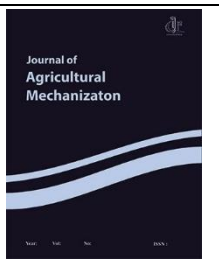
J. Agric. Mech., 11 (2):15-27 (2026)

UNIVERSITY OF TABRIZ

Journal of
Agricultural Mechanization

Online ISSN: 2717-4107
Journal homepage: https://jam.tabrizu.ac.ir/?lang=en



Original Article

Optimization, Sensitivity Analysis, and Global Warming Potential Assessment of the Canola Production System in Mehran County

Hamidreza Shirkhani[1], Amir Azizpanah[1]*, Kamran Kheyralipour[1], Aziz Marasali[2]

1-Department of Biosystems, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran.
2-Department of Economics, Faculty of Humanities, Ilam University, Ilam, Iran.

ARTICLE INFO

Keywords:
Canola,
Data Envelopment Analysis,
Energy,
Economic Analysis,
Global Warming

Received:
2026-04-29

Revised:
2026-08-15

Accepted:
2026-08-15

***Corresponding Author**
a.azizpanah@ilam.ac.ir

ABSTRACT

Efficient energy management and reduction of environmental impacts are essential for sustainable agricultural production. This study aimed to optimize energy consumption, evaluate economic performance, and assess greenhouse gas emissions and global warming potential (GWP) of the canola production system in Mehran County. Data were collected through questionnaires and face-to-face interviews with farmers, and all inputs and outputs were converted into energy equivalents. Energy indices and economic indicators were calculated, and the Cobb–Douglas production function was applied to analyze input sensitivity. Technical, pure technical, and scale efficiencies were estimated using Data Envelopment Analysis (DEA). Results showed that diesel fuel and electricity were the main contributors to greenhouse gas emissions. Input optimization reduced CO_2, N_2O, and CH_4 emissions and significantly decreased GWP, while improving energy efficiency, economic viability, and overall sustainability of the production system.

Introduction

Canola (Brassica napus L.) is an important oilseed crop widely used for edible oil production, animal feed, and industrial applications. Expansion of canola cultivation has increased the consumption of energy-intensive inputs such as fossil fuels, chemical fertilizers, electricity, and agricultural machinery. Although these inputs improve yield, their excessive use raises production costs and intensifies environmental impacts, particularly greenhouse gas emissions and global warming potential. Evaluating energy consumption patterns and improving input efficiency are therefore essential for enhancing productivity and long-term sustainability. The Cobb–Douglas production function is commonly used to analyze input–output relationships and returns to scale, while Data Envelopment Analysis (DEA) provides an effective tool for measuring technical efficiency and identifying input-saving potentials. In addition, assessing greenhouse gas emissions associated with agricultural inputs is critical for mitigating climate change. Accordingly, this study integrates energy, economic, efficiency, and environmental analyses to evaluate and optimize the canola production system in Mehran County.

Materials and Methods

Data were collected from 32 canola-producing farmers in Mehran County using questionnaires and face-to-face interviews. Quantities of all inputs and outputs were converted into energy equivalents based on standard coefficients. Energy indices, including energy efficiency, energy productivity, energy intensity, and net energy, were calculated to assess system performance and resource use efficiency.

How to cite:
Shirkhani, H., Azizpanah, A., Kheyralipour, K. and Marasali, A. (2026). *Optimization, Sensitivity Analysis, and Global Warming Potential Assessment of the Canola Production System in Mehran County.* Journal of Agricultural Mechanization, 11 (2):15-27.
https://doi.org/10.22034/jam.2026.72153.1361

This is an open-access article under the CC BY NC license
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

OPEN ACCESS

Economic indicators such as total production cost, gross income, net profit, and benefit-to-cost ratio were estimated to evaluate economic viability. Sensitivity analysis and the Cobb–Douglas production function were employed to determine the contribution and elasticity of different inputs to crop yield. Technical efficiency, pure technical efficiency, and scale efficiency were estimated using Data Envelopment Analysis (DEA) under constant and variable returns to scale. Greenhouse gas emissions (CO_2, N_2O, and CH_4) related to fuel, fertilizer, and electricity consumption were calculated, and global warming potential (GWP) was estimated to assess the environmental effects of input optimization.

Results and Discussion

The results indicated that diesel fuel and electricity consumption accounted for the largest share of greenhouse gas emissions and global warming potential in the canola production system. Optimization of input use, particularly through reducing excessive labor, nitrogen fertilizer, and electricity consumption and improving diesel fuel and phosphorus fertilizer management, led to a substantial reduction in CO_2, N_2O, and CH_4 emissions. Consequently, the GWP of the production system decreased significantly, demonstrating the effectiveness of targeted energy management strategies. DEA results revealed that a considerable number of farms operated below the efficiency frontier due to technical or scale inefficiencies. Adjusting input use enabled these farms to achieve optimal efficiency levels and resulted in potential energy savings of approximately 15–35% without reducing yield. These findings confirm that efficiency improvement can simultaneously enhance economic performance and environmental sustainability.

Conclusion

This study evaluated energy consumption, economic performance, and environmental impacts of the canola production system in Mehran County. Diesel fuel and electricity were identified as the major contributors to greenhouse gas emissions and global warming potential, emphasizing the importance of managing energy-intensive inputs. Optimizing input use specially reducing excessive labor, nitrogen fertilizer, and electricity consumption while improving diesel fuel and phosphorus fertilizer management significantly reduced CO_2, N_2O, and CH_4 emissions and lowered GWP. DEA results showed that many farms were technically or scale inefficient, and appropriate input adjustments could save 15–35% of energy without compromising yield. Sensitivity analysis using the Cobb–Douglas production function further confirmed the overuse of some inputs and the potential for yield improvement through optimal input allocation. Overall, integrating energy, economic, efficiency, and environmental analyses provides a practical and robust framework for improving the sustainability of mechanized canola production systems.

نشریه
مکانیزاسیون کشاورزی
شاپا الکترونیکی: 2717-4107
درگاه نشریه: https://jam.tabrizu.ac.ir



مقاله پژوهشی

بهینه‌سازی، تحلیل حساسیت و ارزیابی پتانسیل گرمایش جهانی سامانه تولید کلزا در شهرستان مهران

حمیدرضا شیرخانی[1]، امیر عزیزپناه[1*]، کامران خیرعلی‌پور[1]، عزیزمراسلی[2]

تاریخ دریافت:۱۴۰۵/۰۲/۰۹ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۵/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۲۴

۱-گروه مهندسی بیوسیستم- دانشکده کشاورزی - دانشگاه ایلام - ایلام – ایران
۲-گروه اقتصاد- دانشکده علوم انسانی - دانشگاه ایلام - ایلام – ایران

