J. Crop Prod. Process. 2026, 16(1), 37-58; DOI: 10.47176/jcpp.16.1.20637

Journal of Crop Production and Processing

Journal homepage: https://jcpp.iut.ac.ir/

Original Article

Effect of Tillage Methods and Integrated Nutrition on Yield, Oil and Protein Percentage and Energy Indices of Rapeseed (*Brassica napus* L.) under Dryland Conditions

Farshid Khoshal-Zolpirani[1], Majid Majidian*[1], Narges Banaeian[2] and Atefeh Sabouri[1]

1. Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran.
2. Biosystems Engineering, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran.

Extended Abstract

Introduction: In addition to its economic advantages, sustainable agriculture plays a vital role in preserving essential production resources such as water, soil, and the environment. Considering that a substantial portion of Iran's agricultural lands suffer from nutrient deficiencies, the integration of organic fertilizers with other crop management practices can significantly improve rapeseed yields while reducing the energy demand associated with nitrogen-based fertilizers. In this context, minimizing greenhouse gas emissions and determining optimal fertilizer application rates tailored to specific climatic, soil, and crop conditions are of critical importance.

Materials and Methods: To investigate the effect of tillage methods and integrated nutrient management on yield and energy indices of rapeseed (*Brassica napus* L.) under dryland conditions, an experiment was conducted as a split-plot arrangement based on a randomized complete block design (RCBD) with three replications during the 2023–2024 and 2024–2025 cropping seasons at the research farm affiliated with the Jihad-e-Agriculture Organization of Guilan Province, north of Iran. Main factor was tillage method at three levels (no-tillage, minimum tillage, and conventional tillage), and the sub-factor was integrated nutrient management at ten levels, including 0, 50, 100, and 150 kg ha^{-1} of nitrogen, 5, 10, and 15 tons ha^{-1} of farmyard manure, as well as combined treatments of nitrogen and manure (25 kg ha^{-1} nitrogen + 2.5 tons ha^{-1} manure, 50 kg ha^{-1} nitrogen + 5 tons ha^{-1} manure, and 75 kg ha^{-1} nitrogen + 7.5 tons ha^{-1} manure).

Results: Findings showed that conventional tillage led to higher yields compared to reduced and no-tillage systems. The highest and lowest grain yields (1490 kg ha^{-1} and 1041 kg ha^{-1}, respectively) were obtained from conventional tillage and no-tillage systems. Moreover, the integrated treatment of 75 kg ha^{-1} nitrogen combined with 7.5 tons ha^{-1} farmyard manure produced the highest grain yield (1343 kg ha^{-1}). Maximum oil content (26%) in the second year was observed under the conventional tillage system with the application of 15 tons ha^{-1} farmyard manure. The highest seed protein content in the first year (7.5%) and the second year (8.4%) was observed under the conventional tillage system. Also, the treatment with 50 kg ha^{-1} nitrogen + 5 tons ha^{-1} farmyard manure had the highest seed protein content (8.1%) in the first year. In the second year, the treatment with 75 kg ha^{-1} nitrogen + 7.5 tons ha^{-1} farmyard manure showed the highest protein content (9.4%), which was not significantly different from the treatment of 50 kg ha^{-1} nitrogen + 5 tons ha^{-1} farmyard manure. In terms of energy indices, the treatment with 15 tons ha^{-1} farmyard manure showed the highest energy use efficiency (10.8 kg MJ^{-1}).

Conclusions: Based on results of this study, the interactive effects of tillage system type and the type and level of plant nutrition (including nitrogen fertilizer, farmyard manure, and their integrated combinations) on agronomic performance,

Received: Nov. 16, 2025; Revised: Dec. 27 2025; Accepted: Dec. 28, 2025; Published Online: Apr. 08, 2026.
* Corresponding Author: ma_majidian@guilan.ac.ir

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-05]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.1.20637]

Journal of Crop Production and Processing

Journal homepage: https://jcpp.iut.ac.ir/

product quality, energy use efficiency indices, and environmental sustainability of canola cultivation were comprehensively investigated. The findings showed that both the tillage system and the type and level of plant nutrition (nitrogen, manure, and integrated treatments) had significant effects on grain yield, oil content, energy use efficiency indices, and environmental sustainability of rapeseed. The highest grain yield was achieved under the conventional tillage system combined with 75 kg ha^{-1} nitrogen and 7.5 tons ha^{-1} farmyard manure, while the integrated treatment of 15 tons ha^{-1} farmyard manure showed the highest positive energy indices. Moreover, results indicated that increasing nitrogen application in integrated treatments increased grain yield and protein content but decreased oil content. Treatments based on farmyard manure, especially in the conventional tillage system, had higher energy efficiency compared to other treatments. Another important finding was the significant difference in net energy indices among tillage methods. This difference indicates that selecting the appropriate tillage method can directly impact energy consumption and output, ultimately leading to reduced negative environmental impacts. The use of reduced tillage methods and minimized chemical inputs, alongside targeted and proper use of organic fertilizers, can help reduce nitrogen loss, decrease greenhouse gas emissions, and enhance the long-term sustainability of canola production. These approaches are not only environmentally beneficial but also economically feasible and profitable for farmers.

Keywords: Energy use efficiency, Farmyard manure, Nitrogen

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-05]

How to Cite: Khoshal Zolpirani F., , Majidian M., Banian N., Sabouri A., Effect of tillage methods and integrated nutrition on yield, oil and protein percentage and energy indices of rapeseed (*Brassica napus* L.) under dryland conditions. *J. Crop Prod. Process*. 2026, 16(1), 37-58 (*In Persian*). DOI: 10.47176/jcpp.16.1.20637.

[DOI: 10.47176/jcpp.16.1.20637]

Copyright © 2025 Isfahan University of Technology, Published by Isfahan University of Technology press. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، ۱۴۰۵، دوره ۱۶، شماره ۱، صص. ۵۸-۳۷، DOI: 10.47176/jcpp.16.1.20637

نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی

صفحه خانگی نشریه: https://jcpp.iut.ac.ir/

مقاله پژوهشی

اثر روش‌های خاک‌ورزی و تغذیه تلفیقی بر عملکرد، درصد روغن و پروتئین و شاخص‌های انرژی کلزا (*Brassica napus* L.) در شرایط دیم

فرشید خوشحال ذوالپیرانی[۱]، مجید مجیدیان[۱*]، نرگس بنائیان[۲] و عاطفه صبوری[۱]

چکیده– به‌منظور مطالعه روش‌های خاک‌ورزی و تغذیه تلفیقی بر عملکرد و شاخص‌های انرژی کلزا (*Brassica napus* L.) در شرایط دیم، پژوهشی به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دوسال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ و ۱۴۰۴-۱۴۰۳، در مزرعه‌ی تحقیقاتی تحت پوشش سازمان جهاد کشاورزی استان گیلان اجرا شد. عامل اصلی، روش خاک‌ورزی در سه سطح (بدون خاک‌ورزی، کم‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی متداول) و عامل فرعی، تغذیه تلفیقی در ده سطح شامل مقادیر صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن؛ ۵، ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار کود دامی و تلفیقی از نیتروژن و کود دامی (۲۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن+ ۲/۵ تن در هکتار کود دامی، ۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن+ ۵ تن در هکتار کود دامی و ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن+ ۷/۵ تن در هکتار کود دامی) بودند. شاخص‌های انرژی شامل کارایی مصرف انرژی، بهره‌وری انرژی، انرژی ویژه و انرژی خالص بودند. نتایج نشان داد که خاک‌ورزی متداول نسبت به‌کم‌خاک‌ورزی و بدون خاک‌ورزی، منجر به افزایش عملکرد شد. بیشترین و کمترین عملکرد دانه به‌ترتیب (۱۴۹۰ کیلوگرم در هکتار) و (۱۰۴۱ کیلوگرم در هکتار) مربوط به سیستم خاک‌ورزی متداول و بدون خاک‌ورزی بود. همچنین تیمار تلفیقی ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن + ۷/۵ تن در هکتار کود دامی حداکثر عملکرد دانه (۱۳۴۳ کیلوگرم در هکتار) را ارائه داد. بیشترین درصد روغن دانه (۲۵/۹ درصد) در سال دوم به سیستم خاک‌ورزی متداول و تیمار ۱۵ تن در هکتار کود دامی تعلق داشت. همچنین از لحاظ شاخص‌های انرژی، تیمار ۱۵ تن در هکتار کود دامی بیشترین کارایی مصرف انرژی (۱۰/۸) را نشان داد. بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، در شرایط دیم مناطق مرتفع استان گیلان، بیشترین عملکرد گیاه کلزا با کاربرد خاک‌ورزی متداول همراه با مصرف تلفیقی ۷۵ کیلوگرم نیتروژن و ۷/۵ تن کود دامی در هکتار به‌دست آمد، درحالی‌که از دیدگاه شاخص‌های انرژی، تیمار خاک ورزی متداول همراه با مصرف ۱۵ تن کود دامی در هکتار به‌عنوان مؤثرترین تیمار شناخته شد.

واژه‌های کلیدی: کارایی مصرف انرژی، کود دامی، نیتروژن

دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۰۸/۲۵، بازنگری: ۱۴۰۴/۱۰/۶، پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۰۷، اولین انتشار: ۱۴۰۵/۰۱/۱۹

۱.گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

۲. گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

*: نویسنده مسئول، رایانامه: ma_majidian@guilan.ac.ir

حق انتشار این مستند، متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است. ۱۴۰۳ ©.

این مقاله تحت گواهی زیر منتشر شده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط بر استناد صحیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است:

Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-05]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.1.20637]

مقدمه

کلزا (*Brassica napus* L.) گیاهی است که کشت آن به بیش از دو هزار سال قبل از میلاد در هند باز می‌گردد. این گیاه برای تولید روغن چراغ، روغن خوراکی و همچنین به عنوان گیاه علوفه‌ای در تغذیه دام استفاده می‌شود (۱). کلزا یکی از مهم‌ترین دانه‌های روغنی است که به‌دلیل داشتن روغن در دانه و پروتئین در کنجاله، نقش قابل‌توجهی در تغذیه انسان، دام و طیور دارد (۵). تولید کلزا حدود ۱۶درصد از روغن جهان را به خود اختصاص داده (۸) و پس از سویا و پالم روغنی در رتبه سوم قرار دارد (۱۰). با توجه به اینکه هم‌اکنون حدود ۹۰ درصد از روغن مصرفی کشور وارداتی است، توسعه کشت کلزا به‌عنوان راهکاری مهم برای تأمین بخش عمده‌ای از نیاز داخلی به روغن مطرح می‌شود (۲۵). همچنین، مناطق شمالی کشور به‌ویژه استان گیلان که دارای شرایط اقلیمی مناسبی برای تولید برنج هستند، ظرفیت مناسبی برای کشت کلزا نیز دارند. به‌ویژه در نواحی مرتفع استان مانند شهرستان‌های رودبار و دیلمان، امکان کشت دیم کلزا فراهم است و می‌تواند به‌عنوان الگویی برای تنوع‌بخشی به نظام‌های زراعی منطقه مورد توجه قرار گیرد.

مدیریت خاک از اجزای اصلی کشاورزی پایدار محسوب می‌شود که حفظ و بهبود منابع خاک را در اولویت قرار می‌دهد. در کشاورزی پایدار، علاوه بر منافع اقتصادی، توجه ویژه‌ای به حفظ منابع طبیعی مانند آب، خاک و محیط‌زیست می‌شود (۱۹). خاک‌ورزی، به‌عنوان یکی از بخش‌های ضروری مدیریت خاک، نقش مهمی در حفظ سلامت خاک و کاهش تخریب آن دارد. عملیات خاک‌ورزی متداول با گاوآهن برگرداندار، که در مناطق دیم توسط کشاورزان استفاده می‌شود، ضمن مصرف زیاد انرژی، با زیرورو کردن مداوم خاک موجب اتلاف رطوبت، تسریع اکسیداسیون مواد آلی و تخریب ساختمان خاک می‌شود (۴۰). در مقابل، کشاورزی حفاظتی بر حفظ بقایای گیاهی در سطح خاک تأکید دارد، به‌طوری‌که دست‌کم ۳۰ درصد سطح خاک توسط بقایای گیاهی پوشیده می‌شود. به‌علاوه، خاک‌ورزی حداقل با ایجاد خلل و فرج در خاک نسبت به بدون خاک‌ورزی، نفوذپذیری را افزایش داده، جذب آب و مواد غذایی را بهبود می‌بخشد، که این امر منجر به رشد بهتر دانه و کاهش درصد پوکی دانه می‌شود (۳). در روش بدون خاک‌ورزی، هیچ عملیات خاک‌ورزی صورت نمی‌گیرد و تنها ماشین کاشت و کود، بذر را در خاک قرار می‌دهد. این روش‌ها از جمله تکنیک‌های مدیریت پایدار خاک هستند که هدف اصلی آن‌ها حفظ سلامت خاک و افزایش بهره‌وری کشاورزی با حداقل آسیب به محیط‌زیست می‌باشد (۳۳).

