Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Journal of Entrepreneurial Strategies in Agriculture Vol. 13, Issue 1, 2026 p: 102-115

OPEN ACCESS

Research Paper

Identification of Entrepreneurial Opportunities Based on Yield Gap Reduction and Environmental Footprint Optimization in Wheat Cultivation (Case Study: Mazandaran Province, Iran)

Morteza Esmaili Dazmiri[1], Yosoof Niknejad[2], Hormoz Fallah Amoli[3], Davood Barari Tari[3], and Salman Dastan[4]

1- Ph.D. Candidate in Agronomy, Department of Agronomy, Islamic Azad University, Ayatollah Amoli International Branch, Amol, Iran
2- Associate Professor, Department of Agronomy, Islamic Azad University, Ayatollah Amoli Branch, Amol, Iran, (Corresponding author: yousofniknejad@gmail.com)
3- Associate Professor, Department of Agronomy, Islamic Azad University, Ayatollah Amoli Branch, Amol, Iran
4- Managing Director of the Mazandaran Province Farmers' Union

Received: 08 September, 2025 Revised: 12 November, 2025 Accepted: 23 November, 2025

Extended Abstract

Background: The agricultural sector in Iran faces the dual challenge of increasing production to ensure food security while reducing environmental risks. As the main strategic crop in Iran's food basket, wheat provides about 75% of daily protein and 65% of daily calories for each person. This crop has the widest cultivated area and plays an irreplaceable role in farmers' livelihoods, serving as the foundation for processing industries such as flour, bread, pasta, and biscuits. Despite this, the average wheat yield in Iran (about 3800 kg/ha) has a considerable gap with the potential yield (over 7000 kg/ha), which is called the "yield gap." This gap is not only a technical-agronomic issue but also a lost economic opportunity and a basis for creating new businesses in the agricultural sector. On the other hand, climate change is largely caused by the excessive consumption of fossil fuels and chemical fertilizers. The agricultural sector produces about 10-12% of global greenhouse gas emissions, and improving energy efficiency in this sector is an environmental necessity. What has been neglected in domestic studies is the view of these gaps as entrepreneurial opportunities and the provision of commercialized business models. The main aim of this study was to identify and quantify entrepreneurial opportunities arising from reducing the yield gap and optimizing energy consumption in wheat fields of Mazandaran Province. Specific objectives included estimating the contribution of management factors to the yield gap, calculating energy indicators and global warming potential in four cropping systems, and presenting specific business models with revenue and target market forecasts.

Methods: Management data of 100 wheat farms were collected through field surveys, farmer interviews, and questionnaires. Farms were randomly selected in a stratified manner to cover all production methods. Agricultural operations from seedbed preparation to harvest, including tillage, cultivar and seed rate, fertilizers and pesticides, irrigation, and grain and straw yield, were recorded. Grain yield at 14% moisture content was measured by two methods: farmer declaration and sampling with a 1 m² quadrat. The comparative performance analysis method based on stepwise regression was used to estimate the yield gap. Qualitative variables, such as canola pre-cropping, topdressing fertilizer application, and herbicide use, were coded as dummy variables (0 and 1). Farms were classified into four cropping systems, including conventional, intensive, mechanized, and conservation. Energy balance was performed by calculating direct, indirect, renewable, and non-renewable energy using standard coefficients. Global warming potential was calculated using IPCC emission coefficients and converted to kg CO_2 equivalent per hectare, and cropping systems were compared using the LSD test at the 5% level.

Results: Six management factors, including nitrogen at flowering, potassium, topdressing fertilizer, nitrogen at basal stage, canola pre-cropping, and herbicide, had the greatest impact on yield. With optimal management, the predicted yield (3925 kg) increased to 5708 kg/ha, and 1756 kg (80% of the gap) was compensated. The contribution of factors was nitrogen at flowering (425 kg, 24.2%), potassium (385 kg, 21.9%), topdressing fertilizer (315 kg, 17.9%), nitrogen at basal (275 kg, 15.7%), canola pre-cropping (215 kg, 12.2%), and herbicide (141 kg, 8.0%). The average energy input was 14091 MJ/ha, with nitrogen (5863 MJ, 41.6%), fuel (4123 MJ, 29.3%), and seed (3368 MJ, 23.9%) having the largest shares. Conservation farming used 30% less energy (11494 MJ) than mechanized farming (15956 MJ), and its energy efficiency (9.63) was higher than the other systems.

