85
کود دی‌آمونیوم فسفات Diammonium phosphate	kg	100.48	1748.35
کود پتاسیم سولفات Potassium sulfate	kg	101.33	1388.22
علف‌کش Herbicide	l	6.35	539.75
آفت‌کش Pesticide	l	3.06	351.90
قارچ‌کش Fungicide	l	0.49	144.55
کود دامی Manure	kg	4756.9	1427.07
الکتریسیته Electricity	kWh	3782.23	45386.76
نایلون Nylon	kg	23	1380.00
جمع ورودی Total input			77417.51
خروجی‌های منفی Negative outputs			
آمونیاک Ammonia (NH_3)	kg	18.325	49.48
نیترات Nitrate (NO_3^-)	kg	117.937	1467.14
فسفر Phosphorus (P)	kg	1.01	3.35
نیتروس اکسید Nitrous oxide (N_2O)	kg	1.848	3.47
علف‌کش Herbicide	kg	2.60	221
آفت‌کش Pesticide	kg	1.84	211.6
قارچ‌کش Fungicide	kg	0.24	70.8
هدر رفت زیتون Olive waste	kg	409	4826.2
جمع خروجی‌های منفی Total negative output			6853.04
خروجی مثبت Positive output			
میوه زیتون Olive fruit	kg	3408.6	40221.48
جمع خروجی مثبت Total positive output			40221.48

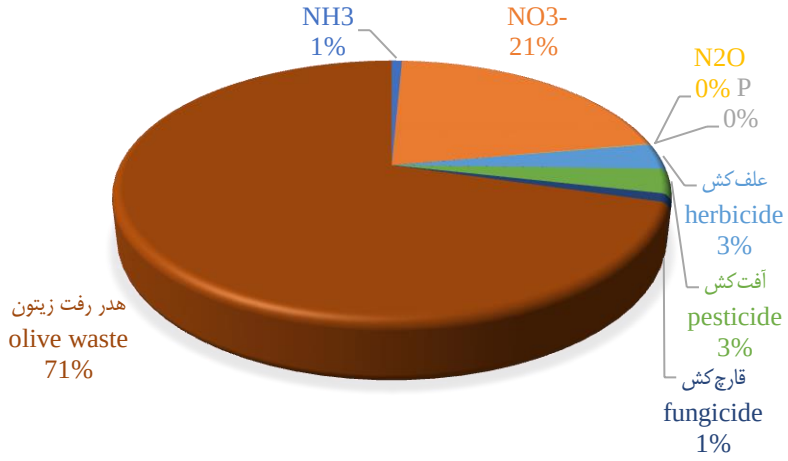
در جدول ۴ انرژی خروجی فرایند تولید زیتون در دو گروه مثبت و منفی تفکیک شده است. میزان انرژی خروجی مثبت و منفی به‌ترتیب ۴۰۲۲۱/۴۸ و ۶۸۵۳/۰۴ مگاژول بر هکتار محاسبه شده است. در بین انرژی‌های خروجی منفی، هدر رفت محصول با ۴۸۲۶/۲ مگاژول بر هکتار، معادل با ۷۱ درصد، بیشترین سهم را به خود اختصاص داده است در رتبه بعدی، آبشویی نیترات که به مصرف کودهای شیمیایی در باغات مرتبط است و در دسته انتشارات به‌آب قرار می‌گیرد، با ۱۴۶۷/۱۴ مگاژول بر هکتار، معادل ۲۱ درصد، جای می‌گیرد. سهم انتشارات ناشی از مصرف سموم شیمیایی که عموماً به خاک اضافه می‌شوند (۲۴)، انتشارات آمونیاک که در هوا منتشر می‌شوند و انتشارات فسفر که به آب راه می‌یابند، ناچیز است (شکل ۴).

مطالعه‌ای که روی انگور انجام شده است، هدررفت محصول را به‌عنوان اصلی‌ترین خروجی منفی معرفی کرده است. پس از آن، آب آبیاری و نیترات در رتبه‌های بعدی قرار گرفته‌اند که این نتایج با مطالعه حاضر کاملاً تطابق دارد (۷). نتایج مشابهی نیز در مطالعات مربوط به محصول سیب‌زمینی (۶) و سویا (۸) گزارش شده است.



شکل (۳) سهم نهاده‌های ورودی در مصرف کل انرژی برای تولید زیتون (برحسب درصد)

Figure (3) The share of input contributions in total energy consumption for olive production (in percentage)



شکل (٤) سهم خروجی‌های منفی در سیستم تولید زیتون

Figure (4) The share of negative outputs in the olive production system

شاخص‌های انرژی مرتبط با تولید زیتون با استفاده از دو روش حسابداری مرسوم و MFCA در جدول ۵ ارائه شده‌اند. در روش مرسوم، ارزیابی کارایی انرژی بر اساس نسبت انرژی خروجی به انرژی ورودی محاسبه می‌شود. جدول ۵ نشان می‌دهد که نسبت انرژی در روش مرسوم ۰/۵۲ به‌دست آمده است، در حالی که در روش MFCA این مقدار ۰/۴۳ به‌دست آمده که تقریباً ۱۷ درصد کمتر از روش مرسوم است. در روش MFCA، در نظر گرفتن انرژی مرتبط با محصولات جانبی منفی و ضایعات منجر به محاسبه نسبت انرژی کمتری نسبت به روش مرسوم می‌شود. مشابه به این نتیجه، در تولید سویا نیز کاهش ۲۵ درصدی در نسبت انرژی در روش MFCA نسبت به روش مرسوم گزارش شده است (۸).