با توجه به کمبود مواد غذایی در بخش قابل‌توجهی از اراضی زراعی ایران و حدود ۶۰ درصد زمین‌های زراعی جهان، افزایش غلظت عناصر غذایی دانه اهمیت ویژه‌ای دارد؛ این موضوع علاوه بر بهبود سلامتی جامعه، موجب تولید بذور قوی با قدرت جوانه‌زنی و رشد اولیه بالا خواهد شد. نیتروژن، به عنوان مهم‌ترین عنصر غذایی در حاصلخیزی خاک، بخش عمده کودهای شیمیایی را تشکیل می‌دهد. این عنصر در ترکیب پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک، کلروفیل، آنزیم‌ها، فسفاتیدها و بسیاری از ویتامین‌ها و مولکول‌های آلی شرکت دارد که در تبادل مواد در گیاهان نقش مؤثری ایفا می‌کنند (۶). نیتروژن تأثیر مهمی بر عملکرد کمی و کیفی گیاهان زراعی دارد و برای عملکرد بهینه اکوسیستم‌های زراعی ضروری است (۲۲). مطالعات نشان داده‌اند که مصرف نیتروژن در محدوده ۶۰ تا ۹۰ کیلوگرم در هکتار می‌تواند عملکرد دانه کلزا را تا ۵۰ درصد نسبت به تیمار شاهد (بدون کوددهی) افزایش دهد (۴۸). همچنین، بررسی‌ها در اراضی شالیزاری شهرستان رشت نشان داده است که افزایش مصرف نیتروژن، جذب کل نیتروژن توسط گیاه کلزا را افزایش می‌دهد، اما کارایی انتقال و استفاده از نیتروژن جذب‌شده برای تشکیل دانه در مقادیر کمتر نیتروژن بیشتر است. مصرف ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بیشترین کارایی زراعی، کارایی مصرف انرژی، بازیافت ظاهری و کارایی فیزیولوژیک را به همراه داشته است (۳۸).

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-05]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.1.20637]

کود دامی (Farmyard manure) یکی از کودهای آلی است که با بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک، رشد گیاه را ارتقاء می‌بخشد. مطالعات نشان داده‌اند که جایگزینی یا ترکیب کودهای دامی با کودهای شیمیایی، از طریق افزایش نیتروژن و کربن آلی در خاک، موجب بهبود کیفیت بافت خاک و ترکیب نیتروژن و کربن خاک می‌شود (۵۳). به‌کارگیری کود دامی همراه با سایر مدیریت‌های زراعی می‌تواند به دستیابی به عملکرد بهینه کلزا کمک نماید. علاوه بر این، استفاده از کود دامی می‌تواند تقاضا برای کودهای نیتروژنی شیمیایی را کاهش دهد، که این امر منجر به کاهش مصرف انرژی مرتبط با تولید کود نیتروژنی می‌شود. در مجموع، جایگزینی یا کاهش مصرف کودهای شیمیایی نیتروژن‌دار با کودهای آلی مانند کود دامی، ضمن بهبود عملکرد و کارایی مصرف نهاده‌ها، به کاهش انتشار آلاینده‌های محیطی و افزایش پایداری سیستم‌های زراعی می‌انجامد (۲۱).

با افزایش جمعیت جهانی و نیاز فزاینده به تولید مواد غذایی، کشاورزی در آینده ناگزیر به وابستگی بیشتر به انرژی خواهد بود تا بتواند پاسخگوی این تقاضای روزافزون باشد. منابع انرژی محدود و استفاده بیش از حد از آن‌ها پیامدهای زیست‌محیطی جدی ایجاد می‌کند (۲۸). کشاورزی انرژی را به‌طور مستقیم برای سوخت ماشین‌آلات و تجهیزات و به‌طور غیرمستقیم برای تولید نهاده‌هایی نظیر کودهای شیمیایی مصرف می‌کند. به‌همین دلیل، بهینه‌سازی مصرف کودها به‌ویژه نیتروژن و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای اهمیت فراوانی دارد. تعیین نرخ مصرف کود متناسب با شرایط اقلیمی، خاک و نوع محصول یکی از مولفه‌های ضروری مدیریت بهینه انرژی در کشاورزی است (۳۵). شاخص‌های انرژی به کشاورزان و پژوهشگران امکان ارزیابی کارایی مصرف انرژی در تولید محصول را می‌دهند. مطالعه‌ای در استان گیلان نشان داد که استفاده از روش‌های کم‌خاک‌ورزی و بدون خاک‌ورزی همراه با مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، بالاترین کارایی مصرف انرژی و کمترین انتشار گازهای گلخانه‌ای را به‌همراه داشته است (۳۷). همچنین، شواهد نشان می‌دهد که در کشاورزی مکانیزه حدود ۶۰ درصد انرژی مصرفی مربوط به عملیات خاک‌ورزی است و نوع ابزار و دفعات ورود به مزرعه نقش اساسی در مدیریت انرژی دارد. به‌عنوان نمونه، در مطالعه‌ای در استان فارس، کل انرژی مصرفی در تولید کلزا ۳۰۸۸۹ مگاژول در هکتار برآورد شد که سهم کودهای نیتروژنی ۳۸/۹ درصد و سهم سوخت دیزل ۲۰ درصد بوده است. این نتایج تأکید می‌کند که مهندسی دقیق در مصرف نهاده‌ها و مدیریت عملیات می‌تواند به کاهش مصرف انرژی و آسیب زیست‌محیطی کمک شایانی نماید (۷).

وجه تمایز و نوآوری پژوهش حاضر در ترکیب همزمان سه رویکرد اساسی نهفته است: نخست، بررسی دقیق و مقایسه‌ای روش‌های مختلف خاک‌ورزی شامل خاک‌ورزی متداول، کم‌خاک‌ورزی و بدون خاک‌ورزی در شرایط زراعی استان گیلان؛ دوم، به‌کارگیری طیفی متنوع از تیمارهای تغذیه تلفیقی شامل کودهای شیمیایی و آلی؛ و سوم، ارزیابی هم‌زمان عملکرد زراعی و شاخص‌های انرژی در زراعت کلزا در مناطق دیم استان. این رویکرد جامع و همزمان، تا حد زیادی فراتر از مطالعات پیشین بوده است که معمولاً به یکی از این جنبه‌ها به صورت مجزا پرداخته‌اند.

مواد و روش‌ها

به‌منظور مطالعه روش‌های خاک‌ورزی و تغذیه تلفیقی برعملکرد و شاخص‌های انرژی کلزا (*Brassica napus* L.) در شرایط دیم، پژوهش حاضر به‌صورت کرت‌های خردشده و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ و ۱۴۰۴-۱۴۰۳، در مزرعه تحقیقاتی تحت پوشش سازمان جهاد کشاورزی استان گیلان و موقعیت جغرافیایی آن ۴۹ درجه و ۳۳ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۵۳ دقیقه عرض شمالی اجرا شد. عامل اصلی مطالعه، روش خاک‌ورزی در سه سطح شامل بدون خاک‌ورزی، کم‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی متداول بود. عامل فرعی، تغذیه تلفیقی در ده

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-05]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.1.20637]

جدول۱. نتایج آنالیز نمونه خاک مزرعه پژوهشی محل آزمایش

کلاس بافت	شن (درصد)	سیلت (درصد)	رس (درصد)	pH	شوری (دسی‌زیمنس برمتر)	کربن- آلی (درصد)	نیتروژن کل (درصد)	فسفرقابل‌جذب (میلی‌گرم درکیلوگرم)	پتاسیم‌قابل‌جذب (میلی‌گرم درکیلوگرم)
لوم- رسی	۲۲	٤٨	۳۰	۷/٤	۰/۷۱	۰/۹۸	۰/۱۲	۳/۲	۱۷۰

سطح، که شامل مقادیر صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۵، ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار کود دامی و ترکیباتی از نیتروژن و کود دامی (۲۵ کیلوگرم نیتروژن + ۲/۵ تن کود دامی، ۵۰ کیلوگرم نیتروژن + ۵ تن کود دامی و ۷۵ کیلوگرم نیتروژن + ۷/۵ تن کود دامی) بود. پیش از آغاز آزمایش، نمونه‌برداری از خاک مزرعه در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر انجام شد و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک توسط آزمایشگاه بخش خاک و آب مؤسسه تحقیقات برنج کشور در شهرستان رشت تعیین شد (جدول۱).

مزرعه پیش از کشت در وضعیت آیش (نکاشت) قرار داشت. این پژوهش با سه تکرار و با استفاده از کرت‌هایی به ابعاد ۳×٦ متر انجام شد که در مجموع ۹۰ کرت را شامل می‌شد. فاصله بین بلوک‌ها دو متر و فاصله بین تکرارها یک متر در نظر گرفته شد. هر بلوک شامل ۳۰ کرت بود. عملیات خاک‌ورزی با استفاده از گاوآهن برگردان‌دار در تاریخ پنجم مهرماه انجام شد. سپس خاک‌ورزی ثانویه با گاوآهن روتیواتور در تاریخ اول آبان ماه صورت گرفت و در نهایت، کشت گیاه در تاریخ ۱۰ آبان انجام شد. در روش بدون خاک‌ورزی، مزرعه بدون هیچ‌گونه بهم خوردگی، با استفاده از دستگاه ردیف‌کار کشت شد که در آن خاک از زمان برداشت گیاه زراعی قبلی تا زمان کاشت گیاه زراعی جدید دست‌نخورده باقی می‌ماند و تنها محل قرارگیری بذر و کود در داخل خاک به هم زده می‌شود. در روش کم‌خاک‌ورزی، زمین یکبار با گاوآهن روتیواتور شخم زده شد. در روش خاک‌ورزی متداول، ابتدا خاک با گاوآهن برگردان‌دار شخم زده شده و سپس دوبار با گاوآهن روتیواتور عملیات شخم انجام شد. این روش خاک را به‌طور کامل زیر و رو کرده و کلوخه‌های خاک را خرد می‌کند. بر اساس نتایج آزمون خاک، کود نیتروژن از منبع اوره با نیتروژن ٤٦ درصد بر اساس تیمارهای آزمایش در سه مرحله به کرت های آزمایشی (یک سوم پیش از کاشت، یک سوم پیش از مرحله به ساقه رفتن و یک سوم باقی‌مانده در زمان شروع گلدهی) داده شد. این روش به‌منظور تأمین نیاز نیتروژن گیاه در مراحل حساس رشد و بهبود جذب و کارایی کود انجام شد و متناسب با نتایج آزمون خاک تنظیم شد تا مصرف بهینه و کاهش هدررفت نیتروژن صورت پذیرد (۳۹). فسفر از منبع سوپرفسفات تریپل (٤٦ درصد) با مقدار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار، پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم (۵۰ درصد) با میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار و کود دامی از منبع کود گاوی پوسیده شده، به‌صورت کود پایه پیش از شروع کشت به خاک مزرعه افزوده شدند. در مرحله داشت، به‌منظور تنک کردن بوته‌ها و کنترل آفت کک کلزا، در زمان ظهور برگ‌های اولیه کلزا از حشره‌کش ایمیداکلوپرید استفاده شد. همچنین، برای مبارزه با کرم غلاف‌خوار کلزا، حشره‌کش سایپرمترین به کار گرفته شد. این اقدامات جهت حفظ سلامت گیاه و افزایش عملکرد گیاه زراعی انجام شده است. آمار داده‌های هواشناسی که در جدول ۲ ارائه شده است، نشان‌دهنده افزایش میزان بارندگی و ساعات آفتابی در سال دوم نسبت به سال اول است. با این حال، مجموع بارندگی در دوره حساس دانه‌بندی و غلاف‌دهی کمتر از حد بهینه بود که این وضعیت به شرایط اقلیمی منطقه مربوط می‌شود. این کاهش بارندگی در این مراحل رشد گیاه می‌تواند بر عملکرد و کیفیت محصول تأثیرگذار باشد، زیرا که کلزا به آب و هوای معتدل و