Copyright ©2026 Esmaili Dazmiri et al. Published by Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Unported License which allows users to read, copy, distribute and make derivative works for non-commercial purposes from the material, as long as the author of the original work is cited properly.

[Downloaded from jea.sanru.ac.ir on 2026-10-18]

[DOI: 10.61882/jea.2026.475]

The average global warming potential was 1406 kg CO_2 eq/ha, with conservation farming emitting 1184 kg CO_2 eq/ha, which was 27% less than mechanized farming with 1626 kg CO_2 eq/ha. The highest emissions were related to machinery and equipment, fuel, nitrogen fertilizer, and seed, and a direct relationship was confirmed between energy input and CO_2 emissions.
Conclusion: There is a direct relationship between excessive input consumption and reduced energy efficiency, increased greenhouse gas emissions, and yield gap creation. Conventional and intensive farming have increased production costs and reduced farmer income. In contrast, conservation farming, with 30% less energy and 27% less emissions, is considered a superior model of environmental sustainability. This gap creates four commercializable entrepreneurial opportunities: a plant nutrition smart management consulting company with income from fertilizer savings, a conservation agriculture services company aimed at reducing fuel consumption by 30%, a "Green Wheat" brand with a low carbon footprint and potential for higher prices, and a specialized agricultural machinery operator training institute to reduce fuel consumption by 20%. These businesses are not only economically viable for entrepreneurs but also help preserve basic resources and reduce environmental pollution by reducing dependence on chemical inputs and fossil fuels. Policymakers are recommended to prioritize four actions: providing low-interest loans (4-8% interest) through the Agricultural Bank to entrepreneurs active in plant nutrition consulting and conservation farming services, granting 5-year tax exemptions to knowledge-based companies active in conservation agriculture and farm management consulting, and establishing a domestic carbon credit market by the Environmental Protection Organization. Thus, farmers can earn additional income from reducing their greenhouse gas emissions, and developing national standards for "Green Wheat" and "Expert Fertilizer Applicator" by the Plant Protection Organization and the Soil and Water Research Institute to build market trust and transparency for consumers. Implementation of these measures will help increase farm economic productivity while contributing to the sustainability of wheat production and reducing environmental risks.

Keywords: Agricultural Entrepreneurship, Business Model, Conservation Agriculture, Carbon Footprint, Energy Optimization, Yield Gap

How to Cite this Article: Esmaili Dazmiri, M., Niknejad, Y., Fallah Amoli, H., Barari Tari, D., & Dastan, S. (2026) Identification of Entrepreneurial Opportunities Based on Yield Gap Reduction and Environmental Footprint Optimization in Wheat Cultivation (Case Study: Mazandaran Province, Iran). *J Entrepreneurial Strategies Agric,* 13(1), 102-115. DOI: 10.61882/jea.2026.475

[Downloaded from jea.sanru.ac.ir on 2026-10-18]

[DOI: 10.61882/jea.2026.475]

مقاله پژوهشی

شناسایی فرصت‌های کارآفرینانه مبتنی بر کاهش خلاء عملکرد و بهینه‌سازی ردپای محیط زیستی در کشت گندم (مطالعه موردی: استان مازندران)

مـــرتضی اسماعیلی دازمیری[۱]، یوسف نیک‌نژاد[۲]، هرمز فلاح آملی[۳]، داوود براری تاری[۳] و سلمان دستان[۴]

۱- دانشجوی دکتری زراعت، گروه زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بین‌المللی آیت‌الله آملی، آمل، ایران.
۲- دانشیار، گروه زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آیت‌الله آملی، آمل، ایران، (ایمیل نویسنده مسوول: yousofniknejad@gmail.com)
۳- دانشیار، گروه زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آیت‌الله آملی، آمل، ایران
۴- مدیر عامل اتحادیه زراعت‌کاران استان مازندران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۱۷ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۸/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۰۲
صفحه: ۱۰۲ تا ۱۱۵