بررسی منابع مختلف نشان‌دهنده تنوع گسترده‌ای در نسبت‌های انرژی مرتبط با تولید زیتون به‌ویژه در محاسبات مرسوم در مناطق مختلف است. به‌عنوان مثال، گوزمان و آلونسو[1] (۲۲) نسبت‌های انرژی بین ۰/۵ تا ۳/۸ را برای تولید زیتون در اسپانیا گزارش کردند که این تفاوت تحت تأثیر عواملی همچون نوع سیستم آبیاری و موقعیت جغرافیایی قرار داشت. در ایران، همتی و همکاران (۲۳) نسبت انرژی ۱/۶ را برای باغ‌های مسطح و ۱/۴۷ را برای باغ‌های شیب‌دار ثبت کردند. همچنین، رحمانی و همکاران (۳۹) نسبت انرژی ۱/۶۳ را برای روش‌های سنتی و ۳/۱۱ را برای رویکردهای نیمه‌مکانیزه گزارش دادند. در ترکیه، ازپینار[2] (۳۷) نسبت‌های انرژی در سیستم‌های مختلف تولید را بررسی کرده و مقادیر ۱/۴۲ برای تولید سنتی در مناطق شیب‌دار، ۱/۳۸ برای تولید سنتی در زمین‌های مسطح، و ۱/۴۶ برای تولید فشرده در زمین‌های مسطح را گزارش کرده است. علاوه بر این، کالتساس و همکاران[3] (۲۷) نسبت انرژی خروجی ۳/۰۲ را برای تولید زیتون در یونان ثبت کرده‌اند. این داده‌ها به‌خوبی نشان می‌دهند که نسبت انرژی در تولید زیتون به‌شدت به شرایط محلی و نوع مدیریت کشاورزی وابسته است.

مطابق جدول ۵، بهره‌وری انرژی در هر دو روش محاسبه، ۰/۰۴ مگاژول بر کیلوگرم به‌دست آمده است. این عدد نشان می‌دهد که به ازای هر مگاژول انرژی مصرف‌شده در فرایند تولید زیتون، تنها ۰/۰۴ کیلوگرم محصول اصلی، یعنی میوه زیتون تولید می‌شود. شدت انرژی که با بهره‌وری انرژی نسبت معکوس دارد، در هر دو سیستم ۲۲/۷۱ مگاژول بر کیلوگرم محاسبه شده است. به عبارت دیگر، برای تولید هر کیلوگرم محصول زیتون، ۲۲/۷۱ مگاژول انرژی در طول یک سال زراعی مورد نیاز است.

انرژی خالص یکی دیگر از شاخص‌های انرژی است که مورد بررسی قرار گرفته است. انرژی خالص در روش حسابداری مرسوم برابر با ۳۷۱۹۶/۰۳- و در روش هزینه‌یابی جریان مواد برابر با ۴۴۰۴۹/۱۰- مگاژول بر هکتار به‌دست آمده است (جدول ۵). مقادیر منفی انرژی خالص برای هر دو روش نشان می‌دهد که انرژی در فرآیندهای تولید زیتون حفظ نمی‌شود و در واقع، انرژی از دست می‌رود. مقادیر منفی انرژی خالص در تولید برخی از محصولات دیگر نیز مشاهده شده است. به‌عنوان مثال، برای سیب (۳۳)، گندم (۲۹)، پرتقال (۳۲)، و پیاز (۱۴) نیز مقادیر منفی انرژی خالص گزارش شده است.

1- Guzmán and Alonso
2- Ozpinar
3- Kaltsas *et al.*

جدول (۵) شاخص‌های انرژی در تولید زیتون

Table (5) Energy indices in olive production

هزینه‌یابی جریان مواد Material flow cost accounting	حسابداری مرسوم Conventional accounting	واحد Unit	شاخص انرژی Energy indices
77417.51	77417.51	MJ ha^{-1}	انرژی ورودی Input energy
33368.44	40221.48	MJ ha^{-1}	انرژی خروجی Output energy
40221.48	40221.48	MJ ha^{-1}	انرژی خروجی مثبت Positive output energy
6853.04	0	MJ ha^{-1}	انرژی خروجی منفی Negative output energy
0.43	0.52	-	نسبت انرژی Energy ratio
0.04	0.04	kg MJ^{-1}	بهره‌وری انرژی Energy productivity
22.71	22.71	MJ kg^{-1}	شدت انرژی Specific energy
-44049.10	-37196.03	MJ ha^{-1}	انرژی خالص Net energy