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-05]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.1.20637]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.1.20637] [Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-05]

جدول ۲. آمار هواشناسی در طی سال‌های ۱۴۰۴-۱۴۰۲ در منطقه توتکابن رودبار استان گیلان

ماه	دما (درجه سلسیوس)				مجموع بارندگی (میلی‌متر)		مجموع ساعات آفتابی		رطوبتنسبی (درصد)	
	کمینه	بیشینه	کمینه	بیشینه						
	۱۴۰۲-۱۴۰۳		۱۴۰۳-۱۴۰۴		۱۴۰۲-۱۴۰۳	۱۴۰۳-۱۴۰۴	۱۴۰۲-۱۴۰۳	۱۴۰۳-۱۴۰۴	۱۴۰۳-۱۴۰۲	۱۴۰۴-۱۴۰۳
مهر	۱۸/۷	۲۴/۹	۱۴/۹	۲۳/۹	۰	۱۶	۱۶۹/۸	۱۸۰/۳	۶۳/۴	۷۱
آبان	۱۴	۲۳/۸	۱۱/۴	۱۸/۸	۴/۲	۱۹/۵	۱۵۵/۲	۱۱۵/۲	۳۸/۲	۷۰/۱
آذر	۱۰/۳	۱۸/۹	۶/۴۴	۱۴/۹	۸	۹/۵	۱۳۶	۱۲۳/۲	۵۴/۷	۶۴/۶
دی	۶/۴	۱۴/۴	۶/۰۷	۱۵/۸	۵۱/۷	۱/۶	۱۰۵/۹	۱۳۴/۶	۶۴/۱	۶۱/۹
بهمن	۷/۳	۱۴/۷	۲/۳۴	۱۱/۳	۲۷/۶	۷۰	۱۱۷/۹	۱۳۴/۸	۵۹/۱	۶۹/۱
اسفند	۷/۷۶	۱۷/۱	۹/۱۹	۲۰/۱	۳۷/۹	۴۸/۶	۱۴۸/۹	۱۷۷/۸	۶۷/۷	۶۰/۶
فروردین	۱۲/۸	۲۴/۷	۱۳/۹	۲۴/۶	۲۱/۹	۳۳/۶	۲۱۹/۹	۱۵۱	۵۸/۶	۶۲/۶
اردیبهشت	۱۵/۹	۲۵/۲	۱۶/۹	۲۷/۲	۳۹/۴	۱۴/۸	۱۷۸/۷	۲۱۱/۸	۶۹/۲	۶۵/۳
خرداد	۲۲/۲	۳۱/۶	۱۹/۵	۲۹/۳	۱۳/۶	۴	۲۵۰	۲۴۵/۶	۵۹/۸	۵۹/۹

جدول ۳. ضرایب انرژی ورودی‌ها و خروجی‌های انرژی در عملیات مختلف تولید کلزا

اجزاء	واحد	معادل انرژی (مگاژول درهکتار)
ورودی‌ها		
۱- نیروی انسانی	ساعت	۱/۹٦
۲- ماشین‌آلات	کیلوگرم	۱٤۲
۳- سوخت	لیتر	٥٦/۳
٤- کودهای شیمیایی		
۱-٤- نیتروژن	کیلوگرم درهکتار	٦٦/۱
۲-٤- فسفر	کیلوگرم درهکتار	۱۲/٤
۳-٤- پتاسیم	کیلوگرم درهکتار	۱۱/۱
٤-٤- گوگرد	کیلوگرم درهکتار	۳/۱۲
٥-٤- کوددامی	کیلوگرم درهکتار	۰/۳
٥- سموم شیمیایی		
۱-٥- علفکش	لیتر	۸٥
۲-٥- آفتکش	لیتر	۱۹۹
٦- بذر	کیلوگرم درهکتار	۱٤/۷
کل انرژی ورودی	مگاژول درهکتار	
خروجی		
۱- دانه کلزا	کیلوگرم درهکتار	۲۸/۳

نیمه‌خشک نیاز دارد و دوران گلدهی و دانه‌بندی، زمان‌های حساسی برای دریافت آب کافی محسوب می‌شوند.

رقم مورد استفاده در این پژوهش، هایولا ٥۰ بود؛ یک رقم هیبرید با عملکرد بالا که برای کشت در مناطق معتدل و سردسیر مناسب است. هر کرت آزمایش دارای ابعاد ۳ × ٦ متر بود، یک کوادرات یک‌متری برای اندازه‌گیری صفات مختلف از جمله تعداد کل خورجین در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک انتخاب شد. برداشت در تاریخ ۲۰ خردادماه انجام گرفت. همچنین صفات کیفی مانند درصد روغن دانه (با استفاده از دستگاه سوکسله) و درصد پروتئین دانه (با دستگاه کجلدال) در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه گیلان تعیین شد. شاخص‌های انرژی شامل کارایی مصرف انرژی، بهره‌وری انرژی، انرژی ویژه و انرژی خالص نیز محاسبه شدند. تجزیه و تحلیل داده‌ها در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹ انجام شد. مقایسه میانگین‌ها نیز با آزمون توکی در سطح احتمال ٥ درصد به‌منظور تعیین تفاوت‌های معنادار بین تیمارها صورت گرفت. جهت بررسی جریان انرژی و بهینه‌سازی مصرف انرژی در سیستم تولیدی، ابتدا انرژی‌های ورودی و خروجی در مرحله اولیه محاسبه شدند. برای این منظور، از ضرایب انرژی استفاده شد که کلیه ورودی‌ها و خروجی‌های کشاورزی را به معادل انرژی تبدیل می‌کند (۳۱). داده‌ها با ضرب هر انرژی ورودی و خروجی در ضرایب انرژی مربوطه به معادل انرژی تبدیل شدند و محاسبه مقدار انرژی در هر هکتار انجام پذیرفت (جدول ۳). شاخص‌های انرژی، ضرایب

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-05]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.1.20637]

انرژی و انرژی ورودی و خروجی در عملیات مختلف تولید کلزا، در منابع معتبر علمی (۲۱ و ۴۹) به تفصیل بیان شده است.

نتایج و بحث

تعداد خورجین در بوته: نتایج تجزیه واریانس مرکب (جدول ٤) نشان داد که بین اثرات اصلی خاک‌ورزی و تیمار تلفیقی کود بر صفت تعداد کل خورجین در بوته اختلاف معنی‌داری وجود داشت. مقایسه میانگین اثرات اصلی سطوح خاک‌ورزی (جدول ۵) نشان می‌دهد که بیشترین تعداد خورجین در بوته (۲۲۱) مربوط به سیستم خاک‌ورزی متداول است. پژوهش‌های متعددی نشان داده‌اند که سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی شامل خاک‌ورزی متداول، کم‌خاک‌ورزی و بدون خاک‌ورزی به‌طور قابل‌توجهی بر تعداد کل خورجین و در نهایت عملکرد دانه کلزا تأثیرگذار هستند (۳۸). این یافته را می‌توان به شرایط خاص اقلیمی و بافت خاک منطقه مورد مطالعه نسبت داد. در شرایط دیم، استقرار اولیه سریع و نفوذ عمیق ریشه برای دسترسی به رطوبت لایه‌های زیرین حیاتی است. به‌نظر می‌رسد خاک‌ورزی متداول با کاهش جرم مخصوص ظاهری و مقاومت مکانیکی خاک که در سیستم‌های بدون خاک‌ورزی چالش‌برانگیز است، محیط مناسب‌تری را برای توسعه ریشه کلزا فراهم می کند و درنهایت بر عملکرد و اجزای عملکرد تاثیر می‌گذارد. مقایسه میانگین سطوح تغذیه تلفیقی (جدول ۵) نشان داد که تیمار شامل ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن همراه با ۷/۵ تن در هکتار کود دامی، بالاترین تعداد کل خورجین در بوته (۲۰۱) را به خود اختصاص داد. در مقابل، تیمار شاهد کمترین تعداد خورجین را با مقدار ۱٦۱ عدد در بوته نشان داد. کمبود نیتروژن می‌تواند به‌طور مستقیم رشد خورجین را محدود کرده و تعداد خورجین‌ها و دانه‌های تولیدی در هر خورجین را کاهش دهد که این موضوع درنهایت باعث افت عملکرد کلی محصول کلزا می‌شود. استفاده بهینه و تلفیقی از کودهای شیمیایی و آلی ضمن کاهش مصرف نیتروژن، اثرات زیست‌محیطی ناشی از آن را به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌دهد و به‌عنوان راهکاری مؤثر در افزایش بهره‌وری و تحقق کشاورزی پایدار مطرح است (٤٧).

وزن هزاردانه: نتایج تجزیه واریانس مرکب (جدول ٤) نشان داد که بین اثرات اصلی خاک‌ورزی و تیمار تلفیقی کود در صفت وزن هزار دانه اختلاف معناداری وجود داشت. مقایسه میانگین اثرات اصلی سطوح خاک‌ورزی (جدول ۵) بیانگر آن است که بیشترین وزن هزار دانه (٤/٤١ گرم) مربوط به سیستم خاک‌ورزی متداول است. روش‌های مختلف خاک‌ورزی و کوددهی مناسب می‌توانند به‌طور قابل‌توجهی وزن هزار دانه و عملکرد کلی کلزا را افزایش دهند. به‌عنوان نمونه، مطالعات متعددی گزارش کرده‌اند که خاک‌ورزی متداول با بهبود ساختار خاک و افزایش دسترسی به مواد مغذی، باعث تولید وزن هزار دانه بیشتر می‌شود؛ درحالی‌که سیستم بدون خاک‌ورزی به‌دلیل پوشش نامناسب خاک و کاهش تراکم گیاه، منجر به کاهش وزن هزار دانه می‌شود (۱۳). مقایسه میانگین سطوح تغذیه تلفیقی نشان داد که تیمار شامل ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به‌همراه ۷/۵ تن در هکتار کود دامی، بیشترین وزن هزار دانه را با مقدار ٤/۳۲ گرم به‌دست آورد. در مقابل، تیمار شاهد کمترین وزن هزار دانه را با مقدار ۳/۸۵ گرم نشان داد. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که کاربرد مناسب کود نیتروژن می‌تواند وزن هزار دانه کلزا را به‌طور قابل‌توجهی افزایش دهد. به‌عنوان نمونه، مصرف ۹۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار وزن هزار دانه را از ۳/۲۱ به ۳/۸۱ گرم افزایش داده است. این افزایش عملکرد بهبود رشد رویشی و زایشی گیاه را به دنبال دارد و موجب توسعه بهتر اجزای عملکرد کلزا می‌شود (۲۰).