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: بخش کشاورزی در ایران با چالش دوگانه افزایش تولید برای تأمین امنیت غذایی و کاهش خطرات محیط‌زیستی مواجه است. گندم، اصلی‌ترین محصول استراتژیک سبد غذایی ایران، حدود ۷۵ درصد پروتئین و ۶۵ درصد کالری روزانه هر فرد را تأمین می‌کند. این محصول وسیع‌ترین سطح زیر کشت را دارد، و نقشی بی‌بدیل در معیشت کشاورزان دارد و پایه اصلی صنایع تبدیلی مانند آرد، نان، ماکارونی و بیسکویت است. با وجود این، میانگین عملکرد گندم در ایران (حدود ۳۸۰۰ کیلوگرم در هکتار) فاصله قابل‌توجهی با عملکرد بالقوه (بیش از ۷۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) دارد که "شکاف عملکرد" نامیده می‌شود. این شکاف نه‌تنها یک مسئله فنی-زراعی، بلکه فرصتی ازدست‌رفته اقتصادی و زمینه‌ای برای خلق کسب‌وکارهای نوین در بخش کشاورزی است. از سوی دیگر، تغییرات اقلیمی تا حد زیادی ناشی از مصرف بی‌رویه سوخت‌های فسیلی و کودهای شیمیایی هستند. بخش کشاورزی حدود ۱۰ تا ۱۲ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای جهانی را تولید می‌کند و بهبود کارایی مصرف انرژی در آن یک ضرورت زیست‌محیطی محسوب می‌شود. آنچه در مطالعات داخلی مغفول مانده است، نگاه به این شکاف‌ها به‌عنوان فرصت‌های کارآفرینی و ارائه مدل‌های کسب‌وکار قابل تجاری‌سازی است. هدف اصلی این مطالعه شناسایی و کمی‌سازی فرصت‌های کارآفرینی ناشی از کاهش شکاف عملکرد و بهینه‌سازی مصرف انرژی در مزارع گندم استان مازندران بود. اهداف اختصاصی شامل برآورد سهم عوامل مدیریتی در شکاف عملکرد، محاسبه شاخص‌های انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی در چهار سیستم کشت، و ارائه مدل‌های کسب‌وکار مشخص با پیش‌بینی درآمد و بازار هدف بودند.

مواد و روش‌ها: اطلاعات مدیریتی ۱۰۰ مزرعه گندم از بین حدود ۱۳۰۰۰ هکتار گندم آبی منطقه ساری با بررسی میدانی، مصاحبه با کشاورزان و پرسشنامه جمع‌آوری شد. مزارع به‌صورت طبقه‌بندی شده تصادفی انتخاب شدند تا همه روش‌های تولید را پوشش دهند. عملیات زراعی از تهیه بستر تا برداشت شامل خاک‌ورزی، رقم و میزان بذر، کودها و سموم، آبیاری و عملکرد دانه و کاه ثبت گردیدند. عملکرد دانه با رطوبت ۱۴ درصد از دو روش اندازه‌گیری شد: اعلام کشاورز و نمونه‌برداری با کوادرات یک متر مربع. برای تخمین شکاف عملکرد از روش تحلیل مقایسه‌ای مبتنی بر رگرسیون گام به گام استفاده شد. متغیرهای کیفی مانند پیش‌کاشت کلزا، مصرف کود سرک و استفاده از علف‌کش به صورت دامی (صفر و یک) کدگذاری شدند. مزارع به چهار سیستم کشت شامل سنتی، فشرده، مکانیزه و حفاظتی طبقه‌بندی شدند. تراز انرژی با محاسبه انرژی مستقیم، غیرمستقیم، تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر با استفاده از ضرایب استاندارد انجام شد. پتانسیل گرمایش جهانی با ضرایب انتشار IPCC محاسبه و به کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن در هکتار تبدیل شد. مقایسه سیستم‌های کشت با آزمون LSD در سطح ۵ درصد صورت گرفت.