* نویسنده مسئول: E-mail:a.azizpanah@ilam.ac.ir

چکیده

استفاده مؤثر و کارآمد از انرژی در سامانه‌های تولید محصولات کشاورزی یکی از ارکان اساسی دستیابی به کشاورزی پایدار و کاهش پیامدهای زیست‌محیطی محسوب می‌شود. هدف از این پژوهش، تحلیل مصرف انرژی، تحلیل حساسیت، بهینه‌سازی نهاده‌ها و بررسی آلایندگی‌های زیست‌محیطی سامانه تولید کلزا در شهرستان مهران بود. داده‌های مورد نیاز از طریق تکمیل پرسش‌نامه و مصاحبه حضوری با کشاورزان منطقه جمع‌آوری شد و مقادیر نهاده‌ها و ستانده‌ها به معادل انرژی تبدیل گردید. شاخص‌های انرژی شامل کارایی، بهره‌وری، شدت و انرژی خالص محاسبه شد، نتایج نشان داد کارایی و بهره‌وری انرژی به ترتیب برابر با ۱/۰۹ و ۰/۰۴ کیلوگرم بر مگاژول است. نتایج تحلیل حساسیت با استفاده از تابع تولید کاب–داگلاس نشان داد نهاده‌های ماشین‌آلات، سوخت دیزل، کود فسفر، آب آبیاری، سموم شیمیایی و بذر بر عملکرد محصول تأثیر مثبت و نهاده‌های نیروی انسانی، کود نیتروژن و الکتریسیته تأثیر منفی دارند. نتایج تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) در شرایط بازگشت به مقیاس ثابت و متغیر نشان داد میانگین کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس به ترتیب ۸۷/۴۵، ۹۶/۲۳ و ۹۰/۷۵ درصد است که بیانگر وجود ناکارایی فنی و مقیاس در بخش قابل توجهی از مزارع می‌باشد. همچنین مصرف نهاده‌های سوخت دیزل با ۱۶۰۵/۲۴ مگاژول در هکتار بیشترین و کود فسفر با ۱۳/۱۱ مگاژول در هکتار کمترین میزان مازاد مصرف را جهت بهینه‌سازی نهاده‌ها به خود اختصاص داده‌اند. بررسی انتشار گازهای گلخانه‌ای نشان داد مصرف الکتریسیته و سوخت دیزل به ترتیب در شرایط مرسوم ۴۷۴۹/۲۱ و ۷۰۶/۱۶ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن در هکتار بوده که پس از بهینه‌سازی مصرف نهاده‌ها این مقادیر به ترتیب به ۴۳۹۲/۴۴ و ۵۸۸/۲۵ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن در هکتار کاهش یافت. نتایج نشان می‌دهد بهینه‌سازی مصرف نهاده‌ها علاوه بر بهبود کارایی انرژی و اقتصادی، نقش مؤثری در کاهش آلایندگی‌های زیست‌محیطی و پتانسیل گرمایش جهانی سامانه تولید کلزا دارد.

کلمات کلیدی: انرژی، بهره‌وری، ذرت دانه‌ای،کارایی

This is an open-access article under the CC BY NC license
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

۱- مقدمه

کلزا یکی از مهم‌ترین گیاهان روغنی دنیا محسوب می‌شود. به علت کاربردهای فراوان در تغذیه انسان، دام، طیور و صنایع روغن‌کشی از جایگاه ویژه‌ای در بین محصولات کشاورزی برخوردار می‌باشد. دانه کلزا حاوی ۴۶ درصد روغن و دارای مقدار کمی کلسترول که برای سلامتی انسان بسیار مفید می‌باشد (Babaeian et al., 2021). از روغن کلزا که سرشار از ویتامین‌ها و موادمعدنی می‌باشد و به دلیل اسیدهای چرب غیراشباع بالا و وجود پروتئین بعنوان یکی از سالمترین روغن‌های خانگی استفاده می‌شود(Fridrihsone et al., 2020). پژوهشگران به مطالعه تولید کلزا در خوزستان پرداختند و گزارش نمودند که مهم‌ترین انرژی‌های ورودی برای تولید کلزا، سوخت دیزلی و کودهای شیمیایی بود (Monjazi & Zaki Dizaji, 2012). پارامترهای تابع کاب-داگلاس، ضرایب کشش نهاده‌های تولید را نشان می‌دهند و ضرورت مصرف نهاده را به خوبی نشان می‌دهد(Sharifi, 2018). در تحقیقی محققین به بررسی تحلیل حساسیت تولید بادام‌زمینی با استفاده از تابع تولید کاب-داگلاس پرداختند و گزارش نمودند ضرایب رگرسیونی برای کودهای شیمیایی و بذر به ترتیب ۴/۴۱ و ۳/۸- بود؛ یعنی با هر ٪۱ تغییر در هزینه کود شیمیایی، درآمد ۴.۴۱٪ افزایش می‌یابد و با ٪۱ تغییر در هزینه بذر، درآمد ۳/۸٪ کاهش پیدا می‌کند -Nabavi (Pelesaraei et al., 2014). تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) یکی از روش‌های معتبر و کاربردی برای سنجش کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده است که بدون نیاز به شکل خاصی از تابع تولید، عملکرد واحدها را بر اساس نسبت داده‌ها به ستاده‌ها ارزیابی می‌کند. اهمیت این روش در پژوهش‌های کشاورزی، صنعتی و خدماتی به دلیل ویژگی‌های مهم آن روزبه‌روز افزایش یافته است (Rastegar et al., 2020). نخست آن که DEA امکان مقایسه کارایی واحدهایی با نهاده‌ها و ستاده‌های متعدد را فراهم می‌کند، موضوعی که در روش‌های سنتی ارزیابی کارایی به سادگی امکان‌پذیر نیست و این روش قادر است کارایی نسبی واحدها را بدون نیاز به اطلاعات قیمتی و تنها با تکیه بر مقادیر کمی نهاده و ستاده محاسبه کند. (Khoshnevisan *et al*., 2013). از دیگر مزایای DEA ارائه الگوهای بهینه و نقاط مرجع است که نشان می‌دهد هر واحد برای رسیدن به مرز کارایی چه تغییراتی باید در مصرف نهاده‌ها یا افزایش خروجی‌ها ایجاد کند. به همین دلیل، این روش علاوه بر سنجش کارایی، نقش مهمی در ارائه پیشنهادهای کاربردی برای بهبود مدیریت منابع دارد(Payandeh *et al*., 2021). در تحقیقی پژوهشگران به ارزیابی پتانسیل کاهش گازهای گلخانه‌ای کشاورزی به روش DEA پرداختند و گزارش نمودند با بهینه سازی مصرف نهاده‌ها می‌توان سالانه ۰/۷۴ گیگاتن معادل CO_2 از انتشارات گازهای گلخانه‌ای در بخش کشاورزی در مناطق مورد مطالعه جلوگیری نمود (Czyżewski & Kryszak, 2025). مصرف زیاد نهاده‌ها برای تولید کلزا به عنوان یکی از مهم‌ترین گیاهان روغنی در بخش کشاورزی از اهمیت بالایی برخوردارمی‌باشد، بنابراین تولید این محصول وابستگی زیادی به مصرف نهاده‌ها و انرژی‌های ورودی دارد. هدف از اجرای این تحقیق بهینه‌سازی مصرف انرژی، تحلیل اقتصادی و پتانسیل گرمایش جهانی به روش تحلیل پوششی داده‌ها می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

آمار و اطلاعات مورد نیاز در این تحقیق بر اساس پرسشنامه از میان کشاورزان و کارشناسان منطقه، با استفاده از رابطه ریاضی(۱) محاسبه و تعداد پرش نامه ها برابر ۳۲ عدد به دست آمد(Elsoragaby et al., 2019; Khojastehpour et al., 2015).