عملکرد دانه: نتایج تجزیه واریانس مرکب (جدول ٤) نشان داد که بین اثرات اصلی خاک‌ورزی و تیمار تغذیه تلفیقی کود در صفت عملکرد دانه اختلاف معنی‌دار وجود داشت. بررسی مقایسه میانگین اثرات اصلی سطوح خاک‌ورزی (جدول ۵) نشان داد که بیشترین عملکرد دانه با مقدار ۱٤۹۰ کیلوگرم در هکتار مربوط به سیستم خاک‌ورزی متداول بوده و کمترین

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-05]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.1.20637]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.1.20637] [Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-05]

جدول ٤. جدول تجزیه واریانس مرکب صفات مختلف کلزا تحت تیمار سطوح خاکورزی و تیمار تلفیقی کود طی سال‌های ١٤٠٤-١٤٠٣

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		تعدادکل‌خورجین	وزن هزاردانه	عملکرد دانه	عملکردبیولوژیک	درصد روغن دانه	درصد پروتئین دانه
سال	١	٨٤٤٧^{ns}	١٥/٠٥*	٣٥٣٠٨^{ns}	٣٥٨٣٨٨٨^{ns}	٦/٢٠*	٤٠/٧*
خطای ١	٤	٣٨٤٠٠	١/٤٤	٣٦٣٣٩٩	١٥٤٥٤٢٣	٠/٣٠	٠/٨٠
خاک‌ورزی	٢	٩٣٧٢٨/٦**	٨/٦٦*	٣٠٨٤٤٢٧**	١٥٦١١٩٧٦**	١٤١**	٩/٥٥*
خاک‌ورزی × سال	٢	٢١٩^{ns}	٢/٨٧^{ns}	٥٧٠^{ns}	٤٥٣٠٩^{ns}	١٣/٢*	١/٣٢^{ns}
خطای ٢a	٨	٤٨٥	١/٠٥	١٨٠٥١	٩٩٩١٠	٠/٥٢	٠/٤٧
تیمار تلفیقی کود	٩	٢٢١٤**	٠/٣١*	٤٨٥٠٤**	٢١٤٦٩٦**	٥/٩٦**	١٧/٢**
تیمارتلفیقی کود × خاک‌ورزی	١٨	٩٢/٦^{ns}	٠/٠٧٣^{ns}	٣٣٥٢/٠٣^{ns}	٢٣٢٣١*	٠/٧٥*	٠/٤٨^{ns}
تیمارتلفیقی کود × سال	٩	٤٥/٤^{ns}	٠/١١^{ns}	١٢٤٦^{ns}	٨٥٢٧^{ns}	١/٥٥**	١/٥١*
تیمارتلفیقی کود×سال×خاک‌ورزی	١٨	٥٢/٣^{ns}	٠/٠٦^{ns}	٢٩٣٨^{ns}	١٠٠٥٣^{ns}	٠/٥٠^{ns}	٠/٤٥^{ns}
خطای ٢b	١٠٨	٧٤/٩	٠/١٤	٣١١٣	١٣٨٧٠	٠/٣٣	٠/٤٤
ضریب تغییرات (درصد)		٤/٧٢	٩/٢٤	٤/٣٤	٤/٣٤	٢/٤٠	٨/٨٣

^{ns}، * و ** : به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

[DOI: 10.47176/jcpp.16.1.20637] [Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-05]

جدول ۵. مقایسه میانگین اثرات اصلی صفات مختلف کلزا تحت تأثیر سطوح متفاوت خاک‌ورزی و تغذیه تلفیقی طی سال‌های ۱۴۰۴-۱۴۰۳

تیمار	تعداد کل خورجین	وزن هزاردانه (گرم)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)	انرژی خالص (کیلوگرم برمگاژول)	درصد روغن دانه		درصد پروتئین دانه	
						سال‌اول	سال‌دوم*	سال‌اول	سال‌دوم
سطوح خاک‌ورزی									
خاک‌ورزی متداول	۲۲۱^{a}	۴/۴۱^{a}	۱۴۹۰^{a}	۳۲۷۷^{a}	۳۵۱۶۹^{a}	۲۶/۲^{a}	–	۷/۵۳^{a}	۸/۳۹^{a}
کم خاک‌ورزی	۱۸۴^{b}	۴/۲۴^{b}	۱۳۱۸^{b}	۲۵۷۸^{b}	۳۰۲۳۸^{b}	۲۴/۳^{b}	–	۶/۷۴^{b}	۸/۰۳^{b}
بدون خاک‌ورزی	۱۴۲^{c}	۳/۶۸^{c}	۱۰۴۱^{c}	۲۲۸۴^{c}	۲۲۳۳۴^{c}	۲۲/۲^{c}	–	۶/۸۴^{b}	۷/۵۵^{C}
سطوح تغذیه تلفیقی									
شاهد	۱۶۱^{f}	۳/۸۵^{b}	۱۱۷۹^{e}	۲۵۹۰^{de}	۲۹۲۷۱^{d}	۲۴/۱$^{b-d}$	–	۵/۴۶^{c}	۵/۵۶^{e}
۵۰کیلوگرم درهکتارنیتروژن	۱۷۳^{e}	۴/۰۱^{ab}	۱۲۲۹^{de}	۲۵۸۶^{de}	۲۷۳۷۱^{ef}	۲۳/۶^{cd}	–	۷/۴۸^{ab}	۷/۹۳^{c}
۱۰۰کیلوگرم درهکتارنیتروژن	۱۸۴$^{b-d}$	۴/۱۴^{ab}	۱۳۱۹^{ab}	۲۷۶۴$^{a-c}$	۲۶۶۱۹^{f}	۲۳/۱^{d}	–	۷/۷۰^{ab}	۸/۷۱ ^{b}
۱۵۰کیلوگرم درهکتارنیتروژن	۱۸۴$^{b-d}$	۴/۱۹^{ab}	۱۳۱۸^{ab}	۲۷۹۷^{ab}	۲۳۲۷۸^{g}	۲۳/۱^{d}	–	۷/۶۲^{ab}	۹/۰۲^{ab}
۵تن درهکتارکوددامی	۱۷۵^{de}	۳/۹۸^{ab}	۱۲۴۳^{cd}	۲۵۵۳^{e}	۳۱۰۸۶ ^{bc}	۲۴/۵$^{a-c}$	–	۶/۶۶ ^{bc}	۶/۸۸^{d}
۱۰تن درهکتارکوددامی	۱۸۵^{bc}	۴/۱۸^{ab}	۱۲۸۹$^{a-c}$	۲۶۹۴$^{b-d}$	۳۲۳۷۹^{ab}	۲۵/۱^{ab}	–	۶/۵۱ ^{bc}	۷/۱۵^{d}
۱۵تن درهکتارکوددامی	۱۹۲^{b}	۴/۱۸^{ab}	۱۳۳۰^{ab}	۲۸۳۱^{a}	۳۳۵۵۶^{a}	۲۵/۷^{a}	–	۶/۵۹ ^{bc}	۷/۸۳^{c}
۲۵کیلوگرمنیتروژن+۲/۵تن‌کوددامی	۱۸۱$^{c-e}$	۴/۱۶^{ab}	۱۲۷۸$^{b-d}$	۲۶۶۹$^{c-e}$	۳۰۴۲۳^{cd}	۲۴/۱$^{b-d}$	–	۶/۶۶ ^{bc}	۸/۱۸^{c}
۵۰کیلوگرمنیتروژن+۵تن‌کوددامی	۱۹۱^{b}	۴/۰۸^{ab}	۱۳۰۵^{ab}	۲۸۱۵^{ab}	۲۹۵۴۵^{cd}	۲۴/۷$^{a-c}$	–	۸/۱۰^{a}	۹/۲۱^{a}
۷۵کیلوگرمنیتروژن+۷/۵تن‌کوددامی	۲۰۱^{a}	۴/۳۲^{a}	۱۳۴۳^{a}	۲۸۳۱^{a}	۲۹۹۴۲^{de}	۲۴/۷$^{a-c}$	–	۷/۶۰^{ab}	۹/۴۳^{a}

درهرستون، حروف مشابه نشان‌دهنده اختلاف غیرمعنی‌دار براساس آزمون توکی درسطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

*میزان روغن در سال دوم در جدول ۸ مقایسه میانگین اثرات برهم‌کنش بیان شده است.

عملکرد دانه با مقدار ۱۰٤۱ کیلوگرم در هکتار مربوط به سیستم بدون خاک‌ورزی بود. پایین بودن عملکرد گیاه در این پژوهش نسبت به متوسط کشوری، ناشی از شرایط دیم با میانگین بارندگی زیر ۲۲۰ میلی‌متر و اقلیم منطقه است، در حالی که استان گیلان به‌عنوان پربارش‌ترین استان کشور، میانگین بارش سالانه حدود ۱۲۰۰ میلی‌متر دارد. افزایش عملکرد دانه در این شرایط به عوامل مختلفی از جمله افزایش عملکرد زیستی، ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و وزن هزار دانه نسبت داده می‌شود (۹). ادغام روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی با استفاده همزمان از کودهای آلی و معدنی می‌تواند ضمن بهینه‌سازی تولید محصول کلزا، سلامت خاک را نیز ارتقا بخشد. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که روش‌های خاک‌ورزی مختلف و استراتژی‌های کوددهی تأثیر قابل‌توجهی بر عملکرد زیستی کلزا و اجزای مرتبط با آن داشتند. سیستم‌های بدون خاک‌ورزی، به‌ویژه، با حفظ بقایای گیاهی در سطح خاک، منجر به افزایش بیوماس میکروبی و فعالیت آنزیمی خاک می‌شوند که این موضوع به بهبود ساختار و حاصلخیزی خاک کمک کرده و پایداری اکوسیستم زراعی را تقویت می‌کند (۲۹). در پژوهش حاضر که کشت کلزا به‌صورت دیم انجام شده است، سیستم خاک‌ورزی متداول نسبت به کم‌خاک‌ورزی و بدون خاک‌ورزی عملکرد بالاتری ارائه داده است. در شرایط دیم، آماده‌سازی عمیق بستر بذر با گاوآهن برگردان‌دار در پاییز، به‌دلیل فراهم کردن تماس مناسب دانه با خاک نرم و کاهش رقابت با علف‌های هرز، اغلب با عملکرد بالاتری همراه است. مجموعه این عوامل باعث می‌شود در شرایط دیم شمال کشور خاک‌ورزی متداول با گاوآهن برگردان‌دار برای کلزا مفید باشد: آماده‌سازی مناسب بستر بذر، کنترل موثر علف‌های هرز، تهویه خوب خاک و تأمین رطوبت و مواد غذایی کافی، همگی در افزایش عملکرد کلزا نقش دارند. این درحالی است که بر اساس پژوهش‌های انجام شده در شرایط کشت آبی کلزا، تفاوت معنی‌داری بین عملکرد کشت متداول و کم‌خاک‌ورزی مشاهده نشده است (۳۸). نتایج پژوهش‌ها نشان داد که تیمارهای تلفیقی کود نسبت به تیمارهای کود شیمیایی و کود دامی به‌طور قابل‌توجهی عملکرد بهتری داشتند. همچنین بین تیمارهای کود شیمیایی و کود دامی در سطوح مشابه، اختلاف معنی‌داری از نظر عملکرد مشاهده نشد. مقایسه میانگین سطوح تغذیه تلفیقی نشان داد که تیمار ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن همراه با ۷/۵ تن در هکتار کود دامی بیشترین عملکرد دانه را با مقدار ۱۳٤۳ کیلوگرم در هکتار به‌دست آورد، درحالی‌که تیمار شاهد کمترین عملکرد دانه را با ۱۱۷۹ کیلوگرم در هکتار نشان داد. این نتایج تأکید می‌کند که استفاده همزمان از کودهای آلی و شیمیایی می‌تواند موجب افزایش عملکرد دانه کلزا شده و به بهبود کیفیت و حاصلخیزی خاک کمک نماید (جدول ۵). پژوهش‌ها نشان داده‌اند که استفاده ترکیبی از کود دامی و کودهای شیمیایی منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد کلزا شده است که در برخی موارد تا ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار رشد عملکرد را به‌همراه داشته است (٤۱). تحقیقات نشان می‌دهد که کاربرد تلفیقی کود دامی و کودهای شیمیایی در مقایسه با استفاده جداگانه از هر یک، تأثیر مثبتی بر سلامت خاک، افزایش جمعیت میکروارگانیسم‌ها و بهبود جذب عناصر غذایی دارد. استفاده همزمان از این نوع کودها سبب بهبود ساختار فیزیکی خاک، افزایش ماده آلی و ظرفیت نگهداری آب در خاک می‌شود و در نتیجه، افزایش بهره‌وری و پایداری اکوسیستم کشاورزی را در طولانی‌مدت به همراه دارد (۵۱). ادغام شیوه‌های خاک‌ورزی حفاظتی با مدیریت بهینه نیتروژن می‌تواند اثرات هم‌افزایی قابل‌توجهی به همراه داشته باشد. به‌عنوان مثال، پژوهشی نشان داد که خاک‌ورزی حفاظتی همراه با بیشینه میزان توصیه‌شده نیتروژن، منجر به بالاترین عملکرد دانه کلزا شده است (۱۵).