در جدول ۶، هزینه‌های مرتبط با ورودی‌ها، خروجی‌های منفی و خروجی‌های مثبت که همان عملکرد محصول است، گزارش شده است. براساس جدول ۶، مجموع هزینه‌های متغیر ورودی در تولید زیتون در طول یک سال زراعی برابر با ۱۳۷۰/۷۷ دلار بر هکتار می‌باشد. هزینه‌های ثابت نیز معادل با ۱۵۲۶ دلار بر هکتار به‌دست آمده است که در نتیجه کل هزینه‌های تولید برابر با ۲۸۹۶/۷۶ دلار بر هکتار می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که بیش از نصف هزینه‌های تولید زیتون به هزینه‌های ثابت و هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه نسبت داده می‌شود و ۴۷ درصد از هزینه‌ها نیز هزینه‌های متغیر می‌باشند (شکل ۵). در بین هزینه‌های متغیر، هزینه مربوط به نیروی انسانی با ۸۹۶/۹۷ دلار در سال، یعنی ۶۷ درصد از هزینه‌های متغیر (۳۱ درصد از هزینه‌های کل)، بیشترین سهم را به خود اختصاص داده است (جدول ۶ و شکل ۵). از آن‌جایی که تولید زیتون در منطقه طارم و به طور کلی در ایران، عمدتاً به صورت غیرمکانیزه یا نهایتاً نیمه‌مکانیزه انجام می‌شود، برای عملیات مختلفی نظیر داشت و برداشت، نیاز به نیروی کارگری زیادی وجود دارد. بیشترین نیاز به نیروی کارگری مربوط به عملیات برداشت است. تقریباً تمامی باغات زیتون در منطقه طارم به‌صورت دستی و با نیروی کارگری برداشت می‌شوند. این موضوع سبب شده است که در زمان برداشت محصول، کمبود نیروی کارگری برای برداشت به‌موقع یکی از چالش‌های اساسی در تولید زیتون باشد. با توسعه مکانیزاسیون برداشت زیتون می‌توان به میزان قابل توجهی از هزینه‌های تولید کاست. با این‌حال، نیاز به سرمایه اولیه زیاد برای وارد کردن ماشین‌های مناسب برداشت که از تکنولوژی‌های روز بهره می‌برند، یکی از موانع اصلی در مسیر توسعه مکانیزاسیون برداشت زیتون است.

در مورد هزینه نیروی کارگری در تولید زیتون، نتایج مشابهی در مطالعات پیشین گزارش شده است. پرگولا و همکاران[1] (۳۸)، آرتوک‌اغلو و همکاران[2] (۳) و ازپینار[3] (۳۷) هزینه نیروی کارگری را به عنوان مؤثرترین هزینه در عملیات تولید زیتون ذکر کرده‌اند. پرگولا و همکاران[4] (۳۸) هزینه نیروی کارگری را ۹۰ درصد از هزینه‌های تولید و ازپینار[5] ۶۱ درصد از کل هزینه‌های تولید زیتون را به نیروی کارگری، به ویژه در عملیات برداشت، نسبت داده‌اند (۳۷).

1- Pergola *et al.*
2- Artukoglu *et al.*
3- Ozpinar
4- Pergola *et al.*
5- Ozpinar

جدول(٦) هزینه ورودی-خروجی در تولید زیتون

Table (6) Input-output costs in olive production

هزینه (دلار بر هکتار) Cost ($ ha^{-1})	مقدار مصرف/تولید (واحد بر هکتار) Value (unit ha^{-1})	هزینه هر واحد (دلار) Price ($)	واحد Unit	جریان ورودی/خروجی Input / output flow
		ورودی Inputs		
				هزینه های متغیر Variable costs
2.05	186	0.011	l	سوخت Fuel
896.97	779.30	1.151	h	نیروی انسانی Labor
117.11	16.73	7	h	ماشین آلات Machinery
23.05	153.66	0.15	kg	کود اوره Urea
28.13	100.48	0.28	kg	کود دی‌آمونیوم فسفات Diammonium phosphate
30.40	101.33	0.30	kg	کود پتاسیم سولفات Potassium sulfate
25.40	6.35	4	l	علف‌کش Herbicide
44.06	3.06	14.4	l	آفت‌کش Pesticide
6.74	0.49	13.76	l	قارچ‌کش Fungicide
47.57	4756.9	0.01	kg	کود دامی Manure
3.78	3782.23	0.001	kWh	الکتریسیته Electricity
145.50	6326.24	0.023	m^3	آب Water
1370.76				کل هزینه‌های متغیر Total variable costs
				هزینه‌های ثابت Fix costs
1526			ha	هزینه زمین و هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه Land and initial investment costs
1526				کل هزینه‌های ثابت Total fix costs
2896.76				جمع ورودی Total input
		خروجی های منفی Negative outputs		
47.49	2065	0.023	m^3	آب آبیاری Water
2.75	18.325	0.15	kg	آمونیاک Ammonia (NH_3)
17.69	117.937	0.15	kg	نیترات Nitrate (NO_3^-)
0.28	1.01	0.28	kg	فسفر Phosphorus (P)
0.28	1.848	0.15	kg	نیتروس اکسید Nitrous oxide (N_2O)
10.4	2.60	4	kg	علف‌کش Herbicide
26.50	1.84	14.4	kg	آفت‌کش Pesticide
3.30	0.24	13.76	kg	قارچ‌کش Fungicide
785.28	409	1.92	kg	هدر رفت زیتون Olive waste
893.97				جمع خروجی‌های منفی Total negative outputs
		خروجی مثبت Positive output		
6544.51	3408.6	1.92	kg	میوه زیتون Olive yield
6544.51				جمع خروجی‌های مثبت Total positive output