$$N = \frac{nt^2s^2}{nd^2+t^2s^2} \qquad (۱)$$

که N اندازه جامعه آماری، t ضریب اطمینان قابل قبول که با فرض نرمال بودن توزیع صفت مورد نظر از جدول t استیودنت به‌دست می‌آید، S برآورد واریانس صفت مورد مطالعه، d دقت احتمالی مطلوب و n حجم نمونه است. برای تعیین میزان انرژی معادل نهاده‌های ورودی وستانده‌ها از ضرایب انرژی متناسب و مرسوم هم ارز برای هر نهاده استفاده شد. به منظور تعیین شاخص‌های نسبت انرژی، شدت انرژی و بهره‌وری انرژی که امکان مطالعه و مقایسه سامانه‌های تولید محصولات مختلف کشاورزی را با یکدیگر فراهم می‌سازند و به صورت روابط (۲ تا ۴) استفاده شد (Meftahi *et al*., 2025; Hossein *et al*., 2025). شاخص‌های نسبت انرژی، شدت انرژی و بهره‌وری انرژی امکان مطالعه و مقایسه سامانه‌های تولید محصولات مختلف کشاورزی را با یکدیگر فراهم می سازند و به صورت روابط۲ تا ۴ نمایش داده می‌شوند (Dashti *et al*., 2025; Ghorbani *et al*.,2016).

$$ER = \frac{OE}{IE} \qquad (۲)$$

$$SI = \frac{IE}{OY} \qquad (۳)$$

$$EP = \frac{OY}{IE} \qquad (۴)$$

که در این روابط، ER کارایی انرژی(بدون واحد)، OE انرژی خروجی (MJ/ha)، EI انرژی ورودی (MJ/ha)، SI شدت انرژی (MJ/kg)، OY عملکرد محصول (kg/ha) و EP بهره‌وری انرژی (kg/MJ) می‌باشد.

۲-۱- مدل‌سازی نهاده‌های انرژی

به منظور بررسی تاثیر افزایش یا کاهش در میزان هریک از نهاده‌های ورودی بر عملکرد محصول از تحلیل حساسیت نهاده‌های

انرژی و شاخص تولید فیزیکی نهایی از روابط (۵ و۶) استفاده گردید (Sepahvand *et al*., 2019; Royan *et al*., 2012; Hesampour *et al*., 2022).

$$lnY_i = \alpha_0 + \sum_{j=1}^{n} \alpha_j ln(X_{ij}) + e_i \quad (۵)$$

$$MPP_{xj} = \frac{GM(Y)}{GM(X_j)} \times \alpha_j \quad (۶)$$

که در آن، Y_i انرژی خروجی مزرعه iام، X_{ij} نهاده‌های مورد استفاده، a_0 ضریب ثابت، a_j ضریب رگرسیونی و e_i ضریب خطا می‌باشد. در رابطه (۶)، MPP_{xj} تولید فیزیکی نهایی نهاده jام، GM(Y) میانگین هندسی عملکرد محصول، $GM(X_j)$ میانگین هندسی نهاده jام و α_j ضریب رگرسیون نهاده jام می‌باشد. در این تحقیق برای تحلیل داده‌ها از نرم افزار Excel ، SPSS و Stata استفاده گردید.

۲-۲- پتانسیل گرمایش جهانی

برای تعیین انتشار گازهای گلخانه‌ای متناسب با نهاده‌های ورودی مزرعه در تولید کلزا و محاسبه پتانسیل گرمایش جهانی، میزان CO_2معادل ناشی از مصرف نهاده‌های متفاوت، از ضرایب استاندارد جدول (۱) استفاده شد (Asgharipour et al., 2016; Omidmehr, 2019),

۲-۳- تحلیل پوششی داده‌ها

تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) روشی شناخته‌شده برای برآورد غیرپارامتری کارایی نسبی مجموعه‌ای از واحدهای همگن است که به‌عنوان واحدهای تصمیم‌گیرنده شناخته می‌شوند. در این روش برای هر واحد تولیدی(DMU) یک مدل بهینه‌سازی خطی، تعریف می‌کند که با محاسبه یک نمره کارایی، میزان کارایی نسبی آن واحد را نشان می‌دهد. در این روش، مصرف انرژی (مگاژول در هکتار) به‌عنوان نهاده و عملکرد انرژی (مگاژول در هکتار) به‌عنوان ستاده در نظر گرفته می‌شود و بر این اساس، کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس با استفاده از روابط(۱۳ و ۱۴) محاسبه گردید (Taki et al., 2012; Azizi et al., 2024).

$$\begin{aligned} &\max E_p = \sum_{r=1}^{r=s} U_r Y_{rp} \\ &\sum_{i=1}^{i=m} V_i X_{ip} = 1 \\ &\sum_{r=1}^{r=s} U_r Y_{rj} - \sum_{i=1}^{i=m} V_i X_{ij} \le o, j = 1,2,...,n \\ &V_i \ge \varepsilon, U_r \ge \varepsilon \end{aligned} \quad (۷)$$

$$\begin{aligned} &\max E_p = \sum_{r=1}^{r=s} U_r Y_{rp} + w \\ &\sum_{i=1}^{i=m} V_i X_{ip} = 1 \\ &\sum_{r=1}^{r=s} U_r Y_{rj} - \sum_{i=1}^{i=m} V_i X_{ij} + w \le o, j = 1,2,...,n \\ &U_r \ge \varepsilon, V_i \ge \varepsilon, w \; free \end{aligned} \quad (۸)$$

که در آن E_P نرخ کارایی واحد iام، U_r وزن ورودی‌ها، Y_{rp} مقدار خروجی rام برای DMUp، V_i وزن ورودی‌ها، X_{ip} مقدار ورودی iام برای DMUp، Y_{rj} مقدار خروجی rام برای DMU_j، X_{ij} مقدار ورودی iام برای DMU_j، j =1,2,…,n، s تعداد خروجی‌ها و m تعداد ورودی ها می‌باشد.

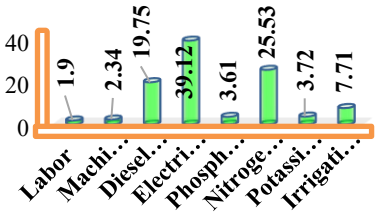
جدول ۱ - ضریب انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی در زراعت کلزا.

Table 1. Greenhouse Gas Emission Coefficients and Global Warming Potential of Rapeseed Production System

مرجع Reference	متان CH_4	نیتروس اکسید N_2O	دی‌اکسید کربن CO_2	نهاده‌ها Inputs
Asgharipour *et al*., 2016	5.2	0.7	3560	سوخت دیزل (لیتر) Diesel fuel (L)
Yousefi *et al*., 2014a	3.7	0.03	3100	کود نیتروژن (کیلوگرم) Nitrogen fertilizer (kg)
Shahhoseini and kazemi, 2021	1.8	0.02	1000	کود فسفر (کیلوگرم) Phosphorus fertilizer (kg)
Khodaei joghan *et al*., 2022	0.01	0.02	5100	سموم شیمیایی (لیتر) Chemical pesticides (L)
Asgharipour *et al*., 2016	0.02	8.82	61.2	الکتریسیته (کیلو وات ساعت) Electricity (kWh)
Asgharipour *et al*., 2016	21	310	1	پتانسیل گرمایش جهانی معادل دی اکسید کربن Global Warming Potential in CO_2 equivalent