عملکرد بیولوژیک: نتایج تجزیه واریانس مرکب (جدول ٤) نشان داد که بین اثر اصلی خاک‌ورزی، تیمار تلفیقی کود و اثر برهم‌کنش تیمار تلفیقی کود × خاک‌ورزی در صفت عملکرد بیولوژیک اختلاف معنی‌داری وجود داشت. همچنین، مقایسه میانگین اثرات اصلی سطوح خاک‌ورزی (جدول ۵) نشان داد که

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-05]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.1.20637]

بیشترین عملکرد بیولوژیک با مقدار ۳۲۷۷ کیلوگرم در هکتار مربوط به سیستم خاک‌ورزی متداول بود. مطالعات متعدد نشان داده‌اند که سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی تأثیر قابل‌توجهی بر عملکرد بیولوژیک کلزا داشتند. معمولاً در سیستم خاک‌ورزی متداول، به‌دلیل تهویه بهتر خاک و معدنی‌شدن سریع‌تر مواد آلی، زیست‌توده گیاهی بیشتری تولید می‌شود (۱۷). مقایسه میانگین سطوح تغذیه تلفیقی نشان داد که تیمار کود دامی به میزان ۱۵ تن در هکتار بیشترین عملکرد بیولوژیک را با مقدار ۲۸۳۱ کیلوگرم در هکتار به‌دست آورد که اختلاف معنی‌داری با تیمار ترکیبی ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به‌همراه ۷/۵ تن در هکتار کود دامی (۲۸۳۱ کیلوگرم در هکتار) نداشت. سطوح مناسب کود آلی برای به حداکثر رساندن عملکرد دانه کلزا بسیار اهمیت دارد. مطالعات نشان می‌دهند که استفاده از کودهای آلی به مقدار مناسب، مانند ۱۵ تن در هکتار کود دامی، می‌تواند به افزایش چشمگیر عملکرد بیولوژیک کلزا منجر شود، به‌طوری‌که در برخی پژوهش‌ها، بیشترین عملکرد بیولوژیک کلزا در تیمارهای کود آلی به مقدار بیش از ٦٦٧٣ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است (۱۸). تحقیقات نشان داده‌اند که استفاده از کود دامی به‌همراه سایر ترکیبات موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه کلزا و همچنین افزایش زیست‌توده قابل برداشت نسبت به تیمار شاهد می‌شود (۳۲).

درصد روغن دانه: نتایج تجزیه واریانس مرکب (جدول ٤) نشان داد که بین اثر اصلی سال، خاک‌ورزی و تیمار تلفیقی کود و اثر برهم‌کنش خاک‌ورزی × سال، تیمار تلفیقی کود × خاک‌ورزی و تیمار تلفیقی کود × سال در صفت درصد روغن دانه اختلاف معنی‌داری وجود داشت. مقایسه میانگین اثرات اصلی سطوح خاک‌ورزی در سال اول (جدول ۵) نشان می‌دهد که بیشترین درصد روغن دانه با مقدار ۲٦/۲ درصد مربوط به سیستم خاک‌ورزی متداول بود. همچنین مقایسه میانگین سطوح تغذیه تلفیقی در سال اول نشان داد که تیمار ۱۵ تن در هکتار کود دامی بیشترین (۲۵/۷ درصد) و تیمار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کمترین (۲۳/۱ درصد) درصد روغن دانه را داشتند. تحقیقات نشان داده‌اند که محتوای روغن در دانه‌های کلزا تولید شده در شرایط خاک‌ورزی متداول بیشترین مقدار را داشت. این یافته‌ها حاکی از مزایای بالقوه این روش خاک‌ورزی در افزایش کیفیت روغن کلزا است (٤۲). مقایسه میانگین اثرات برهم‌کنش در سال دوم نشان می‌دهد سیستم خاک‌ورزی متداول به‌همراه تیمار ۱۵ تن در هکتار کود دامی بیشترین درصد روغن دانه را با مقدار ۲۵/۹ درصد داشت، درحالی‌که سیستم بدون خاک‌ورزی به‌همراه تیمار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتارنیتروژن کمترین درصد روغن دانه را با مقدار ۲۲/٤ درصد دارا بود. رابطه پیچیده میان نیتروژن، عملکرد و محتوای روغن، شامل مکانیسم‌های فیزیولوژیکی و مولکولی است که در بر گیرنده تغییرات در فرآیند فتوسنتز، متابولیسم کربن و نیتروژن، و بیان ژن‌های دخیل در سنتز لیپید و پروتئین هستند (۵۵). مصرف بیش از حد نیتروژن ممکن است اثر منفی بر کیفیت روغن داشته باشد. کاربردهای تقسیم‌شده نیتروژن، نسبت به مصرف یک‌باره، نتایج بهتری در بهره‌وری و کیفیت نهایی محصول دارند (۵۲). مطالعات نشان می‌دهند که بارندگی مطلوب در دوره گل‌دهی، با فراهم آوردن شرایط رشد مناسب، به‌ویژه تأمین رطوبت کافی، منجر به افزایش تراکم خورجین‌ها، تولید ماده خشک و بالا رفتن کیفیت بذر می‌شود که مجموعاً تأثیر مثبتی بر عملکرد نهایی گیاه زراعی دارد (٤۷). در مطالعه حاضر، بر اساس داده‌های هواشناسی منطقه (جدول ۲)، کمبود بارندگی موجب کاهش درصد روغن دانه در دانه‌های کلزا شد. این کاهش احتمالاً به‌ویژه در مراحل حساس رشد گیاه مانند گلدهی و پرشدن غلاف‌ها رخ داده است. این نتایج با یافته‌های گزارش شده در مقالات علمی مطابقت داشت که کمبود آب در دوره‌های گلدهی تا پر شدن غلاف‌ها می‌تواند سطح روغن تولید شده را کاهش دهد (۲٦).

درصد پروتئین دانه: نتایج تجزیه واریانس مرکب (جدول ٤) نشان داد که بین اثر اصلی سال، خاک‌ورزی و تیمار تلفیقی کود و همچنین برهم‌کنش تیمار تلفیقی کود × سال در صفت درصد پروتئین دانه اختلاف معناداری وجود داشت. مقایسه میانگین

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-05]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.1.20637]

اثرات اصلی سطوح خاک‌ورزی (جدول ۵) نشان می‌دهد که بیشترین مقدار درصد پروتئین دانه در سال اول (۷/۵ درصد) و سال دوم (۸/٤ درصد) مربوط به سیستم خاک‌ورزی متداول بوده است. سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی تأثیر قابل‌توجهی بر عملکرد و همچنین میزان درصد پروتئین دانه کلزا داشتند. این یافته‌ها تطابق دارد با این فرض که روش‌های خاک‌ورزی می‌توانند ویژگی‌های فیزیکی و زیستی خاک را بهبود بخشیده و درنتیجه شرایط بهتری را برای تغذیه و رشد گیاه فراهم کنند (١٤) مقایسه میانگین سطوح تغذیه تلفیقی (جدول ۵) نشان می‌دهد که تیمار ۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن + ۵ تن در هکتار کود دامی بیشترین (۸/۱۰ درصد) درصد پروتئین دانه را در سال اول داشت. در سال دوم تیمار ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن + ۷/۵ تن در هکتار کود دامی بالاترین مقدار درصد پروتئین دانه (۹/٤۳ درصد) را داشته که با تیمار ۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن + ۵ تن در هکتار کود دامی اختلاف معنی داری نداشت. رابطه بین کاربرد نیتروژن و محتوای پروتئین دانه کلزا تحت تأثیر واکنش‌های فیزیولوژیکی گیاه به شرایط محیطی است (٣٦). استفاده از نیتروژن نه تنها باعث افزایش زیست توده گیاهان کلزا می‌شود، بلکه بر توزیع مواد مغذی از جمله پروتئین‌ها در گیاه نیز تأثیرگذار است. به‌طور خاص، مصرف نیتروژن منجر به بهبود بیان ژن‌های مرتبط با سنتز پروتئین در گیاه می‌شود که این موضوع افزایش محتوای پروتئین در دانه‌ها را به دنبال دارد (٥٤).

تحلیل انرژی نهاده و ستانده: با توجه به جدول ٦، بیشترین درصد انرژی مصرفی ورودی (۱۹٦۸۵۲ مگاژول در هکتار) در سال اول و دوم مربوط به استفاده از کود نیتروژن بود. همچنین کمترین انرژی مصرفی (۰/٤۰ مگاژول در هکتار) مربوط به کود دامی بود. انرژی خروجی حاصل از دانه کلزا در سال دوم (٤۱۲٤۵ مگاژول در هکتار) بوده که این مقدار نسبت به سال اول (۳۵۹۳۱ مگاژول در هکتار) افزایش یافته است. این افزایش انرژی خروجی به‌دلیل عملکرد بالاتر گیاه زراعی است. در مبحث انرژی، میزان انرژی غیرمستقیم در سال دوم (۳۳٤۳۰۷ مگاژول در هکتار) نسبت به سال اول (۳۱۳۱۱۵ مگاژول در هکتار) افزایش یافته است. مطالعات متعدد نشان می‌دهند که سهم انرژی‌های غیرمستقیم در کل انرژی مصرفی کشاورزی بسیار قابل‌توجه است و با افزایش سطح مکانیزاسیون و بهره‌گیری از فناوری‌های شیمیایی و ماشین‌آلات مدرن، این سهم به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش یافته است (٣٤). مطالعه‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که حتی کاهش مصرف انرژی مستقیم مانند سوخت نمی‌تواند به‌تنهایی منجر به کاهش کلی مصرف انرژی در سیستم‌های کشاورزی شود؛ زیرا افزایش مصرف انرژی غیرمستقیم (شامل انرژی مصرفی برای تولید کود، سموم و ماشین‌آلات) می‌تواند به‌صورت چشمگیری مصرف کلی انرژی را افزایش دهد. به‌همین‌دلیل، برای تحلیل دقیق و جامع بهره‌وری انرژی در کشاورزی، توجه همزمان به هر دو نوع انرژی مستقیم و غیرمستقیم، ضروری است. همچنین، در بسیاری از نظام‌های زراعی، سهم انرژی غیرمستقیم به مراتب بیشتر از انرژی مستقیم است و مصرف انرژی تجدیدناپذیر بسیار بیشتر از انرژی تجدیدپذیر است (۲۱ و ۲۷). این نسبت بالای انرژی‌های تجدیدناپذیر در کل انرژی مصرفی می‌تواند پایداری تولید محصولات کشاورزی، به‌ویژه در مزارع کوچک را به شدت تحت تأثیر منفی قرار دهد. در این راستا، بهره‌گیری مؤثر از منابع انرژی تجدیدپذیر به‌عنوان جایگزینی مناسب برای سوخت‌های فسیلی، راهکاری مهم در کاهش وابستگی به منابع غیرقابل تجدید و کاهش آلودگی زیست‌محیطی محسوب می‌شود (۵۰). کاربرد سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی، با کاهش دفعات و شدت عملیات خاک‌ورزی و استفاده بیشتر از کودهای آلی، می‌تواند به کاهش آبشویی نیترات، تلفات نیتروژن و درنتیجه کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از جمله دی‌اکسید کربن کمک نماید (۲). برای نمونه، سیستم‌های بدون خاک‌ورزی نه تنها سبب کاهش مستقیم انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از فعالیت‌های زراعی می‌شوند، بلکه با تأثیر بر جذب کربن در خاک، می‌توانند انتشار گازهای گلخانه‌ای دیگری نظیر

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-05]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.1.20637]

جدول ٦. معادل انرژی ورودی و خروجی در سیستم های تولید کلزا

اجزاء/واحد	مقدار در واحد سطح (هکتار)		معادل انرژی کل (مگاژول در هکتار)		درصد انرژی کل	
	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم
الف. ورودی						
۱-نیروی انسانی (ساعت)	۲۱/۱	۳۳/۲	٤۱/٤	٦٥/۱	۰	۰
۲- ماشین‌آلات (کیلوگرم)	٦/۱۸	۷/٥	۸۸۳	۱۰۷۱	۰	۰
۳- سوخت (لیتر)	٤/۰۲	۳/۳۹	۲۲٦	۱۹۱	۰	۰
٤- کودهای شیمیایی						
۱-٤- نیتروژن (کیلوگرم درهکتار)	۲۹۷٦	۲۹۷٦	۱۹٦۸٥۲	۱۹٦۸٥۲	٦۳	٥۹
۲-٤- فسفر (کیلوگرم درهکتار)	۱۸٦٦	۱۸٦٦	۲۳۲۱۳	۲۳۲۱۳	۷	۷
۳-٤- پتاسیم (کیلوگرم درهکتار)	۱۱۱٥	۱۱۱٥	۱۲٤۳۲	۱۲٤۳۲	٤	٤
٤-٤- گوگرد (کیلوگرم درهکتار)	۳۱۲	۳۱۲	۹۷۳	۹۷۳	۰	۰
٥-٤- کوددامی (کیلوگرم درهکتار)	۱/۳٥	۱/۳٥	۰/٤۰	۰/٤۰	۰	۰
٥- سموم شیمیایی						
۱-٥- علفکش (لیتر)	۲۱۲	۲۲٦	۱۸۰٦۲	۱۹۲٦٦	٦	٦
۲-٥- آفتکش (لیتر)	۲۹۸	۳۹۸	٥۹٤۰۱	۷۹۲۰۲	۱۹	۲٤
٦- بذر (کیلوگرم درهکتار)	۸۸/۲	۸۸/۲	۱۲۹٦	۱۲۹٦	۱	۰
کل انرژی ورودی (مگاژول درهکتار)			۳۱۳۳۸۳	۳۳٤٥٦٤	۱۰۰	۱۰۰
ب. خروجی						
۱- دانه کلزا (کیلوگرم درهکتار)	۱۲٦۹	۱٤٥۷	۳٥۹۳۱	٤۱۲٤٥	–	–
پ. انرژی						
۱-انرژی مستقیم	–	–	۲٦۸	۲٥٦	۰	۰
۲- انرژی غیرمستقیم	–	–	۳۱۳۱۱٥	۳۳٤۳۰۷	٥۰	٥۰
۳-انرژی های تجدید پذیر (بیولوژیکی)	–	–	۱۳۳۸	۱۳٦۲	۰	۰
٤-انرژی های تجدید ناپذیر (صنعتی)	–	–	۳۱۲۰٤٥	۳۳۳۲۰۲	٥۰	٥۰