شکل ۵ سهم هر یک از ورودی‌ها در هزینه تولید زیتون را نشان می‌دهد. نکته قابل توجه در این نمودار، سهم اندک نهاده‌های انرژی (سوخت و الکتریسیته) در هزینه تولید است. به طور مشخص، الکتریسیته تنها ۰/۲۸ درصد از هزینه‌های متغیر را به خود اختصاص می‌دهد که در برخی موارد حتی ممکن است برای کشاورزان صفر در نظر گرفته شود. با توجه به این که بخش عمده‌ای از الکتریسیته در ایران از نیروگاه‌های حرارتی تأمین می‌شود که به مصرف سوخت‌های فسیلی وابسته هستند، تولید الکتریسیته با اثرات محیط‌زیستی قابل توجه و مصرف بالای منابع انرژی اولیه همراه است. از سوی دیگر، همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است، الکتریسیته ۵۵ درصد از کل انرژی ورودی در فرآیند تولید زیتون را به خود اختصاص می‌دهد. به بیان دیگر، نهاده‌ای که بیشترین سهم انرژی را در تولید زیتون دارد، کمترین سهم را در هزینه‌های مالی به خود اختصاص داده است. این تناقض می‌تواند به مدیریت ناکارآمد این منبع انرژی در مزارع منجر شده و تلفات این نهاده را در پی داشته باشد. با توجه به وضعیت ناترازی‌های انرژی در کشور، این مسئله نیازمند بازنگری جدی و اصلاحات اساسی است.

هزینه‌های مرتبط با خروجی‌های منفی نیز محاسبه شده و در جدول ۶ ارائه شده است. شکل ۶ سهم هر یک از این خروجی‌ها را از کل هزینه‌های مرتبط با خروجی‌های منفی نشان می‌دهد. کاهش این هزینه‌ها به نفع سیستم تولید خواهد بود. بر اساس نتایج، هدررفت زیتون با مقدار ۷۸۵/۲۸- و سهم ۸۷/۸۴ درصد، بیشترین هزینه مرتبط با خروجی‌های منفی را به خود اختصاص داده است. پس از آن، هزینه مربوط به اتلاف آب آبیاری با سهم ۵/۳۱ درصد در رتبه دوم قرار دارد (شکل ۶).

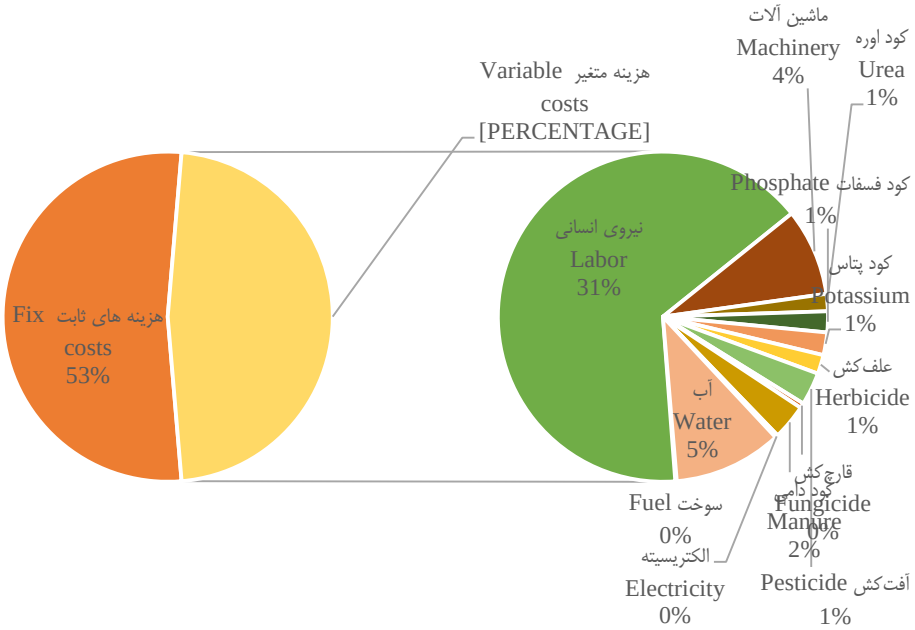
اتلاف زیتون در باغات می‌تواند به دلایل مختلفی از قبیل عوامل زنده مانند آفات (مگس زیتون، شپشک‌ها و غیره) و بیماری‌ها (پژمردگی، لکه برگی و غیره)، عوامل غیر زنده مانند شرایط آب و هوایی نامناسب (خشکسالی، سرما، گرما و غیره)، کمبود عناصر غذایی، آبیاری نامناسب، خاک نامناسب و آسیب‌های فیزیکی، و عوامل مدیریتی مانند عدم مدیریت صحیح باغ (هرس، کوددهی و غیره) و برداشت دیرهنگام رخ دهد. برای کاهش این اتلاف، باغداران باید با انجام به موقع و صحیح عملیات زراعی، استفاده از روش‌های مبارزه با آفات و بیماری‌ها، انتخاب ارقام مقاوم و مدیریت مناسب شرایط محیطی از باغ خود مراقبت کنند (۱۱، ۱۷، ۴۵).