یافته‌ها: شش عامل مدیریتی شامل نیتروژن گلدهی، پتاسیم، کود سرک، نیتروژن پایه، پیش‌کاشت کلزا و علف‌کش بیشترین تأثیر را بر عملکرد داشتند. با مدیریت بهینه، عملکرد پیش‌بینی‌شده (۳۹۲۵ کیلوگرم) به ۵۷۰۸ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت و ۱۷۵۶ کیلوگرم (۸۰ درصد شکاف) جبران شد. سهم عوامل به ترتیب: نیتروژن گلدهی (۴۲۵ کیلوگرم، ۲۴/۲ درصد)، پتاسیم (۳۸۵ کیلوگرم، ۲۱/۹ درصد)، کود سرک (۳۱۵ کیلوگرم، ۱۷/۹ درصد)، نیتروژن پایه (۲۷۵ کیلوگرم، ۱۵/۷ درصد)، پیش‌کاشت کلزا (۲۱۵ کیلوگرم، ۱۲/۲ درصد) و علف‌کش (۱۴۱ کیلوگرم، ۸ درصد) بود. میانگین انرژی ورودی ۱۴۰۹۱ مگاژول در هکتار بود که نیتروژن (۵۸۶۳ مگاژول، ۴۱/۶ درصد)، سوخت (۴۱۲۳ مگاژول، ۲۹/۳ درصد) و بذر (۳۳۶۸ مگاژول، ۲۳/۹ درصد) بیشترین سهم را داشتند. کشت حفاظتی ۳۰ درصد انرژی کمتری (۱۱۴۹۴ مگاژول) نسبت به مکانیزه (۱۵۹۵۶ مگاژول) مصرف کرد و کارایی انرژی آن (۹/۶۳) بالاتر از سایر سیستم‌ها بود. میانگین پتانسیل گرمایش جهانی ۱۴۰۶ کیلوگرم بود که روش حفاظتی با ۱۱۸۴ کیلوگرم، ۲۷ درصد انتشار کمتری نسبت به مکانیزه با ۱۶۲۶ کیلوگرم داشت. بیشترین انتشار مربوط به ادوات و ماشین‌آلات، سوخت، کود نیتروژن و بذر بود و رابطه مستقیم بین انرژی ورودی و انتشار دی‌اکسیدکربن تأیید شد.

نتیجه‌گیری: بین مصرف بی‌رویه نهاده‌ها با کاهش بهره‌وری انرژی، افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و ایجاد شکاف عملکرد رابطه مستقیم وجود دارد. کشت سنتی و فشرده هزینه تولید را افزایش و درآمد کشاورز را کاهش داده است. در مقابل، کشت حفاظتی با ۳۰ درصد انرژی کمتر و ۲۷ درصد انتشار کمتر، الگوی برتر پایداری زیست‌محیطی محسوب می‌شود. این شکاف چهار فرصت کارآفرینی قابل تجاری‌سازی ایجاد می‌کند: شرکت مشاوره مدیریت هوشمند تغذیه گیاه با درآمد از محل صرفه‌جویی کود، شرکت خدمات کشاورزی حفاظتی با هدف کاهش ۳۰ درصدی مصرف سوخت، برند "گندم سبز" با ردپای کربن کم و قابلیت دریافت قیمت بالاتر، و آموزشگاه تخصصی اپراتوری ماشین‌آلات برای کاهش ۲۰ درصدی مصرف سوخت. این کسب‌وکارها نه‌تنها از نظر اقتصادی برای کارآفرینان مقرون‌به‌صرفه هستند، بلکه با کاهش وابستگی به نهاده‌های شیمیایی و سوخت‌های فسیلی، به حفظ منابع پایه و کاهش آلودگی محیط زیست کمک شایانی می‌کنند. به سیاست‌گذاران توصیه می‌شود که چهار اقدام زیر را در اولویت قرار دهند: اعطای وام‌های کم‌بهره با نرخ سود ۴ تا ۸ درصد از سوی بانک کشاورزی به کارآفرینان فعال در حوزه مشاوره تغذیه گیاه و خدمات کشت حفاظتی، اعمال معافیت مالیاتی ۵ ساله برای شرکت‌های دانش‌بنیان فعال در حوزه کشاورزی حفاظتی و مشاوره مدیریت مزرعه، راه‌اندازی بازار داخلی خرید و فروش اعتبار کربن توسط سازمان حفاظت محیط زیست تا کشاورزان بتوانند از کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای خود درآمد اضافی کسب کنند، و تدوین استانداردهای ملی برای "گندم سبز" و "کودکار خبره" توسط سازمان حفظ نباتات و مؤسسه خاک و آب به منظور ایجاد اعتماد در بازار و شفافیت برای مصرف‌کنندگان. اجرای این اقدامات ضمن افزایش بهره‌وری اقتصادی مزارع، به پایداری تولید گندم و کاهش مخاطرات محیط زیستی کمک می‌کند.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی انرژی، ردپای کربن، شکاف عملکرد، کارآفرینی کشاورزی، کشاورزی حفاظتی، مدل کسب‌وکار

[Downloaded from jea.sanru.ac.ir on 2026-10-18]
[DOI: 10.61882/jea.2026.475]