اکسید نیتروژن را نیز کاهش دهند (۲۳). با وجود انجام مطالعات متعدد در زمینه تعادل انرژی برای محصولات زراعی مختلف، تحقیقات کمی به بررسی همزمان انرژی مصرفی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید کلزا پرداخته‌اند. به‌عنوان نمونه، در مطالعه‌ای در اسپانیا که با استفاده از ارزیابی چرخه حیات کلزا برای تولید انرژی زیستی انجام شد، مشخص شد که بیشترین اثرات زیست‌محیطی ناشی از مصرف بالای کودهای شیمیایی، به‌ویژه کودهای نیتروژنی است و تخلیه منابع غیرقابل تجدید، مهم‌ترین عامل این اثرات به شمار می‌رود (۱۲).

کارایی مصرف انرژی: نتایج تجزیه واریانس مرکب (جدول ۷) نشان داد که بین اثر اصلی خاک‌ورزی، تیمار تلفیقی کود و برهم‌کنش تیمار تلفیقی کود × خاک‌ورزی در صفت کارایی مصرف انرژی اختلاف معنی‌داری وجود داشت. مقایسه میانگین برهم‌کنش (جدول ۸) نشان داد که بیشترین مقدار کارایی

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-05]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.1.20637]

جدول۷. جدول تجزیه واریانس مرکب صفات مختلف کلزا تحت تیمار سطوح خاکورزی و تیمار تلفیقی کود طی سال‌های ۱۴۰۴-۱۴۰۲

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		کارایی مصرف انرژی	بهره‌وری انرژی	انرژی ویژه	انرژی خالص
سال	۱	۰/۸۲^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۲۳^{ns}	۱۴۰۵۹۶۱۳^{ns}
خطای ۱	٤	۷/۸٦	۰/۰۰۹	۸/۰۷	۲۹۰۹۵٦٦۱۰
خاک‌ورزی	۲	۸۱/۳**	۰/۱۰**	۷۱/۵**	۲۵۱۵۰۱٤۹٤۷**
خاک‌ورزی × سال	۲	۰/۱٤^{ns}	۰/۰۰۰۲^{ns}	۰/۱٤^{ns}	۱۱۰۰۷۳٤^{ns}
خطای ۲a	۸	۰/٤۱	۰/۰۰۰۵	۰/٤۳	۱٤٤٤۳۰۷۳
تیمار تلفیقی کود	۹	۱۰٦**	۰/۱۳**	۱۱۸**	۱۵۸۷٦۵۵٦۷**
تیمارتلفیقی کود × خاک‌ورزی	۱۸	۱/۷۸**	۰/۰۰۲**	۱/۱٦**	۲٦۸٤٦۰۹^{ns}
تیمارتلفیقی کود × سال	۹	۰/۱۳^{ns}	۰/۰۰۰۲^{ns}	۰/۰۵^{ns}	۹۹۸۳۰۷^{ns}
تیمارتلفیقی کود×سال×خاک‌ورزی	۱۸	۰/۰۸^{ns}	۰/۰۰۰۰۹^{ns}	۰/۰٦^{ns}	۲۳۵۳۲۰۵^{ns}
خطای ۲b	۱۰۸	۰/۱۲	۰/۰۰۰۱	۰/۱۳	۲٤۹۳٦۵۹
ضریب تغییرات (درصد)		۵/٦۸	۵/٦۸	٦/۵۸	۵/۳۹

^{ns}، * و ** : به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

مصرف انرژی (۱۰/۸) مربوط به سیستم خاک‌ورزی متداول و تیمار ۱۵ تن در هکتار کود دامی بود. همچنین، کمترین مقدار کارایی مصرف انرژی (۲/۱۷) مربوط به سیستم بدون خاک‌ورزی و تیمار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن بود. عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین سه دسته متمایز در سطوح مختلف کود دامی (همگی با حرف a مشخص شده‌اند) ناشی از پایین بودن محتوای انرژی این نوع کود است. در عین حال، افزایش عملکرد محصول و درنتیجه افزایش انرژی خروجی، باعث ارتقاء کارایی مصرف انرژی شده است. در مقابل، اختلاف معنی‌دار مشاهده شده در دسته‌های مختلف کود نیتروژن به‌دلیل بالا بودن محتوای انرژی این نوع کود بود. بهبود در کارایی مصرف انرژی، کلیدهای مدیریت پایدار انرژی به شمار می‌روند. برای افزایش کارایی انرژی، ورودی انرژی باید بدون تأثیر منفی بر سطح عملکرد محصول یا کاهش بازده تولید، کاهش یابد (٤٤). تجزیه و تحلیل انرژی می‌تواند به بهینه‌سازی سیستم‌های تولید کلزا کمک کرده و شاخص‌های پایداری و عملکرد را بهبود بخشد (۱۱). میزان کود به‌طور قابل‌توجهی بر شاخص‌های کارایی انرژی در هیبریدهای کلزای زمستانی تأثیر گذاشته و نتایج بهتری را به‌همراه دارد (٢٤). در پژوهشی در کشت دیم کلزا، کارایی انرژی ۱/۲۹ گزارش شده است که نشان‌دهنده استفاده مؤثر از انرژی است، هرچند که انرژی‌های تجدیدناپذیر با ۹٤/۵ درصد سهم غالب را در نهاده‌ها داشته‌اند (٤). در این تحقیق مشخص شد که سیستم خاک‌ورزی متداول همراه با تیمار ۱۵ تن در هکتار کود دامی بیشترین کارایی مصرف انرژی را به خود اختصاص داده است. لذا می‌توان در منطقه مورد مطالعه پیشنهاد کرد که با توجه به کشت کلزا به‌صورت دیم، از کود شیمیایی به‌تنهایی استفاده نشود. این نتایج نشان می‌دهد که مصرف بالای نیتروژن در زراعت کلزا باعث کاهش کارایی و بهره‌وری انرژی می‌شود و جهت صرفه‌جویی در مصرف انرژی و نهاده‌های کشاورزی و افزایش کارایی انرژی، باید از تیمارهایی با مقادیر کمتر نیتروژن استفاده کرد.

بهره‌وری انرژی: نتایج تجزیه واریانس مرکب (جدول ۷) نشان داد که بین اثر اصلی خاک‌ورزی، تیمار تلفیقی کود و برهم‌کنش

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-05]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.1.20637]

تیمار تلفیقی کود × خاک‌ورزی در صفت بهره‌وری انرژی اختلاف معناداری وجود داشت. مقایسه میانگین برهم‌کنش (جدول ۸) نشان داد که بیشترین مقدار بهره‌وری انرژی (۰/۳۸ کیلوگرم بر مگاژول) مربوط به سیستم خاک‌ورزی متداول و تیمار ۱۵ تن در هکتار کود دامی بود. این بدین معنی است که به ازای هر واحد انرژی مصرفی، ۰/۳۸ کیلوگرم دانه کلزا تولید می‌شود. بهره‌وری انرژی به‌طور قابل‌توجهی بر عملکرد کلزا تأثیر می‌گذارد و عوامل مختلفی بر آن مؤثر هستند. ارتقاء راندمان عملکرد و تعادل در مصرف نیتروژن از جمله زمینه‌های کلیدی برای افزایش بهره‌وری انرژی کلزا محسوب می‌شوند. بهره‌وری انرژی به‌عنوان یکی از شاخص‌های کلیدی در ارزیابی پایداری کشاورزی، اهمیت ویژه‌ای در تولید کلزا داشت. این شاخص از نسبت عملکرد دانه به انرژی ورودی به‌دست می‌آید و هرچه این نسبت بالاتر باشد، نشان‌دهنده بهره‌وری بالاتر سیستم تولید است (۱۶). با این حال، نوع و میزان مصرف نهاده‌ها، به‌ویژه سوخت، کود نیتروژنی و ماشین‌آلات، تأثیر مستقیمی بر افزایش یا کاهش این شاخص داشت. به‌کارگیری روش‌های کشاورزی پایدار و بهینه‌سازی مصرف انرژی می‌تواند نقش مهمی در بهبود بهره‌وری انرژی در کشت کلزا ایفا کند. پایین بودن مقدار بهره‌وری انرژی در تیمارهای خاک‌ورزی و کوددهی نشان می‌دهد که مقادیر بالای کود نیتروژن سبب کاهش کارایی استفاده از انرژی در تولید کلزا می‌شوند. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که با افزایش نهاده‌های آلی مانند کود دامی، بهره‌وری انرژی افزایش می‌یابد (۲۱). بنابراین پیشنهاد می‌شود که در انتخاب تیمار کود شیمیایی (نیتروژن)، حد بهینه رعایت شود.

انرژی ویژه: نتایج تجزیه واریانس مرکب (جدول ۷) نشان داد که بین اثر اصلی خاک‌ورزی، تیمار تلفیقی کود و برهم‌کنش تیمار تلفیقی کود × خاک‌ورزی در صفت انرژی ویژه اختلاف معنی‌داری وجود داشت. مقایسه میانگین برهم‌کنش (جدول ۸) نشان می‌دهد که بیشترین مقدار انرژی ویژه (۱۳/۱ مگاژول بر کیلوگرم) مربوط به سیستم بدون خاک‌ورزی و تیمار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و کمترین مقدار (۲/۶۵ مگاژول بر کیلوگرم) مربوط به سیستم خاک‌ورزی متداول و تیمار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن بود. این بدان معنی است که به ازای هر واحد انرژی مصرفی، ۱۳/۱ مگاژول بر کیلوگرم دانه کلزا تولید می‌شود. بنابراین، هرچه مقدار انرژی ویژه بیشتر باشد، بیانگر هدررفت بیشتر انرژی است. با توجه به سهم بالای نیتروژن در انرژی ورودی، افزایش انرژی ویژه در تیمارهای با مصرف بالاتر نیتروژن قابل انتظار است. تأثیر مصرف انرژی ویژه بر انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید کلزا بسته به شیوه‌های کشت و عوامل منطقه‌ای متفاوت است. سیستم خاک‌ورزی متداول و مصرف بالای کود نیتروژن منجر به افزایش انرژی ورودی و انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود، درحالی‌که روش‌های بدون خاک‌ورزی و حداقل خاک‌ورزی با مصرف متوسط نیتروژن، کارایی مصرف انرژی را بهبود بخشیده و انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش می‌دهند (۳۷). در مقایسه با سایر محصولات دانه روغنی، کلزا انتشار گازهای گلخانه‌ای متوسطی دارد، به‌طوری که کوددهی نیتروژن تا ۶۸ درصد از کل انتشار گازهای گلخانه‌ای را تشکیل می‌دهد (۴۶). همچنین، در نمونه‌های مورد مطالعه، کمترین انرژی ویژه مربوط به تیمار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژنی بود، که این مقدار نشان‌دهنده کاهش هدررفت انرژی و درنتیجه کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای بود. بنابراین، در انتخاب تیمارهای کودی، حد بهینه باید رعایت شده تا از هدررفت انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای بیشتر جلوگیری شود (جدول۷).