برای بهینه‌سازی مصرف آب در سیستم آبیاری زیتون، اقداماتی نظیر تنظیم دقیق زمان‌بندی و مدت آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه و ویژگی‌های خاک، استفاده از قطره‌چکان‌های استاندارد با دبی کنترل‌شده و رفع نشتی‌ها در سیستم‌های قطره‌ای ضروری است. علاوه بر این، انجام آبیاری در ساعات خنک‌تر روز، استفاده از مالچ برای کاهش تبخیر و خاموش کردن سیستم آبیاری در دوره‌های بارندگی از جمله راهکارهای مؤثر برای کاهش هدررفت آب و افزایش راندمان سیستم هستند. اجرای این اقدامات نقش مهمی در حفظ منابع آب و بهبود بهره‌وری سیستم آبیاری ایفا می‌کند (۱۸).

برای ارزیابی عملکرد اقتصادی نسبی تولید زیتون، یک تحلیل مقایسه‌ای انجام شد. در این تحلیل، شاخص‌های کلیدی اقتصادی، از جمله ارزش ناخالص تولید، سود ناخالص، نسبت سود به هزینه و عملکرد هزینه محاسبه شدند و نتایج آن‌ها در جدول ۷ آمده است. ارزش ناخالص تولید در روش مرسوم برابر با ۶۵۴۴/۵۱ دلار بر هکتار و در روش FMCA برابر با ۵۶۵۰/۲۶ دلار بر هکتار به‌دست آمد. سود ناخالص نیز برای این دو روش به‌ترتیب ۵۱۷۳/۷۴ دلار بر هکتار و ۴۲۷۹/۷۸ دلار بر هکتار محاسبه شد. نسبت سود به هزینه برای روش مرسوم برابر با ۲/۲۶ و برای روش FMCA برابر با ۱/۹۵ تعیین شد. رحمانی و همکاران (۳۹) نسبت سود به هزینه را برای سیستم‌های نیمه‌مکانیزه تولید زیتون در ایران برابر با ۳/۷۲ گزارش کرده‌اند، که این نتایج با یافته‌های مطالعه حاضر همخوانی دارد. روش مورد استفاده در مطالعه آن‌ها نیز روش مرسوم بوده است.

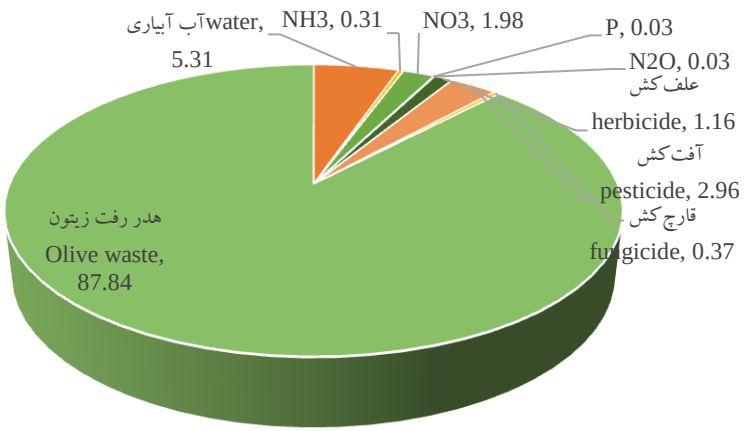
نتایج جدول ۷ نشان می‌دهد که تفاوت سود ناخالص بین روش مرسوم و MFCA برابر با ۸۹۳/۹۶ دلار در هکتار است که این مقدار معادل هزینه هدررفت مواد است. نسبت سود به هزینه

در روش MFCA نیز به میزان ۰/۳۱ بالاتر از روش مرسوم محاسبه شده است، زیرا هزینه ضایعات مواد در حسابداری MFCA لحاظ شده است. در مطالعه‌ای که بر روی محصول سیب‌زمینی انجام شده است، نسبت سود به هزینه در حسابداری مرسوم ۰/۶ واحد بالاتر از MFCA گزارش شده است (۶). این مقایسه نشان می‌دهد که استفاده از MFCA می‌تواند تأثیر معناداری بر شفاف‌سازی هزینه‌های پنهان تولید داشته باشد. بنابراین، تلفات محصول در مراحل مختلف تولید زیتون و مصرف بی‌رویه آب آبیاری به‌عنوان نقاط بحرانی شناسایی می‌شوند که به‌طور غیرملموس ولی چشمگیر، هزینه‌های تولید زیتون را افزایش می‌دهند. برای بهبود سودآوری در این بخش، کاهش این نوع تلفات باید در اولویت برنامه‌های کشاورزان و سیاست‌گذاران قرار گیرد.