۳- نتایج و بحث

میزان مصرف انرژی هر یک از نهاده‌ها جهت تولید کلزا در شکل (۱) و **درصد صورت‌های مختلف انرژی در شکل (۲)** نشان داده شده است. بر این اساس میانگین عملکرد محصول برابر ۲۲۶۵/۱۲ کیلوگرم بر هکتار به دست آمد و کل انرژی ورودی نهاده‌ها برابر ۱۱۱۴۰۳/۷۷ مگاژول برهکتار محاسبه شد. Khojastehpour et al (2015) به مقایسه انرژی مصرفی تولید کلزا در استان تراکیای کشور ترکیه و استان‌های مازندران و گلستان پرداختند و میزان کل انرژی مصرفی را به ترتیب ۸۵۵۵۶/۹۶، ۵۳۷۹۸/۴۶ و ۴۱۲۳۰ مگاژول بر هکتار گزارش نمودند. بر اساس نتایج کل انرژی ورودی نهاده‌های مصرفی برابر ۵۱۸۰۶/۰۶ مگاژول برهکتار محاسبه شد. با توجه به جدول بیشترین مصرف انرژی مربوط به نهاده سوخت دیزل برابر ۱۰۲۳۲/۰۹ مگاژول بر هکتار بود. میزان زیاد مصرف سوخت به دلیل مکانیزه بودن اجرای عملیات کشاورزی منطقه و افزایش ساعت کار ماشین در مزارع می باشد، شاخص کارایی انرژی برابر ۱/۰۹ و بهره‌وری انرژی برابر۰/۰۴مگاژول بر کیلوگرم محاسبه شد. Hadi et al (2023) کل انرژی مصرفی در کشت سنتی و مکانیزه تولید بادام را به ترتیب ۱۴۱۰۸/۵۳ و ۱۳۷۶۷/۳۹ مگاژول در هکتار، کارایی انرژی ۰/۱۹ و ۰/۲۴ و بهره‌وری انرژی ۰/۱و ۰/۱۲ کیلوگرم بر مگاژول گزارش نمودند. Meftahi et al (2025) به ارزیابی بیلان انرژی تولید گیلاس پرداختند و کل انرژی ورودی برابر ۲۵۱۶۷/۹۴ و کل انرژی خروجی برابر ۴۴۹۵۰/۲۱ مگاژول بر هکتار گزارش نمودند. مقادیر انرژی‌های مستقیم، غیر مستقیم، تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر به ترتیب برابر ۶۷/۶۷، ۳۲/۳۳، ۹/۱۹، ۹۰/۸۱ درصد محاسبه شد. به دلیل بالا بودن مصرف نهاده‌های بذر، کودهای شیمیایی و آب میزان انرژی مستقیم بیشتر از غیرمستقیم محاسبه شد. Dargahi et al (2016) به ارزیابی بیلان انرژی و تحلیل اقتصادی کلزا در استان گلستان پرداختند و مجموع انرژی مصرفی معادل ۲۰۴۸۵/۵۹ مگاژول در هکتار و بیشترین مقدار انرژی مصرفی به ترتیب مربوط به سوخت دیزل، کود نیتروژن و کود دامی و کمترین مربوط به نهاده‌های حشره‌کش، بذر مصرفی و نیروی انسانی گزارش گردید.

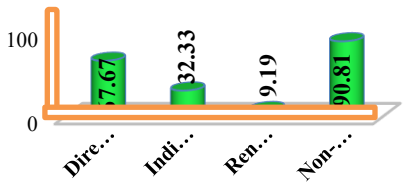


شکل ۱- میانگین مقادیر انرژی مصرفی نهاده‌ها

Fig 1. Mean energy consumption of inputs

۳-۱- برآورد تحلیل حساسیت

به منظور تعیین ارتباط بین مقادیر نهاده‌ها با مقدار عملکرد محصول، از تابع تولید کاب- داگلاس استفاده شد. در این روش عملکرد محصول کلزا به عنوان متغیر وابسته تابعی از پارامترهای نیروی انسانی، ماشین‌ها، کودهای شیمیایی فسفر و نیتروژن، سموم شیمیایی، آب آبیاری و الکتریسیته به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. بر اساس نتایج جدول (۲)، ضرایب رگرسیون بر اساس مدل (۱) نهاده‌های نیروی انسانی، کود نیتروژن و الکتریسیته به ترتیب با ضرایب ۰/۳۱- ، ۰/۰۶- و ۰/۱۴- منفی و کوچکتر از یک به دست آمد یعنی بیش از اندازه از این نهاده‌ها در تولید کلزا استفاده شده و بهره‌وری نهایی آن‌ها کمتر از بهره‌وری متوسط بوده و به منظور بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش مصرف بی‌رویه باید مقدار مصرف این نهاده‌ها مدیریت بشود. همچنین ضرایب رگرسیونی نهاده‌های ماشین‌ها، سوخت، کود فسفر، سموم شیمیایی وآب آبیاری با ضرایب ۰/۱۷، ۰/۰۲، ۰/۳۱، ۰/۲۲ و ۰/۳۵ مثبت به دست آمد، بنابراین مصرف این نهاده‌ها توسط کشاورزان منطقه اقتصادی بوده است.Shaghozayi and Nadi (2016) تاثیر ضرایب رگرسیونی نهاده‌های ماشین‌های کشاورزی، سوخت دیزل، سموم شیمیایی و کود حیوانی بر روی عملکرد آلو شابلون در استان گلستان مثبت و تأثیر ضرایب رگرسیونی کودهای شیمیایی بر عملکرد منفی محاسبه شد و نرخ بازگشت به مقیاس برابر ۱/۳۶ گزارش شد. در این تحقیق مقدار ضریب تبیین R^2 برابر ۰/۷۱ به دست آمد که نشان داد ۷۱ درصد تغییرات متغیر وابسته (عملکرد کلزا) به تغییرات متغیر مستقل مرتبط هستند. ضریب تبیین برای تولید آلو شابلن در گلستان ۰/۸۱(Shaghozayi & Nadi, 2016)، برای تولید برنج در بدره ۰/۷۵ و در چرداول ۰/۸۳(Azizpanah & Mohammadi, 2018) و برای تولید بادام‌زمینی در گیلان ۰/۷۴ (Nikkhah et al., 2014) گزارش شد. مقدار نسبت بازگشت به مقیاس (RTC) در مدل (۱) برابر ۰/۵۶ به دست آمد بدین معنی که مدل تابع تولید افزایش یابنده بوده و با افزایش یک درصدی در انرژی تمام نهاده‌های مصرفی، عملکرد نهایی معادل ۰/۵۶درصد افزایش می‌یابد.



شکل ۲- درصد صورت‌های مختلف انرژی در تولید کلزا

Fig 2. Percentage of different forms of energy in canola production

جدول ۲- نتایج تحلیل حساسیت نهاده‌های تولید کلزا

Table 2. Sensitivity analysis results of canola production inputs

بهره وری فیزیکی نهایی Marginal Physical Productivity (MPP)	مقدار t t-Ratio	مقدار ضریب Coefficient	متغیرها Variables
$model\ (1): N\ Y_i = \alpha_0 + \alpha_1 lnx_1 + \alpha_2 lnx_2 + \alpha_3 lnx_3 + \alpha_4 lnx_4 + \alpha_5 lnx_5 + \alpha_6 lnx_6 + \alpha_7 lnx_7 + \alpha_8 lnx_8 + e_i$			
-12.43	0.004**	-0.31	X_1 نیروی انسانی Human labor
26.30	0.05*	0.17	X_2 ماشین Machinery
0.34	0.8 ns	0.02	X_3 سوخت دیزل Diesel fuel
4.23	0.003**	0.32	X_4 کود فسفر Phosphorus fertilizer
-0.58	0.53 ns	-0.06	X_5 کود نیتروژن Nitrogen fertilizer
53.13	0.25 ns	0.22	X_6 سموم شیمیایی Chemical pesticides
1.33	0.02*	0.35	X_7 آب آبیاری Irrigation water
-0.17	0.24 ns	-0.14	X_8 الکتریسیته Electricity
		0.71	R^2
		1.58	دوربین- واتسون Durbin Watson
		0.56	بازده نسبت به مقیاس Return to scale (RTS)