انرژی خالص: نتایج تجزیه واریانس مرکب (جدول ۷) نشان داد که بین اثر اصلی خاک‌ورزی و تیمار تلفیقی کود در صفت انرژی خالص اختلاف معنی‌داری وجود داشت. مقایسه میانگین اثرات اصلی سطوح خاک‌ورزی (جدول ۵) نشان داد که بیشترین انرژی خالص (۳۵۱۶۹ مگاژول بر هکتار) مربوط به سیستم خاک‌ورزی متداول بود. این نتایج بیانگر نقش کلیدی نوع خاک‌ورزی در انرژی خالص و شاخص‌های پایداری زیست‌محیطی در تولید کلزا است. استفاده از روش‌های

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-05]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.1.20637]

جدول ۸ مقایسه میانگین اثرات برهم‌کنش سطوح متفاوت خاک‌ورزی و تغذیه تلفیقی برصفات مختلف کلزا طی سال‌های ۱۴۰۲-۱۴۰۴

سطوح خاک‌ورزی	تغذیه تلفیقی	کارایی مصرف انرژی	بهره‌وری انرژی (کیلوگرم برمگاژول)	انرژی ویژه (مگاژول بر کیلوگرم)	درصدروغن دانه (سال دوم)
خاک‌ورزی متداول	شاهد	۹/۹۴ bc	۰/۳۵ bc	۲/۸۶ o	۲۴/۹ b
	۵۰کیلوگرم‌درهکتارنیتروژن	۵/۵۶ j-k	۰/۱۹ j-l	۵/۱۱ h-k	۲۴/۷ b-d
	۱۰۰کیلوگرم درهکتارنیتروژن	۴/۰۳ n	۰/۱۴ n	۷/۱۰ ef	۲۴/۵ cd
	۱۵۰کیلوگرم درهکتارنیتروژن	۳/۰۷ op	۰/۱۰ op	۹/۲۸ c	۲۴/۹ bc
	۵تن‌درهکتارکوددامی	۱۰/۲ ab	۰/۳۶ ab	۲/۷۸ o	۲۵/۱ b
	۱۰تن‌درهکتارکوددامی	۱۰/۵ ab	۰/۳۷ ab	۲/۷۰ o	۲۵/۱ b
	۱۵تن‌درهکتارکوددامی	۱۰/۸ a	۰/۳۸ a	۲/۶۵ o	۲۵/۹ a
	۲۵کیلوگرم‌نیتروژن+۲/۵تن‌کوددامی	۷/۱۷ fg	۰/۲۵ fg	۳/۹۶ lm	۲۵/۱ b
	۵۰کیلوگرم‌نیتروژن+۵تن‌کوددامی	۵/۷۷ j-k	۰/۲۰ j-l	۴/۹۲ i-k	۲۵/۱ b
	۷۵کیلوگرم‌نیتروژن+۷/۵تن‌کوددامی	۴/۸۸ lm	۰/۱۷ lm	۵/۸۶ gh	۲۴/۹ bc
کم خاک‌ورزی	شاهد	۸/۳۷ e	۰/۲۹ e	۳/۳۹ m-o	۲۳/۷ gh
	۵۰کیلوگرم‌نیتروژن‌خالص	۴/۸۹ lm	۰/۱۷ lm	۵/۸۱ h	۲۳/۶ hi
	۱۰۰کیلوگرم‌نیتروژن‌خالص	۳/۵۶ n-p	۰/۱۲ n-p	۷/۹۴ de	۲۳/۶ g-h
	۱۵۰کیلوگرم‌نیتروژن‌خالص	۲/۷۳ pq	۰/۰۹ pq	۱۰/۴ b	۲۳/۵ ih
	۵تن‌کوددامی	۸/۹۵ de	۰/۳۱ de	۳/۱۷ m-o	۲۳/۷ gh
	۱۰تن‌کوددامی	۸/۹ de	۰/۳۱ de	۳/۱۸ m-o	۲۴/۱ e-g
	۱۵تن‌کوددامی	۹/۳۴ cd	۰/۳۳ cd	۳/۰۴ no	۲۴/۴ de
	۲۵کیلوگرم‌نیتروژن+۲/۵تن‌کوددامی	۶/۵ g-i	۰/۲۲ g-i	۴/۳۶ kl	۲۳/۷ gh
	۵۰کیلوگرم‌نیتروژن+۵تن‌کوددامی	۵/۱۶ kl	۰/۱۸ kl	۵/۵۱ hi	۲۳/۸ f-h
	۷۵کیلوگرم‌نیتروژن+۷/۵تن‌کوددامی	۴/۲۴ mn	۰/۱۵ mn	۶/۷۰ fg	۲۴/۳ d-f
بدون خاک‌ورزی	شاهد	۶/۱۶ h-j	۰/۲۱ h-j	۴/۶۰ j-l	۲۲/۹ jk
	۵۰کیلوگرم‌نیتروژن‌خالص	۳/۶۴ no	۰/۱۲ no	۷/۸۰ de	۲۲/۷ kl
	۱۰۰کیلوگرم‌نیتروژن‌خالص	۲/۸۵ o-q	۰/۱۰ o-q	۱۰/۰ bc	۲۲/۷ kl
	۱۵۰کیلوگرم‌نیتروژن‌خالص	۲/۱۷ q	۰/۰۷ q	۱۳/۱ a	۲۲/۴ l
	۵تن‌کوددامی	۶/۶۳ f-h	۰/۲۳ f-h	۴/۲۷ kl	۲۳/۲ ij
	۱۰تن‌کوددامی	۷/۲۹ fg	۰/۲۵ fg	۳/۹۶ lm	۲۲/۹ jk
	۱۵تن‌کوددامی	۷/۴ f	۰/۲۶ f	۳/۸۷ l-n	۲۳/۹ f-h
	۲۵کیلوگرم‌نیتروژن+۲/۵تن‌کوددامی	۵/۲ kl	۰/۱۸ kl	۵/۴۵ h-j	۲۲/۵ kl
	۵۰کیلوگرم‌نیتروژن+۵تن‌کوددامی	۴/۰۳ n	۰/۱۴ n	۷/۱۰ ef	۲۲/۸ j-l
	۷۵کیلوگرم‌نیتروژن+۷/۵تن‌کوددامی	۳/۴۵ n-p	۰/۱۲ n-p	۸/۲۸ d	۲۲/۶ kl

درهرستون، حروف مشابه نشان‌دهنده اختلاف غیرمعنی‌دار براساس آزمون توکی درسطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-05]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.1.20637]

خاک‌ورزی حفاظتی مانند کاهش خاک‌ورزی و بدون خاک‌ورزی، در مقایسه با روش‌های خاک‌ورزی مرسوم، منجر به کاهش مصرف انرژی ورودی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود (۳۰). از سوی دیگر، انتخاب نوع خاک‌ورزی می‌تواند جنبه‌های اقتصادی تولید را نیز تحت تأثیر قرار دهد، به‌طوری‌که برخی از سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی نشان‌دهنده بهبود کارایی اقتصادی بوده‌اند (۴۳). نتایج مقایسه میانگین سطوح تغذیه تلفیقی (جدول ۵) نشان داد که تیمار ۱۵ تن در هکتار کود دامی بالاترین انرژی خالص (۳۳۵۵۶ مگاژول بر هکتار) و تیمار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن کمترین انرژی خالص (۲۳۲۷۸ مگاژول بر هکتار) را داشت. نتایج ارزیابی انرژی خالص حاکی از آن است که مصرف کودهای شیمیایی و سوخت دیزل از جمله عوامل اصلی در ایجاد تأثیرات زیست‌محیطی سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی هستند (۴۵). بنابراین یافته‌های حاصل از بررسی برهم‌کنش خاکورزی و تیمارهای کودی نشان می‌دهد که سیستم خاک‌ورزی متداول و تیمار ۱۵ تن در هکتار کود دامی بیشترین انرژی خالص را دارا بود. به‌طور کلی، انتخاب سیستم خاک‌ورزی باید بر اساس نیازهای گیاه، ویژگی‌های خاک و شرایط اقلیمی انجام شود تا بهره‌وری انرژی و پایداری زیست‌محیطی افزایش یابد. همچنین بر اساس نتایج، استفاده از کودهای آلی به‌ویژه کود دامی در این منطقه توصیه می‌شود.

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش، تأثیر برهم‌کنش نوع سیستم خاک‌ورزی و نوع و میزان تغذیه گیاهی (شامل کود نیتروژن، کود دامی و ترکیب تلفیقی آن‌ها) بر عملکرد زراعی، کیفیت محصول، شاخص‌های بهره‌وری انرژی و پایداری زیست‌محیطی کشت کلزا به‌صورت جامع بررسی شد. یافته‌های این پژوهش نشان داد که نوع سیستم خاک‌ورزی و نوع و میزان تغذیه گیاهی (نیتروژن، دامی و تلفیقی) تأثیر معناداری بر عملکرد دانه، درصد روغن، شاخص‌های بهره‌وری انرژی و پایداری زیست‌محیطی کلزا داشت. در سیستم خاک‌ورزی متداول و تیمار تلفیقی ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن همراه با ۷/۵ تن در هکتار کود دامی، بالاترین عملکرد دانه و تیمار تلفیقی ۱۵ تن در هکتار کود دامی بالاترین شاخص‌های مثبت انرژی را به‌همراه داشت. همچنین، نتایج نشان داد که با افزایش نیتروژن مصرفی در تیمارهای تلفیقی، میزان عملکرد دانه و محتوای پروتئین افزایش یافت، ولی درصد روغن کاهش یافت. تیمارهای مبتنی بر کود دامی، به‌ویژه در سیستم خاک‌ورزی متداول، کارایی انرژی بالاتری نسبت به سایر تیمارها داشتند. این موضوع نشان می‌دهد که استفاده از منابع تغذیه‌ای آلی می‌تواند در کاهش مصرف انرژی‌های فسیلی و افزایش بهره‌وری کلی نقش مؤثری ایفا کند. از دیگر نتایج مهم، تفاوت معنی‌دار بین روش‌های خاک‌ورزی در شاخص انرژی خالص بود. این تفاوت بیانگر آن است که انتخاب صحیح روش خاک‌ورزی می‌تواند به‌طور مستقیم بر میزان انرژی مصرفی و خروجی تأثیر گذاشته و درنهایت به کاهش آثار منفی زیست‌محیطی منجر شود. کاربرد روش‌های کم‌خاک‌ورزی و کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی، در کنار استفاده هدفمند و اصولی از کودهای آلی، می‌تواند به کاهش اتلاف نیتروژن، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و بهبود پایداری بلند مدت تولید کلزا کمک کند. این رویکردها نه‌تنها از منظر زیست‌محیطی بلکه از نظر اقتصادی نیز می‌توانند برای کشاورزان مقرون‌به‌صرفه و سودآور باشند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از معاونت پژوهشی دانشگاه گیلان جهت حمایت از این طرح و اجرای این پژوهش نهایت تشکر و قدردانی را می‌نمایند.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-05]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.1.20637]