شکل (۵) سهم نهاده‌های تولیدی در هزینه کل تولید زیتون

Figure (5) The share of production inputs in the total cost of olive production



شکل (٦) سهم خروجی‌های منفی در هزینه کل خروجی‌های منفی

Figure (6) The share of negative outputs in the total cost of negative outputs

جدول (۷) شاخص های اقتصادی تولید زیتون

Table (7) Economic indices of olive production

هزینه‌یابی جریان مواد Material flow cost accounting	حسابداری مرسوم Conventional accounting	واحد Unit	شاخص‌های اقتصادی Economic indices
5650.54	6544.51	$ ha^{-1}	ارزش ناخالص تولید Gross value of production
6544.51	6544.51	$ ha^{-1}	تولید مثبت Positive production
893.97	0	$ ha^{-1}	تولید منفی Negative production
4279.78	5173.74	$ ha^{-1}	سود ناخالص Gross profit
1.95	2.26	-	نسبت سود به هزینه Benefit-cost ratio
1.18	1.18	$ ha^{-1}	شاخص عملکرد هزینه Cost performance index

نتیجه‌گیری

این مطالعه با به‌کارگیری روش نوین حسابداری هزینه جریان مواد (MFCA) در تحلیل انرژی و اقتصادی تولید زیتون در شهرستان طارم، نشان داد که مصرف انرژی در این بخش به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر نهاده‌هایی مانند برق (۵۹ درصد) و کودهای شیمیایی (۱۹ درصد) است، در حالی که هزینه‌های تولید عمدتاً متأثر هزینه‌های ثابت است و در بین هزینه‌های متغیر نیز، نیروی کارگری (۶۷ درصد از هزینه‌های متغیر) نقش قابل توجهی در هزینه‌ها را دارد. نتایج حاکی از آن است که رویکرد MFCA با شناسایی نقاط بحرانی اتلاف منابع، از جمله هدررفت محصول و آب آبیاری، تصویری واقع‌بینانه‌تر از کارایی سیستم ارائه می‌دهد و هزینه‌های پنهان مرتبط با ضایعات را آشکار می‌سازد. مقایسه شاخص‌های انرژی و اقتصادی بین روش MFCA و روش‌های مرسوم، کاهش ۱۷ درصدی نسبت انرژی و کاهش ۱۴ درصدی نسبت سود به هزینه را در روش MFCA نشان داد که لزوم بازنگری در سیستم‌های حسابداری سنتی را تأیید می‌کند.

یافته‌های این پژوهش بر اهمیت بهینه‌سازی مصرف انرژی (به ویژه در بخش آبیاری)، کاهش ضایعات محصول از طریق مکانیزاسیون برداشت، و جایگزینی منابع انرژی تجدیدپذیر تأکید دارد. این راهکارها نه تنها هزینه‌های تولید را کاهش می‌دهند، بلکه پایداری محیط‌زیستی و اقتصادی زنجیره تولید زیتون را بهبود می‌بخشند. به‌کارگیری MFCA به عنوان ابزاری جامع، می‌تواند الگویی برای سایر محصولات کشاورزی باشد و نقش کلیدی در تحقق اهداف توسعه پایدار ایفا کند. پیشنهاد می‌شود مطالعات آتی به بررسی تأثیر اجرای راهکارهای پیشنهادی بر کاهش ردپای کربن و افزایش رقابت‌پذیری بازار این محصول بپردازند.

References

1. Afshar, R. K., and Dekamin, M. 2022. Sustainability assessment of corn production in conventional and conservation tillage systems. Journal of Cleaner Production, 351: 131508. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131508

2. Amicarelli, V., Roe, B. E., and Bux, C. 2022. Measuring food loss and waste costs in the Italian potato chip industry using material flow cost accounting. Agriculture, 12(4): 523. https://doi.org/10.3390/agriculture12040523

3. Artukoglu, M., Olgun, F. A., and Adanacıoglu, H. 2012. An economic analysis of organic and conventional olive production: Case of Turkey. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 49(3): 243-247.