** : معنی‌دار در سطح احتمال ۱درصد و * :معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد.

** and *: Significant at the 1% and 5% levels of probability, respectively. ns: Non- significant

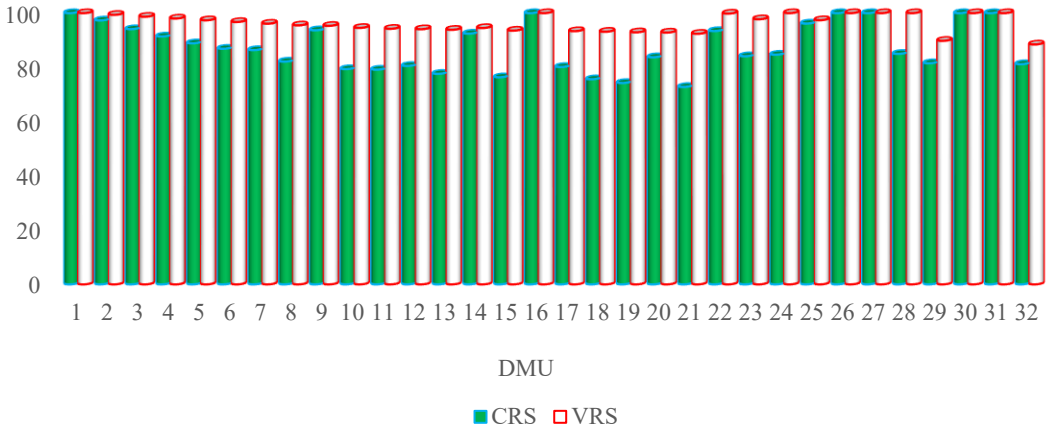
۲-۳- تحلیل پوششی داده‌ها

نتایج حاصل از تحلیل پوششی داده‌ها نشان داد در مدل CRS تعداد۶ مزرعه و در مدل VRS تعداد ۹ مزرعه دارای کارایی ۱۰۰ درصد هستند و بقیه مزارع کلزا با درجات مختلف، ناکار محسوب می‌شوند. همچنین مزارع شماره ۲۴ و ۲۸ به صورت موضعی کارا عمل می‌کنند(شکل ۳)، به این معنا که حدود ۶/۲۵ درصد از کل مزارع مورد بررسی درمنطقه دارای کارایی فنی خالص برابر با یک هستند، اما کارایی کل آن‌ها کمتر از یک است. این کاهش کارایی کل عمدتاً ناشی از ناکارایی مقیاس یا مدیریتی است. تعداد ۶ مزرعه معادل۱۸/۷۵ درصد از کل نمونه مزارع کاملا کارا هستند. ناکارایی سایر مزارع (۸۱/۲۵ درصد)، به دلیل ناکارایی مدیریتی و همچنین شرایط مزارع (ناکارایی مقیاس) است. وقتی یک واحد تولیدی در مدل VRS دارای میزان کارایی ۱۰۰ درصد است، وضعیت بازگشت به مقیاس از طریق وزن خروجی مشخص می‌شود. اگر کوچکتر از صفر باشد بازگشت به مقیاس افزایشی است، اگر بزرگتر از صفر باشد بازگشت به مقیاس کاهشی و اگر مساوی صفر باشد بازگشت به مقیاس ثابت است. براساس طبق نتایج جدول ۷، مزارع شماره ۱، ۱۶، ۲۶، ۲۷، ۳۰ و ۳۱ مقدار بازگشت به مقیاس ثابت و سایر مزارع بازگشت به مقیاس افزایشی دارند. این یافته‌ها نشان می دهند که بهینه‌سازی مصرف نهاده‌ها، به ویژه در نهاده‌های با بیشترین پتانسیل ذخیره انرژی، می‌تواند علاوه بر کاهش هزینه‌های تولید، به پایداری انرژی و کاهش اثرات زیست‌محیطی مزارع تولید کلزا در منطقه نیز کمک کند.

جدول (۳) نتایج حاصل از تحلیل مزارع کلزا با مدل بازگشت به مقیاس ثابت ورودی محور برای تعیین میزان مازاد نهاده‌های مصرفی و کمبود عملکرد مزارع را نشان می‌دهد. برای هر کدام از مزارع یا واحدهای ناکارا، با استفاده از تحلیل پوششی دادها مشخص گردید که به چه میزان باید از مصرف نهاده‌های مازاد را کم کنند تا مزارع به مرز کارایی رسیده و کارا بشوند. به عنوان مثال مزرعه شماره ۲۴ با میزان کارایی ۸۴/۶۷ درصد باید ۴۵۳/۱۴ واحد از نهاده نیروی انسانی، ۱۴۸/۶۹واحد از نهاده ماشین‌آلات ، ۴۹۱۴/۰۶ واحد از نهاده سوخت دیزل و ۴۰۵۲/۰۱ واحد از نهاده کود شیمیایی نیتروژن و ۲۶۸۵/۷۳ واحد از نهاده آب آبیاری و ۵۱۳۰/۳۱ واحد از نهاده الکتریسیته مصرفی را کاهش دهد تا بر روی مرز کارایی قرار گیرد، که بیشترین میزان کاهش مصرف انرژی به ترتیب مربوط به نهاده‌های آب آبیاری، سوخت دیزل و کود نیتروژن بود که با نتایج به دست آمده در بخش تحلیل انرژی مطابقت دارد. بر اساس نتایج به دست آمده سوخت دیزل با ۱۶۰۵/۲۴ بیشترین و کود فسفر با ۱۳/۱۱ مگاژول بر هکتار کم‌ترین میزان مازاد مصرف نهاده‌ها را به خود اختصاص دادند. با توجه به اینکه درصد بسیار بالایی از انرژی‌های تجدیدناپذیر مربوط به مصرف سوخت دیزل وکودهای شیمیایی می‌باشد، میتوان گفت که مزارع کلزای منطقه به منابع تجدیدناپذیر انرژی وابستگی شدیدی دارند، یعنی این که در این شهرستان تولیدمحصول کلزا به لحاظ مصرف انرژی در وضعیت ناپایداری قرار دارند. Meftahi et al (2025) به بررسی بهینه‌سازی پتانسیل گرمایش جهانی تولید گیلاس پرداختند و بیشترین مقدار انرژی ذخیره شده به ترتیب مربوط مصرف نهاده‌های سوخت دیزل۳۸/۸۵٪

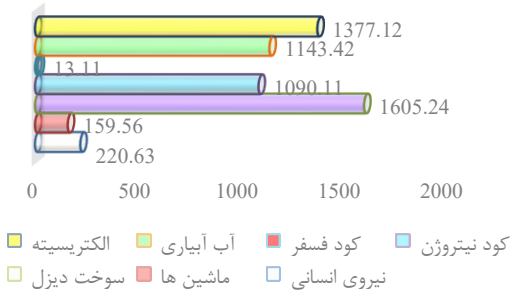
و نیروی انسانی ۲۷/۶۷٪ و کم‌ترین مقدار انرژی ذخیره شده مربوط به مصرف کود پتاسه با ۲/۰۱٪ ، کود فسفاته با ۱/۸٪ و سموم شیمیایی با ۱/۳٪ گزارش نمودند. Rastegar et al 2020 به بررسی بهینه سازی و پتانسیل تولید ذرت علوفه‌ای پرداختند و گزارش نمودند بیشترین مقدار انرژی ذخیره شده مربوط به سموم علف‌کش و کودهای شیمیایی به ترتیب با ۲۱/۵۵٪ و ۱۹/۶۴٪ است. شکل (۴) میانگین انرژی ذخیره شده توسط نهاده‌های نیروی انسانی، ماشین‌آلات، سوخت دیزل ،کود نیتروژن، کود فسفر ،آب آبیاری و الکتریسیته در مزارع کلزا را نشان می‌دهد.