منابع

1. Al-Barrak, K. M. 2006. Irrigation interval and nitrogen level effects on growth and yield of canola (*Brassica napus* L.). *Scientific Journal of King Faisal University* 7(1): 87-102.
2. Almaraz, J. J., X. Zhou, F. Mabood, C. Madramootoo, P. Rochette, B. L. Ma and D. L. Smith. 2009. Greenhouse gas fluxes associated with soybean production under two tillage systems in southwestern Quebec. *Soil and Tillage Research* 104(1): 134-139.
3. Alvarez, R. and H. S. Steinbach. 2009. A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas. *Soil and Tillage Research* 104(1): 1-15.
4. Azarpour, E. 2012. Evaluation energy balance of canola production under rain fed farming in north of Iran. *Journal of Agricultural and Biological Science* 7: 285-288.
5. Azizi. M., A. Soltani and S. Khavari Khorasani. 1999. Canola (Physiology, Agriculture, Breeding, Biotechnology), *Mashhad Academic Jihad Publications*. Mashhad. (In Farsi).
6. Behera, B., S. K. Singdevsachan, R. Mishra, S. Dutta and H. Thatoi. 2014. Diversity, mechanism and biotechnology of phosphate solubilising microorganism in mangrovea review. *Biocatalysis andAgricultural Biotechnology* 3(2): 97-110.
7. Davoodi, M. S. and E. Houshyar. 2009. Energy consumption of canola and sunflower production in Iran. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science* 6(4): 381-384.
8. Dos Santos Vieira, A., A. Doyle, R. Q. Aucelio and N. A. Rey. 2017. A study of canola degradation mediated by CuO. *Journal of environmental chemical engineering* 5(4): 3766-3772.
9. Elewa, T., B. Mekki, B. Bakry and M. El-Kramany. 2014. "Evaluation of some introduced canola (*Brassica napus* L.) varieties under different nitrogen fertilizer levels in newly reclaimed sandy soil. *Middle East Journal of Scientific Research* 21(5): 746-755.
10. Eskin, N. 2015. Rapeseed Oil/Canola, Encyclopedia of Food and Health. Elsevier, Cambridge.
11. Esmaeilpour-Troujeni, M., A. Rohani and M. Khojastehpour. 2021. Optimization of rapeseed production using exergy analysis methodology. *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 43: 100959.
12. Gasol, C. M., X. Gabarrell, A. Anton, M. Rigola, J. Carrasco, P. Ciria, M. Solano and J. Rieradevall. 2007. Life cycle assessment of a *Brassica carinata* bioenergy cropping system in southern Europe. *Biomass and Bioenergy* 31(8): 543-555.
13. Gholami, A., H. Asgari and E. Zeinali. 2014. Effect of different tillage systems on soil physical properties and yield of wheat (Case study: Agricultural lands of Hakim Abad village, Chenaran township, Khorasan Razavi province). *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research* 2(5): 1539-1552.
14. Horga, V. A., S. Vlăduț-Ionuț, D. L. Suciu, I. B. Hulujan, T. Florian, A. D. Costin and R. Teodor. 2023. Research of the Influence of Agrophytotehnical Works on Rapeseed Production Parameters. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Agriculture* 80(2): 15-20.
15. Imani, R., M. Samdeliri and A. M. Mirkalaei. 2022. The effect of different tillage methods and nitrogen chemical fertilizer on quantitative and qualitative characteristics of corn. *International Journal of Analytical Chemistry* 1: 17550079.
16. Jankowski, K. J., W. S. Budzyński and Ł. Kijewski. 2015. An analysis of energy efficiency in the production of oilseed crops of the family Brassicaceae in Poland. *Energy*: 81: 674-681.
17. Jankowski, K. J., M. Sokólski, A. Szatkowski and D. Załuski. 2024. The effects of tillage systems on the management of agronomic factors in winter oilseed rape cultivation: A case study in North-Eastern Poland. *Agronomy* 14(3): 437.
18. Javaheri, M., A. H. Shiranirad, J. Daneshian, E. Amiri and S. Saifzadeh. 2014. Evaluation of chemical and organic nitrogen sources on yield and yield component of canola (*Brassica napus*L.) cultivars. *International Journal of Biosciences (IJB)* 5(6): 47-54.
19. Khan, S., S. Anwar, J. Kuai, S. Ullah, S. Fahad and G. Zhou. 2017. Optimization of nitrogen rate and planting density for improving yield, nitrogen use efficiency, and lodging resistance in oilseed rape. *Frontiers in Plant Science* 8: 532.
20. Khan, S., A. Shah, M. Nawaz and M. Khan. 2017. Impact of different tillage practices on soil physical properties, nitrate leaching and yield attributes of maize (*Zea mays* L.). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 17(1): 240-252.
21. Khoshhal-Zolpirani, F., M. Majidian, N. Banaeian and A. Saburi. 2024. Coupling life cycle audition and operation research methods to achieve sustainable rapeseed production system. *Environment, Development and Sustainability* 6: 1-25.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-05]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.1.20637]

22. Liang, L., B. G. Ridoutt, R. Lal, D. Wang, W. Wu, P. Peng, S. Hang, L. Wang and G. Zhao. 2019. Nitrogen footprint and nitrogen use efficiency of greenhouse tomato production in North China. *Journal of Cleaner Production* 208: 285-296.
23. Malhi, S. and R. Lemke. 2007. Tillage, crop residue and N fertilizer effects on crop yield, nutrient uptake, soil quality and nitrous oxide gas emissions in a second 4-yr rotation cycle. *Soil and Tillage Research* 96(1-2): 269-283.
24. Matsera, O. 2019. Energy efficiency of winter rapeseed cultivation depending on the technology elements. *Feeds and Feed Production* 87: 87-92.
25. Mazhari, M. and Kh. Parsapour. 2015. Factors Influencing the Adoption of Rapeseed Cultivation (Case Study of Khorasan Razavi Province). *Journal of Agricultural Economics and Development* 25(4): 410-419.
26. Mehmood, K., S. Nasreen, A. Latif and A. N. Shah. 2021. A review on the growth, yield and oil contents of Brassica under rainfed conditions. *Review of Agricultural and Environmental Studies-Revue d'Etudes en Agriculture et Environnement (RAEStud)* 4(1): 1-7.
27. Mobtaker, H. G., A. Akram and A. Keyhani. 2012. Energy use and sensitivity analysis of energy inputs for alfalfa production in Iran. *Energy for sustainable development* 16(1): 84-89.
28. Mohammadi, A., A. Tabatabaeefar, S. Shahin, S. Rafiee and A. Keyhani. 2008. Energy use and economical analysis of potato production in Iran a case study: Ardabil province. *Energy Conversion and Management* 49(12): 3566-3570.
29. Mohammadi, K., G. Heidari, M. T. K. Nezhad, S. Ghamari and Y. Sohrabi. 2012. Contrasting soil microbial responses to fertilization and tillage systems in canola rhizosphere. *Saudi Journal of Biological Sciences* 19(3): 377-383.
30. Moitzi, G., R. W. Neugschwandtner, H. P. Kaul and H. Wagentristl. 2021. Effect of tillage systems on energy input and energy efficiency for sugar beet and soybean under Pannonian climate conditions. *Plant, Soil & Environment* 67(3): 137-146.
31. Mousavi-Avval, S. H., S. Rafiee, A. Jafari and A. Mohammadi. 2011. Improving energy use efficiency of canola production using data envelopment analysis (DEA) approach. *Energy* 36(5): 2765-2772.
32. Muhammad, H., M. Ijaz, A. Sattar, S. Ul-Allah, A. Sher, M. Asif, M. Dilshad, K. Mahmood, M. W. Riaz, and M. S. Zaheer. 2025. Synergistic effects of PGPRs and fertilizer amendments on improving the yield and productivity of Canola (*Brassica napus* L.). *BMC Plant Biology* 25(1): 50.
33. Muñoz-Romero, V., L. Lopez-Bellido and R. J. Lopez-Bellido. 2015. Effect of tillage system on soil temperature in a rainfed Mediterranean Vertisol. *International Agrophysics* 29(4): 467-473.
34. Ozkan, B., H. Akcaoz and C. Fert. 2004. Energy input–output analysis in Turkish agriculture. *Renewable Energy* 29(1): 39-51.
35. Pittelkow, C. M., M. A. Adviento-Borbe, C. van Kessel, J. E. Hill and B. A. Linquist. 2014. Optimizing rice yields while minimizing yield-scaled global warming potential. *Global Change Biology* 20(5): 1382-1393.
36. Poisson, E., J. Trouverie, S. Brunel-Muguet, Y. Akmouche, C. Pontet, X. Pinochet and J. C. Avice. 2019. Seed yield components and seed quality of oilseed rape are impacted by sulfur fertilization and its interactions with nitrogen fertilization. *Frontiers in Plant Science* 10: 458.
37. Rabiee, M., M. Majidian, M. R. Alizadeh and M. Kavoosi. 2021. Evaluation of energy use efficiency and greenhouse gas emission in rapeseed (*Brassica napus* L.) production in paddy fields of Guilan province of Iran. *Energy* 217: 119411.
38. Rabiee, M., M. Majidian and M. Kavoosi. 1400. The effect of tillage systems, planting methods and nitrogen amounts on the performance of rapeseed (*Brassica napus* L.) and some soil properties in paddy fields. *Agricultural Knowledge and Sustainable Production* 31(1): 221-237. (In Farsi).
39. Riar, A., G. Gill and G. McDonald. 2020. Different post-sowing nitrogen management approaches required to improve nitrogen and water use efficiency of canola and mustard. *Frontiers in Plant Science* 11: 1111.
40. Salem, H. M., C. Valero, M. Á. Muñoz, M. G. Rodríguez and L. L. Silva. 2015. Short-term effects of four tillage practices on soil physical properties, soil water potential, and maize yield. *Geoderma* 237: 60-70.
41. Shrestha, G., B. R. Baral and R. D. Chaudhary. 2021. Rapeseed yield in a maize–rapeseed cropping pattern over a long-term nutrient management experiment. *Journal of Nepal Agricultural Research Council* 7: 30-43.
42. Sokólski, M., D. Załuski, A. Szatkowski and K. J. Jankowski. 2023. Winter oilseed rape: Agronomic management in different tillage systems and seed quality. *Agronomy* 13(2): 524.
43. Sun, J., Z. Wang, Y. Du, E. Zhang, H. Gan, D. Sun and W. Niu. 2022. Optimized tillage improves yield and energy efficiency while reducing carbon footprint in winter wheat-summer maize rotation systems. *Science of the Total Environment* 820: 153278.
44. Torki-Harchegani, M., R. Ebrahimi and M. Mahmoodi-Eshkaftaki. 2015. Almond production in Iran: an analysis of energy use efficiency (2008–2011). *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 41: 217-224.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-05]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.1.20637]

45. Vatsanidou, A., C. Kavalaris, S. Fountas, N. Katsoulas and T. Gemtos. 2020. A life cycle assessment of biomass production from energy crops in crop rotation using different tillage system. *Sustainability* 12(17): 6978.
46. Vlachos, C., N. Mariolis and G. Skaracis. 2014. A comparative greenhouse gas emission analysis of oilseed crops for biodiesel production in Greece. *The Journal of Agricultural Science* 152(2): 263-273.
47. Weymann, W., U. Böttcher, K. Sieling and H. Kage. 2015. Effects of weather conditions during different growth phases on yield formation of winter oilseed rape. *Field Crops Research* 173: 41-48.
48. Xu, G., S. Shen, Y. Zhang, D. R. Clements, S. Yang, L. Wen, F. Zhang and L. Dong. 2022. Effects of various nitrogen regimes on the ability of rapeseed (*Brassica napus* L.) to suppress littleseed canarygrass (*Phalaris minor* Retz.). *Agronomy* 12(3): 713.
49. Yahbi, M., A. Nabloussi, A. Maataoui, N. El Alami, A. Boutagayout and K. Daoui. 2022. Effects of nitrogen rates on yield, yield components, and other related attributes of different rapeseed (*Brassica napus* L.) varieties. *Oilseeds and fats, Crops and Lipids* 29: 8.
50. Yousefi, M., A. M. Damghani and M. Khoramivafa. 2014. Energy consumption, greenhouse gas emissions and assessment of sustainability index in corn agroecosystems of Iran. *Science of The Total Environment* 493: 330-335.
51. Zangeneh, M., M. Omid and A. Akram. 2010. A comparative study onenergy use and cost analysis of potato production under different farming technologies in Hamadan province of Iran. *Energy* 35(7): 2927-2933.
52. Zapletalová, A., L. Ducsay, L. Varga, J. Sitkey, S. Javoreková and P. Hozlár. 2021. Influence of nitrogen nutrition on fatty acids in oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Plants* 11(1): 44.
53. Zhao, J., T. Ni, J. Li, Q. Lu, Z. Fang, Q. Huang, R. Zhang, R. Li, B. Shen and Q. Shen. 2016. Effects of organic–inorganic compound fertilizer with reduced chemical fertilizer application on crop yields, soil biological activity and bacterial community structure in a rice–wheat cropping system. *Applied Soil Ecology* 99: 1-12.
54. Zhao, Z., C. Zhang, J. Zhang, C. Liu and Q. Wu. 2019. Effects of substituting manure for fertilizer on aggregation and aggregate associated carbon and nitrogen in a Vertisol. *Agronomy Journal* 111(1): 368-377.
55. Zhu, J., W. Dai, B. Chen, G. Cai, X. Wu and G. Yan. 2023. Research progress on the effect of nitrogen on rapeseed between seed yield and oil content and its regulation mechanism. *International Journal of Molecular Science*s 24(19): 14504.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-05]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.1.20637]