4. Bux, C., and Amicarelli, V. 2022. Material flow cost accounting (MFCA) to enhance environmental entrepreneurship in the meat sector: Challenges and opportunities. Journal of Environmental Management, 313: 115001. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115001

5. Dekamin, M. 2021a. A New Approach to Material and Energy Flow Accounting of Agricultural Systems: A Case Study of Canola in Ardabil Province. Iranian Journal of Biosystems Engineering, 51(4): 757-768. (In Persian). doi: 10.22059/ijbse.2020.298532.665286

6. Dekamin, M. 2021b. Potato Energy and Material Flow Cost Accounting in Hamadan Province, Iran. Journal of Agricultural Economics and Development, 35(2): 105-119. (In Persian). doi: 10.22067/jead.2021.17804.0

7. Dekamin, M. and Kheiralipour, K. 2023. Material and Energy Flow Cost Accounting (MEFCA) of Grape Production in Malayer City. Journal of Agricultural Economics and Development, 37(3): 325-340. (In Persian). doi: 10.22067/jead.2023.80448.1174

8. Dekamin, M., and Barmaki, M. 2019. Implementation of material flow cost accounting (MFCA) in soybean production. Journal of cleaner production, 210: 459-465. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.057

9. Dekamin, M., Kheiralipour, K., and Afshar, R. K. 2022. Energy, economic, and environmental assessment of coriander seed production using material flow cost accounting and life cycle assessment. Environmental Science and Pollution Research, 29(55): 83469-83482. https://doi.org/10.1007/s11356-022-21585-0

10. Dekamin, M., Sadeghimofrad, T., and Ahmadloo, A. 2024. Energy, economic, and environmental (3E) assessment of the major greenhouse crops: MFCA-LCA approach. Environmental Science and Pollution Research, 31(14): 21894-21912. https://doi.org/10.1007/s11356-024-32576-8

11. Dölek, C., and Özkaya, M. T. 2024. Hermaphrodite Flower Ratios and Fruit Drop in Some Olive Cultivars. Bahçe, 53(2): 53-59. https://doi.org/10.53471/bahce.1493670

12. Doorasamy, M. 2016. Using material flow cost accounting (MFCA) to identify benefits of eco-efficiency and cleaner production in a paper and pulp manufacturing organization. Foundations of Management, 8(1): 263-288.

13. Elhami, B., Raini, M. G. N., Taki, M., Marzban, A., & Heidarisoltanabadi, M. (2021). Analysis and comparison of energy-economic-environmental cycle in two cultivation methods (seeding and transplanting) for onion production (case study: central parts of Iran). Renewable Energy, 178, 875-890. https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.06.117

14. Elhami, B., Raini, M. G. N., Taki, M., Marzban, A., and Heidarisoltanabadi, M. 2021. Analysis and comparison of energy-economic-environmental cycle in two cultivation methods (seeding and

transplanting) for onion production (case study: central parts of Iran). Renewable Energy, 178: 875-890. https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.06.117

15. Fakoya, M. B., and van der Poll, H. M. 2013. Integrating ERP and MFCA systems for improved waste-reduction decisions in a brewery in South Africa. Journal of Cleaner Production, 40: 136-140. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.09.013

16. FAO, 2025. Food and Agriculture Organization. Available from: www.fao.org. (accessed February 2025)

17. Farolfi, C., Tombesi, S., Lucini, L., Capri, E., and García-Pérez, P. 2024. Influence of fruit load and water deficit on olive fruit phenolic profiling and yield. International Journal of Plant Biology, 15(3): 895-913. https://doi.org/10.3390/ijpb15030064

18. Fernández, J. E., Diaz-Espejo, A., Romero, R., Hernandez-Santana, V., García, J. M., Padilla-Díaz, C. M., and Cuevas, M. V. 2018. Precision irrigation in olive (Olea europaea L.) tree orchards. In Water scarcity and sustainable agriculture in semiarid environment. Academic Press. Elsevier. pp. 179-217.

19. Ghadami Firouzabadi, A. and Baghani, J. (2019). Effects of different wheat planting patterns in drip tape irrigation on yield and water productivity of bread wheat in Hamedan.. Iranian Journal of Irrigation & Drainage, 13(2), 528-539.

20. Ghasemi-Mobtaker, H., Ataiee, F. S., Akram, A., & Kaab, A. (2024). Feasibility study of using photovoltaic cells for a commercial hydroponic greenhouse: Energy analysis and life cycle assessment. e-Prime-Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy, 8, 100597. https://doi.org/10.1016/j.prime.2024.100597

21. Guenther, E., Jasch, C., Schmidt, M., Wagner, B., and Ilg, P. 2015. Material flow cost accounting–looking back and ahead. Journal of Cleaner Production, 108: 1249-1254. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.018

22. Guzmán, G. I., and Alonso, A. M. 2008. A comparison of energy use in conventional and organic olive oil production in Spain. Agricultural Systems, 98(3): 167-176. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2008.06.004

23. Hemmati, A., Tabatabaeefar, A., and Rajabipour, A. 2013. Comparison of energy flow and economic performance between flat land and sloping land olive orchards. Energy, 61: 472-478. https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.09.006

24. 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>.

25. ISO 14051, 2011. Environmental management-material flow cost accounting-general framework. International Organization for Standardization. Geneva.

26. Jasch, C. M. 2008. Environmental and material flow cost accounting: principles and procedures (Vol. 25). Springer Science & Business Media. Berlin. pp.832-834.

27. Kaltsas, A. M., Mamolos, A. P., Tsatsarelis, C. A., Nanos, G. D., and Kalburtji, K. L. 2007. Energy budget in organic and conventional olive groves. Agriculture, Ecosystems & Environment, 122(2): 243-251.