بر اساس نتایج به دست آمده (شکل ۴)، سوخت دیزل با ۱۶۰۵/۲۴ بیشترین و کود فسفر با ۱۳/۱۱ مگاژول بر هکتار کم‌ترین میزان مازاد مصرف نهاده‌ها را به خود اختصاص دادند. با توجه به اینکه درصد بسیار بالایی از انرژی‌های تجدیدناپذیر مربوط به مصرف سوخت دیزل وکودهای شیمیایی می‌باشد، میتوان گفت که مزارع کلزای منطقه به منابع تجدیدناپذیر انرژی وابستگی شدیدی دارند، یعنی این که در این شهرستان تولیدمحصول کلزا به لحاظ مصرف انرژی در وضعیت ناپایداری قرار دارند.



شکل ۳- کارایی مزارع کلزا با استفاده از دو مدل CRS و VRS نهاده محور.

Fig 3. Efficiency of canola farms using two input-oriented models: CRS and VRS



شکل ۴- انرژی ذخیره شده نهاده‌ها با مدل CRS نهاده محور

Fig 4. Stored energy of inputs (input-oriented CRS)

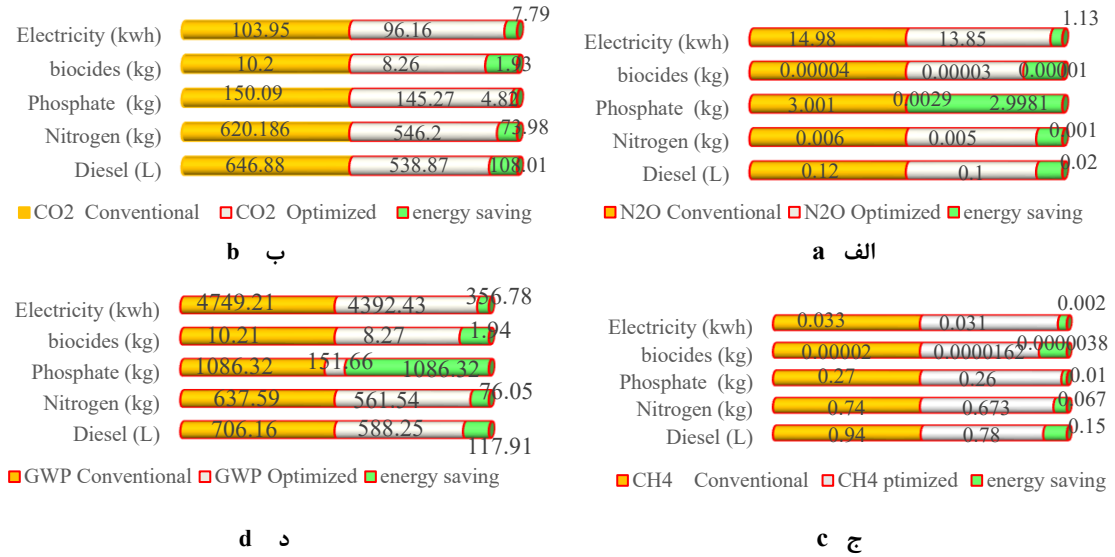
جدول ۳- مازاد مصرف انرژی(مگاژول بر هکتار)در هر یک از مزارع کلزا با مدل CRS نهاده محور.

Table 3 . Energy surplus (MJ ha^{-1}) in each canola farm using the input-oriented CRS model.

الکتریسیته Electricity	آب Water	فسفر Phosphorus	نیتروژن Nitrogen	سوخت دیزل Diesel fuel	ماشین‌آلات Machinery	نیروی انسانی Human labor	کارایی Efficiency	واحد Unit
0	0	0	0	0	0	0	100	1
394.86	243.35	0	235.43	859.91	675.47	0	97.31	2
784.17	221.81	0	402.01	1072.88	188.31	0	94.08	3
1168.46	200.65	0	631.57	1172.71	834.91	0	91.39	4
1547.71	179.77	0	793.42	957.99	200.71	0	88.87	5
1921.98	159.16	0	1017.4	686.02	820.57	0	86.86	6
980.41	537.84	0	510.81	1514.52	0	67.47	86.37	7
2656.05	118.74	0	1393.3	206.49	189.98	0	82.13	8
0	1634.41	76.3	131.72	3332.65	0	229.88	93.67	9
2935.82	292.76	0	1585.1	196.97	314.13	31.41	79.36	10
2587.19	567.13	0	1487.7	614.81	0	76.46	79.15	11
1296.75	1119.42	0	867.79	1757.37	0	168.48	80.53	12
2704.91	852.23	0	1608.4	802.28	335.75	121.94	77.63	13
0	2602.88	104.7	406.17	4277.31	0	361.63	92.44	14
2325.08	1100.11	0	1442.6	1095.73	22.42	123.57	76.35	15
0	0	0	0	0	0	0	100	16
112.76	1907.27	0	411.03	2842.14	0	212.57	80.14	17
1066.27	1689.71	0	954.47	2053.11	0	147.17	75.61	18
1628.03	1590.85	0	1237.4	1639.99	374.85	105.37	74.23	19
0	2928.29	95.21	614.54	4128.34	0	279.54	83.72	20
1307.24	1829.11	0	1194.4	1928.03	116.42	135.15	72.78	21
2899.71	5007.93	0	2733.3	6172.67	۰	495.86	93.38	22
4686.91	4310.51	0	3682.1	4417.53	12.83	393.31	84.09	23
5130.31	2685.73	0	4052.01	4914.06	148.69	453.14	84.68	24
481.21	2114.88	143.06	2042.3	0	541.93	573.61	96.16	25
0	0	0	0	0	0	0	100	26
0	0	0	0	0	0	0	100	27
2308.92	1366.68	0	1316.8	343.34	37.83	557.36	84.98	28
741.21	285.51	0	1676.2	2012.65	291.15	589.39	81.51	29
0	0	0	0	0	0	0	100	30
0	0	0	0	0	0	0	100	31
2401.55	1040.78	0	2454.8	2377.07	۰	612.81	81.18	32
1377.11	1143.42	13.1	1090.1	1605.24	159.26	220.63	87.45	میانگین Mean