مقدمه

انرژی یکی از مهم‌ترین نهاده‌های توسعه و از عوامل اصلی تولید در بخش کشاورزی محسوب می‌شود (Anonymous, 1996؛ Ozkan *et al*., 2004). بدون دسترسی به منابع انرژی مطمئن و پایدار، هیچ نظام تولید کشاورزی نمی‌تواند به عملکرد مطلوب و بهره‌وری بالا دست یابد. از سوی دیگر، تغییر اقلیم[1] به‌عنوان یکی از نگرانی‌های عمده جهانی، تا حد قابل توجهی ناشی از فعالیت‌های کشاورزی از جمله مصرف بی‌رویه سوخت‌های فسیلی و کودهای شیمیایی است (IPCC, 2007؛ Lal, 2004). بر اساس گزارش‌های هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم[2]، بخش کشاورزی مسئول حدود ۱۰ تا ۱۲ درصد از کل انتشار گازهای گلخانه‌ای[3] جهانی است که سهم عمده آن مربوط به مصرف انرژی فسیلی و انتشار متان و اکسید نیتروژن[4] از مزارع است (Smith *et al.,* 2007). متان ناشی از کشت غرقابی برنج و نشخوار دام، و اکسید نیتروژن ناشی از مصرف کودهای نیتروژنه، به‌ترتیب ۲۵ و ۲۹۸ برابر دی‌اکسیدکربن پتانسیل گرمایش جهانی دارند. بنابر این، بهبود کارایی مصرف انرژی[5] در کشاورزی نه‌تنها یک ضرورت اقتصادی، بلکه یک الزام محیط زیستی و تعهد جهانی در قبال نسل‌های آینده است. مطالعات متعدد نشان داده‌اند که با بهینه‌سازی مصرف نهاده‌ها و جایگزینی انرژی‌های تجدیدپذیر[6]، می‌توان انتشار گازهای گلخانه‌ای را تا ۳۰ تا ۵۰ درصد کاهش داد بدون آن که خللی در تولید محصول ایجاد شود (Gan *et al.,* 2011؛ Snyder *et al.,* 2009). گندم[7] به‌عنوان اصلی‌ترین محصول استراتژیک[8] در سبد غذایی ایران، حدود ۷۵ درصد پروتئین و ۶۵ درصد کالری دریافتی روزانه هر فرد را تأمین می‌کند (Keshavarz *et al.,* 2002). این محصول در الگوی کشت کشور، وسیع‌ترین سطح زیرکشت را به‌خود اختصاص داده است و نقشی بی‌بدیل در تأمین امنیت غذایی[9] و معیشت کشاورزان[10] دارد. علاوه بر این، گندم پایه اصلی صنایع تبدیلی مانند آرد، نان، ماکارونی، بیسکویت و شیرینی است و نوسان در تولید آن، مستقیماً بر سفره مردم و اقتصاد ملی تأثیر می‌گذارد (Nadi *et al.,* 2016). طبق گزارش سازمان خواروبار (FAO, 2013)، سطح زیر کشت گندم در ایران حدود ۴/۶ میلیون هکتار است که استان مازندران[11] با میانگین عملکرد حدود ۳۸۰۰ کیلوگرم در هکتار، یکی از مناطق مهم تولید گندم آبی کشور محسوب می‌شود (Yearbook of Agriculture Statistical, 2014). موقعیت اقلیمی مناسب، وجود اراضی حاصلخیز و دسترسی به منابع آبی، مازندران را به یکی از قطب‌های تولید گندم در شمال کشور تبدیل کرده است (Amini *et al*., 2022; Keikha *et al.,* 2018). با وجود این، میانگین عملکرد گندم در مزارع ایران در مقایسه با عملکرد پتانسیل (بیش از ۷۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) فاصله قابل توجهی دارد (Soltani *et al.,* 2013). این شکاف که اصطلاحاً "خلاء عملکرد[12]" نامیده می‌شود، نه‌تنها یک مسئله فنی-زراعی[13]، بلکه یک فرصت ازدست‌رفته اقتصادی[14] و زمینه‌ای برای خلق کسب‌وکارهای نوین[15] در بخش کشاورزی است (van Ittersum *et al.,* 2013؛ Lobell *et al.,* 2009). به‌عبارتی، هر کیلوگرم افزایش عملکرد در واحد سطح، معادل کاهش سطح زیر کشت، صرفه‌جویی در آب و نهاده‌ها و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای است (Mueller *et al.,* 2012). برای مثال، اگر بتوان خلاء عملکرد گندم را تنها به میزان ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کاهش داد، در سطح کل کشور (۶/۴ میلیون هکتار) سالانه ۶/۴ میلیون تن افزایش تولید حاصل می‌شود که معادل صرفه‌جویی در واردات به ارزش چندین میلیارد دلار و کاهش فشار بر منابع آب و خاک خواهد بود. به‌عبارت دقیق‌تر، با فرض قیمت جهانی گندم حدود ۳۰۰ دلار در هر تن، ارزش سالانه این افزایش تولید حدود ۲ میلیارد دلار خواهد بود. بنابر این، شناسایی عوامل محدودکننده عملکرد و کمی‌سازی سهم هر یک، اولین گام برای طراحی راهبردهای افزایش تولید و ایجاد فرصت‌های کارآفرینانه است.