28. Kasemset, C., Chernsupornchai, J., and Pala-ud, W. 2015. Application of MFCA in waste reduction: case study on a small textile factory in Thailand. Journal of Cleaner Production, 108: 1342-1351. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.09.071

29. Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., Yousefi, M., and Movahedi, M. 2013. Modeling of energy consumption and GHG (greenhouse gas) emissions in wheat production in Esfahan province of Iran using artificial neural networks. Energy, 52: 333-338. https://doi:10.1016/j.energy.2013.01.028

30. Khoshnevisan, B., Shariati, H. M., Rafiee, S., and Mousazadeh, H. 2014. Comparison of energy consumption and GHG emissions of open field and greenhouse strawberry production. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 29: 316-324. https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.098

31. MAJ, (2025). Ministry of Agriculture Jihad of Iran. Available from: www.maj.ir

32. Mohammadshirazi, A., Akram, A., Rafiee, S., and Bagheri Kalhor, E. 2015. On the study of energy and cost analyses of orange production in Mazandaran province. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 10: 22–28. https://doi.org/10.1016/j.seta.2015.01.007

33. Naderi, S., Raini, M. G. N., and 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

34. 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

35. Nishitani, K., Kokubu, K., Wu, Q., Kitada, H., Guenther, E., and Guenther, T. 2022. Material flow cost accounting (MFCA) for the circular economy: An empirical study of the triadic relationship between MFCA, environmental performance, and the economic performance of Japanese companies. Journal of environmental management, 303: 114219. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114219

36. Ozkan, B., Fert, C., and Karadeniz, C. F. 2007. Energy and cost analysis for greenhouse and open-field grape production. Energy, 32(8): 1500-1504. https://doi.org/10.1016/j.energy.2006.09.010

37. Ozpınar, S. 2020. Energy Use and Cost Analysis of Olive Under Flat and Sloping Growing Conditions. COMU Journal of Agriculture Faculty, 8(1): 125-135. https://doi.org/10.33202/comuagri.664249

38. Pergola, M., Favia, M., Palese, A. M., Perretti, B., Xiloyannis, C., and 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

39. Rahmani, A., Parashkoohi, M. G., and 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

40. 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. http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2013.12.059

41. Rezvani, S., Jafari, A., and Amin, S. (2011). Efficiency and energy consumption in sprinkler irrigation pumping plants in some fields in Hamadan province. Irrigation and Drainage Structures Engineering Research, 11(4), 19-34.

42. Sahu, A. K., Padhy, R. K., Das, D., and Gautam, A. 2021. Improving financial and environmental performance through MFCA: A SME case study. Journal of cleaner production, 279: 123751. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123751

43. Shelar, M. N., Matsagar, V. K., Patil, V. S., and Barahate, S. D. 2024. Investigations into the Poor Energy use Practices of Irrigation Pumps by Indian Farmers: A Case Study. Journal of The Institution of Engineers (India): Series B, 105(2): 277-283. https://doi.org/10.1007/s40031-023-00977-x

44. Singh, S., Singh, P., Singh, G., and Sandhu, A. 2025. Crop productivity and energy indices of tomato (Solanum lycopersicum) production under naturally-ventilated poly-house structures in north-western India. Energy, 314: 134239. https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.134239

45. Talhinhas, P., Loureiro, A., and Oliveira, H. 2018. Olive anthracnose: a yield-and oil quality-degrading disease caused by several species of Colletotrichum that differ in virulence, host preference and geographical distribution. Molecular plant pathology, 19(8): 1797-1807. https://doi.org/10.1111/mpp.12676

46. Taxidis, E. T., Menexes, G. C., Mamolos, A. P., Tsatsarelis, C. A., Anagnostopoulos, C. D., and Kalburtji, K. L. 2015. Comparing organic and conventional olive groves relative to energy use and greenhouse gas emissions associated with the cultivation of two varieties. Applied Energy, 149: 117–124. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.03.128

47. Unakıtan, G., and 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. https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.02.033

48. Wagner, B. 2015. A report on the origins of Material Flow Cost Accounting (MFCA) research activities. Journal of Cleaner Production, 108: 1255-1261. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.020

49. Wang, C., and Fu, X. 2024. Environmental Cost Accounting in the Sugar Industry: An MFCA Perspective on "Sweet" Environmental Burdens. Journal of Green Economy and Low-Carbon Development, 3(1): 45-55.

50. Zhou, Z., Zhao, W., Chen, X., and Zeng, H. 2017. MFCA extension from a circular economy perspective: Model modifications and case study. Journal of Cleaner Production, 149: 110-125. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.049

51. Ziarati, P., and Tosifi, S. 2014. Comparing some physical and chemical properties of green olive (Olea europea L.) in Iran association with ecological conditions. International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences, 4 (2): 519-528.

52. Zirak, L., Khakvar, R., and Azizpour, N. 2024. The first draft genome sequence of Russian olive (Elaeagnus angustifolia L.) in Iran. In Genetic Resources, 5(9): 29-35. https://orcid.org/0000-0003-2872-8290