۳-۳- پتانسیل گرمایش جهانی

شکل (۵) مقادیر انتشار گازهای گلخانه‌ای شامل دی‌اکسیدکربن (CO_2)، اکسید نیتروژن (N_2O) و متان (CH_4) و همچنین پتانسیل گرمایش جهانی (GWP) را برای نهاده‌های مختلف در سیستم تولید کلزا در دو حالت مرسوم و بهینه‌شده (کیلوگرم بر هکتار) نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که نتیجه بهینه‌سازی مصرف نهاده‌ها منجر به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و کاهش پتانسیل گرمایش جهانی نسبت به سیستم مرسوم شده است. پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از مصرف دیزل در حالت مرسوم برابر ۷۰۶/۱۶۱ و در حالت بهینه به ۵۸۸/۲۵۴ کیلوگرم در هکتار معادل دی اکسید کربن کاهش یافت. پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از مصرف کود نیتروژن، در حالت مرسوم حدود ۶۳۷/۵۹ کیلوگرم و در حالت بهینه حدود ۵۶۱/۵۴ کیلوگرم در هکتار معادل دی اکسید کربن محاسبه شد که بیانگر کاهش اثرات زیست‌محیطی در نتیجه مصرف بهینه این نهاده می‌باشد. بر این اساس بهینه‌سازی مصرف نهاده‌ها اثرات کاهشی زیست محیطی کاملا مشهود می‌باشد که بیشترین میزان کاهش مربوط به مصرف نهاده‌های الکتریسیته و کود فسفر و کمترین مربوط به سموم شیمیایی می‌باشد که بر اهمیت بهینه‌سازی نهاده‌های پرمصرف در راستای کاهش اثرات زیست‌محیطی می‌افزاید. مصرف نهاده‌های الکتریسیته،کود فسفر، سوخت دیزل و کود نیتروژن بیشترین سهم از کل پتانسیل گرمایش جهانی را در نظام زراعی تولید کلزا در منطقه را داشتند. بهینه‌سازی مصرف الکتریسیته از طریق نوسازی تجهیزات آبیاری و پمپ‌های الکتریکی، سرویس و نگهداری منظم پمپ، استفاده از اینورتر در سیستم آبیاری و پمپاژ آب که باعث می‌شود پمپ فقط به اندازه دبی و فشار مورد نیاز گیاه کار کند و از تولید فشار اضافی و اتلاف انرژی جلوگیری شود. بهینه‌سازی مصرف سوخت های فسیلی از طریق اعمال روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی و نوسازی ماشین‌آلات کشاورزی، تطبیق صحیح توان تراکتور با عرض کار ادوات، انجام عملیات خاک‌ورزی در رطوبت بهینه خاک، سرویس و نگهداری منظم موتور، تنظیم سیستم سوخت‌رسانی و تعویض به‌موقع فیلترها می‌تواند از افزایش مصرف سوخت جلوگیری کند. بهینه‌سازی مصرف کودهای نیتروژن و فسفر در مزارع کشاورزی از طریق به‌کارگیری راهکارهای مدیریتی و فنی شامل انجام آزمون خاک پیش از کشت و تنظیم مقدار کود بر اساس نیاز واقعی گیاه، زمان‌بندی مناسب و تقسیط مصرف کودهای نیتروژنه در مراحل حساس رشد گیاه، به‌کارگیری روش‌های صحیح مصرف کود فسفر، استفاده از کودهای زیستی، اجرای تناوب زراعی از طریق حاصل‌خیزی خاک نیاز به مصرف کودهای نیتروژن و فسفر را در سیستم‌های زراعی کاهش می‌دهد. برای کاهش پتانسیل گرمایش جهانی در بخش کشاورزی، ترکیبی از تحلیل های محیطی و اقتصادی در کشاورزی، به منظور کاربرد بهترین استراتژی‌های مدیریتی درمزارع مفید است(Yousefi et al., 2014b) Meftahi et al (2025). به بررسی بهینه‌سازی مصرف انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی تولید گیلاس پرداختند و مقدار پتانسیل گرمایش جهانی در حالت مرسوم برابر ۱۲۴۶/۱۴ و پس از بهینه سازی به ۶۸۲/۴۵ کیلوگرم دی اکسید کربن در هکتار کاهش یافت و سوخت دیزل و کود نیتروژنه به‌عنوان اصلی‌ترین عوامل انتشار شناخته شدند.



شکل ۵- مقادیر انتشار گازهای گلخانه‌ای ورودی‌های شیمیایی و پتانسیل گرمایش جهانی(کیلوگرم بر هکتار) برای تولید کلزا در حالت مرسوم و بهینه شده.

Fig 5. Greenhouse gas emissions from chemical inputs and global warming potential (kg ha^{-1}) for rapeseed production under conventional and optimized systems

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که مزارع کلزا در منطقه مورد مطالعه از نظر مصرف انرژی، وابستگی بالایی به نهاده‌های فسیلی و شیمیایی دارند. سهم بالای سوخت دیزل، الکتریسیته و کودهای شیمیایی بیانگر نقش کلیدی مدیریت مکانیزاسیون، آبیاری و تغذیه گیاهی در الگوی مصرف انرژی در مزارع است. بررسی شاخص‌های انرژی نشان داد که کارایی کلی مصرف انرژی و پایداری سیستم تولید در وضعیت مطلوبی قرار ندارد. غالب بودن انرژی‌های تجدیدناپذیر نسبت به انرژی‌های تجدیدپذیر، چالش‌های زیست‌محیطی و اقتصادی تولید کلزا را تشدید می‌کند. نتایج مدل اقتصادسنجی بیانگر مصرف بیش‌ازحد برخی نهاده‌ها و کاهش بهره‌وری نهایی آن‌ها بود، در حالی که مصرف برخی نهاده‌ها از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر ارزیابی شد. تحلیل حساسیت انرژی‌ها نشان داد که انرژی‌های مستقیم و غیرمستقیم نقش مؤثری در تولید دارند، اما نحوه مدیریت و شدت مصرف آن‌ها تعیین‌کننده کارایی نهایی است. نتایج تحلیل پوششی داده‌ها حاکی از ناکارایی فنی و مقیاسی بخش قابل توجهی از مزارع و وجود ظرفیت بالای بهینه‌سازی مصرف نهاده‌ها بدون کاهش عملکرد مزارع کلزا بود. همچنین بهینه‌سازی مصرف نهاده‌ها منجر به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی شد. در مجموع، بهبود مدیریت مصرف انرژی، اصلاح عملیات مکانیزه، بهینه‌سازی آبیاری و مصرف متعادل کودهای شیمیایی می‌تواند نقش مؤثری در ارتقای پایداری اقتصادی و زیست‌محیطی تولید کلزا ایفا کند.

منابع

Asgharipour, M. R., Mousavinik, S. M and Enayat, F. F. (2016). *Evaluation of energy input and greenhouse gases emissions from alfalfa production in the Sistan region, Iran.* Energy Reports 2: 135-140. http://dx.doi.org/10.1016/j.egyr.2016.05.007.

Azizi, R. Azizpanah, A and Fathi, R. (2024). *Comparison and Evaluation of Environmental Impacts of Silage Corn Production by Direct and Mechanized Cultivation Methods in Mehran Plain, Iran.* Iranian Journal of Applied Ecology, 13(3), 77-93. (In Persian). http://dx.doi.org/10.47176/ijae.13.3.13354.

Azizpanaha, A. and Mohammadi, V. (2018). *Energy Modelling and Sensitivity Analysis of Rice production in Ilam, Iran.* Journal of Applied Agriculture and Biotechnology, 3(1), 01-13.

Babaeian, M., Kheirkhah, M., Ghorbanzadeh, M and jafarian, M. (2021). *Environmental hazards and energy flow in rapeseed agroecosystem Case study: North Khorasan.* Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 31(4), 325-339. http://dx.doi.org/10.22034/saps.2021.44566.2637.

Czyżewski, B and Kryszak, Ł. (2025). *Assessing potential reductions of agricultural GHG in countries with different land productivities: Long-term integrated efficiency in DEA hybrid meta-frontier model*. PloS one, 20(2), e0315571. http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0315571.