مطالعات متعددی در جهان به ارزیابی خلاء عملکرد محصولات زراعی پرداخته‌اند. بر اساس یافته‌های پژوهش‌های جهانی، بررسی ۱۰ منطقه مهم تولید گندم در جهان شامل دشت‌های شمال چین، دشت گنگ در هند، دشت بزرگ آمریکا و مناطق مرکزی اروپا نشان داد که خلاء عملکرد گندم در مقیاس جهانی حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد است. نتایج این مطالعات همچنین حاکی از آن هستند که در کشورهای در حال توسعه، خلاء عملکرد به مراتب بیشتر از کشورهای پیشرفته است و مهم‌ترین علت آن، ضعف در مدیریت مزرعه[16] و عدم دسترسی به دانش‌زراعی[17] است (van Ittersum *et al*., 2013). در مطالعه گسترده دیگر، محققان با استفاده از شبیه‌سازی جهانی مبتنی بر داده‌های اقلیمی و خاک مدل مناطق جهانی بوم‌شناختی کشاورزی[18]، خلاء عملکرد برنج، گندم و ذرت را به‌ترتیب ۲۹، ۳۲ و ۳۵ درصد برآورد کردند. آن‌ها همچنین نشان دادند که آفریقا و جنوب آسیا با خلاء عملکرد بیش از ۵۰ درصد، بیشترین پتانسیل افزایش تولید را دارند (Mueller *et al*., 2012). پژوهش‌های دیگری نیز با رویکرد فضایی[19] مبتنی بر داده‌های سنجش از دور[20] نشان داده‌اند که آفریقا و جنوب آسیا بالاترین خلاء عملکرد گندم را دارند و پتانسیل افزایش تولید در این مناطق بسیار بالا است (Neumann *et al*., 2010).

[1] Climate Change
[2] Intergovernmental Panel on Climate Change
[3] Greenhouse Gases
[4] Nitrous Oxide
[5] Energy Use Efficiency
[6] Renewable Energies
[7] Wheat
[8] Strategic crop
[9] Food Security
[10] Farmers' Livelihood
[11] Mazandaran Province, Iran
[12] Yield Gap
[13] Agronomic-Technical
[14] Missed Economic Opportunity
[15] Innovative Businesses
[16] Farm Management
[17] Agronomic Knowledge
[18] Global Agro-Ecological Zones
[19] Spatial Approach
[20] Remote Sensing Data

[Downloaded from jea.sanru.ac.ir on 2026-10-18]
[DOI: 10.61882/jea.2026.475]

به‌تازگی نیز در یک مطالعه مروری گسترده، عوامل مؤثر بر خلاء عملکرد در سه دسته عوامل محیطی[1] (آب و هوا و خاک)، عوامل مدیریتی[2] (کود، آبیاری، تاریخ کاشت، رقم) و عوامل اجتماعی-اقتصادی[3] (دسترسی به اعتبار، دانش کشاورز، اندازه مزرعه) طبقه‌بندی شده‌اند و تأکید گردیده است که برای کاهش خلاء عملکرد، باید به هر سه دسته به‌صورت همزمان توجه شود (Beza *et al*., 2017).