Dargahi, M. R., Jahan, M., Naseri, M. T and Ghorbani, R. (2016). *Energy balance evaluation and economical analysis of canola production in Golestan Province.* Applied Field Crops Research, 29(3), 50-62. http://dx.doi.org/10.22092/aj.2016.112697.

Dashti, G., Chavoshi, P and Rahmani, E. (2025). *Economic Aspects of Energy Balance in Rainfed Wheat Production in Saqqez County*. Journal of Agricultural Mechanization, 10(1), 41-52. http://dx.doi.org/10.22034/jam.2025.63557.1295

Elsoragaby, S., Yahya, A., Mahadi, M. R., Nawi, N. M and Mairghany, M. (2019*). Analysis of energy use and greenhouse gas emissions (GHG) of transplanting and broadcast seeding wetland rice cultivation.* Energy, 189, 116160. http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2019.116160.

Fridrihsone, A., Romagnoli, F and Cabulis, U. (2020). *Environmental life cycle assessment of rapeseed and rapeseed oil produced in Northern Europe: A Latvian case study.* Sustainability, 12(14), 5699. http://dx.doi.org/10.3390/su12145699.

Hadi, M. Azizpanah, A and Ghasemi, M. (2023). *Evaluating the Energy Balance and Environmental Effects of Almond Production Using Artificial Neural Networks (Case Study: Lenjan County, Isfahan Province).* Iranian Journal of Applied Ecology, 12(3), 81-95. (In Persian). http://dx.doi.org/10.47176/ijae.12.3.13353.

Hesampour, R., Hassani, M., Hanafiah, M. M., & Heidarbeigi, K. (2022). *Technical efficiency, sensitivity analysis and economic assessment applying data envelopment analysis approach: A case study of date production in Khuzestan State of Iran*. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 21(3), 197-207. http://dx.doi.org/10.1016/j.jssas.2021.08.003.

Hossein, H. Y. Azizpanah, A. Namdari, M. and Shirkhani, H. 2024. *Environmental life cycle assessment of corn production in tropical regions*. Scientific Reports, 14(1), 20036. http://dx.doi.org/10.1038/s41598-024-70923-4.

Khojastehpour, M., Nikkhah, A., & Hashemabadi, D. (2015*). A comparative study of energy use and greenhouse gas emissions of canola production.* International Journal of Agricultural Management and Development, 5(1), 51-58. http://dx.doi.org/10.22034/saps.2021.44507.2634.

Khodaei joghan, A. Taki, M and Matoorian, H. (2022). *Evaluating energy productivity, greenhouse gas emission, global warming potential and sustainability index of Wheat and Rapeseed agroecosystems in Khorramshahr.* Journal of Agricultural Sciences and Sustainable Production, 32(1). (In Persian). http://dx.doi.org/10.22034/saps.2021.44507.2634.

Khoshnevisan, B. Rafiee, Sh. 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. http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2013.01.028.

Khojastehpour, M., Nikkhah, A and Hashemabadi, D. (2015). *A comparative study of energy use and greenhouse gas emissions of canola production*. International Journal of Agricultural Management and Development, 5(1), 51-58. https://oiccpress.com/ijamad/article/view/6753.

Meftahi, F. Azizpanah, A and Taki, M. (2025). *Sustainable agricultural practices and their impact on ecological indicators: A case study of cherry production in Iran.* SustainableFutures, *10*, 101149. http://dx.doi.org/10.1016/j.sftr.2025.101149.

Monjezi, N. and Zaki dizaji, H. (2012)**.** *Energy and Economic Analysis of Canola Production in Iran a Case Study: Khuzestan Province.* Applied Sciences, Engineering and Technology, 4(3): 227-231.

Nabavi-Pelesaraei, A., Abdi, R., Rafiee, S., & Mobtaker, H. G. (2014). *Optimization of energy required and greenhouse gas emissions analysis for orange producers using data envelopment analysis approach*. Journal of Cleaner Production, 65, 311-317. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.08.019.

Nikkhah, A. Emadi, B. Shabanian, F and Hamzeh-Kalkenari, H. (2014). *Energy sensitivity analysis and greenhouse gas emissions for tea production in Guilan province, Iran.* Agroecology, 6 (3), 622-633. https://doi.org/10.22067/jag.v6i3.29852

Omidmehr, Z. 2019. Comparison of Energy Productivity and Global Warming *Potential in Rain-fed Sunflower (Helianthus annuus L.) Production Systems,* Journal Of Agroecology, 11(2), pp. 739-755. https://doi.org/10.22067/jag.v11i2.49739.

Payandeh, Z. Jahanbakhshi, A. Mesri-Gundoshmian, T and Clark, S. (2021). *Improving energy efficiency of barley production using joint data envelopment analysis (DEA) and life cycle assessment (LCA): Evaluation of greenhouse gas emissions and optimization approach*. Sustainability, 13(11), 6082. https://doi.org/10.3390/su13116082.

Rastegar, H. Lotfalian Dehkordi, A. Abedi, A and Taki, M. (2020). *Application of Data Envelopment Analysis (DEA) In Order to Reduction of Consumption Inputs in Silage Corn production in the Shahrekord County.* Iranian Journal of Biosystems Engineering, 51(2), 247-261. https://doi.org/10.22059/ijbse.2020.297972.665278

Royan, M. Khojastehpour, M. Emadi, B and Mobtaker, HG. (2012). *Investigation of energy inputs for peach production using sensitivity analysis in Iran*. Energy Conversion and Management. 64(1):441-6. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2012.07.002.

Sepahvand, M. Mobli, H. Sharifi, M and Khanali, M. (2019). *Modeling of Energy Consumption Trend and Economic-Environmental Indexes Assessment of Broiler Production (Case Study: Khorramabad County).* Iranian Journal of Biosystems Engineering, 50(2), 267-279. https://doi.org/10.22059/ijbse.2019.273666.665144.

Shaghozayi, S and nadi, F. (2016*). Energy modeling of plum production in Golestan province.* Iranian Journal of Biosystems Engineering, 47(3), 541-549. (In Persian). http://dx.doi.org/10.22059/ijbse.2016.59363.

Shahhoseini, H. R. and kazemi, H. (2021). *Economic Analysis and Evaluating the Sustainability of Potato Production Based on Greenhouse Gas Emissions (Case Study: Golestan Province).* Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 31(3), 295-311. (In Persian). http://dx.doi.org/10.22034/saps.2021.39789.2488.

Sharifi, M. (2018). *Energy inputs - Yield relationship and cost analysis of melon production in Khorasan Razavi province of Iran.* Engineering in Agriculture, Environment and Food. 11: 109-113. http://dx.doi.org/10.1016/j.eaef.2018.02.002.

Taki, M. Ajabshirchi, Y. Abdi, R and Akbarpour, O. 2012. Analysis of energy efficiency for greenhouse cucumber production using data envelopment analysis (DEA) technique; case study: Shahreza Township. *Journal of Agricultural Machinery*, *2*(1). (In Persian).

Yousefi, M, Khoramivafa, M and Mondani, F. (2014a). *Integrated evaluation of energy use, greenhouse gas emissions and global warming potential for sugar beet (Beta vulgaris L.) agroecosystems in Iran.* Atmospheric Environment, 92: 501-505. http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.04.050.

Yousefi, M, Mahdavi Damghani, A and Khoramivafa, M. (2014b). *Energy consumption, greenhouse gas emissions and assessment of sustainability index in corn agroecosystems of Iran.* Science of the Total Environment, *493*, 330-335. http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.06.004.