در ایران نیز مطالعات پراکنده‌ای در این زمینه انجام شده‌اند. یک پژوهش که با استفاده از روش تحلیل مقایسه کارکرد[4] در ۲۵ منطقه نخودکاری ایران از اردبیل تا فارس انجام شد، نشان داد که عوامل محیطی (به‌ویژه تنش خشکی انتهای فصل و سرمای بهاره) مهم‌ترین محدودکننده عملکرد نخود هستند. این مطالعه حاکی از آن است که خلاء عملکرد نخود در ایران بین ۴۰ تا ۶۰ درصد متغیر است و پتانسیل افزایش تولید قابل توجهی وجود دارد (Soltani *et al* ،2016). در مطالعه دیگری که با استفاده از آنالیز خط مرزی[5] در ۱۵۰ مزرعه گندم گرگان صورت گرفت، مشخص شد که خلاء عملکرد گندم عمدتاً ناشی از شیوه‌های مدیریتی ناکارآمد شامل تاریخ کاشت نامناسب (تأخیر بیش از ۱۵ روز نسبت به تاریخ بهینه)، مصرف بی‌رویه کود نیتروژن (مصرف بیش از ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار بدون نیاز واقعی) و عدم تعادل در تغذیه گیاه (نسبت نامناسب نیتروژن به فسفر و پتاسیم) است (Hajjarpoor *et al.,* 2015). همچنین، بررسی‌های انجام شده بر روی شش مزرعه گندم در گرگان نشان دادند که دامنه خلاء عملکرد بین ۱۰۰۰ تا ۲۵۰۰ کیلوگرم در هکتار بود و مهم‌ترین عامل، مصرف ناکارآمد کود نیتروژن و سوخت بود (Rajabi *et al* ،2012). پژوهش دیگری در خراسان رضوی نشان داده است که خلاء عملکرد گندم دیم حدود ۴۵ درصد بود و بارندگی و تاریخ کاشت پررنگ‌ترین عوامل مؤثر بودند (Khosravi *et al., 2018*). همچنین مطالعه انجام شده در خوزستان نشان داد که تنش گرمای انتهای فصل و مصرف نامتعادل کودهای پتاسه، مهم‌ترین عوامل ایجاد خلاء عملکرد در گندم بودند (Fathi *et al.,* 2019). در زمینه بیلان انرژی[6] و ردپای کربن[7] نیز مطالعات گسترده‌ای انجام شده‌اند. بر اساس نتایج ارزیابی ۹۷ مزرعه گندم در استان مارمارای ترکیه، سوخت با ۴۵/۱۵ درصد و کود نیتروژن با ۳۱/۷۷ درصد بیشترین سهم را در انرژی ورودی گندم داشتند و کارایی انرژی ۳/۰۹ و انرژی ویژه ۵/۲۴ مگاژول بر کیلوگرم گزارش شدند (Tipi *et al.,* 2009). پژوهش‌های انجام شده در شش مزرعه گندم گرگان نشان دادند که متوسط انرژی ورودی ۱۵۵۷۸ مگاژول در هکتار و نسبت انرژی ۶/۳ بود که بالاتر از میانگین جهانی بود؛ این اختلاف عمدتاً به‌دلیل مصرف بالای کود نیتروژن در ایران (متوسط ۱۰۰-۱۲۰ کیلوگرم در هکتار) در مقایسه با میانگین جهانی (حدود ۷۰ کیلوگرم) است (Soltani *et al.,* 2013). در مطالعه دیگری در استرالیا، انرژی ورودی گندم ۱۸۸۴۷ مگاژول در هکتار و نسبت انرژی ۴/۶ گزارش شدند (Khan et al., 2010). بررسی‌های انجام شده در استان گیلان حاکی از آن هستند که انرژی ورودی برنج ۲۵۰۰۰ مگاژول در هکتار و کارایی انرژی ۴/۲ بودند (Pishgar-Komeleh *et al*., 2011). نتایج تحقیقات با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها[8] در تولید گندم استان خوزستان نشان دادند که با بهینه‌سازی مصرف نهاده‌ها، می‌توان انرژی ورودی را تا ۲۰ درصد کاهش داد بدون آن که عملکرد کاهش یابد (Nabavi-Pelesaraei *et al.,* 2016). در سطح جهانی، مطالعات انجام شده در ترکیه حاکی از آن است که سهم انرژی‌های تجدیدناپذیر در تولید کلزا ۹۹/۰۶ درصد هستند که این وابستگی شدید به منابع فسیلی، چالشی بزرگ برای پایداری کشاورزی محسوب می‌شود (Unakitan *et al.,* 2010). در زمینه پتانسیل گرمایش جهانی، پژوهش انجام شده در هند نشان داده است که انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید برنج ارتباط مستقیمی با میزان مصرف نهاده‌ها دارد و با بهینه‌سازی مصرف نیتروژن و مدیریت آبیاری (زهکشی میان‌فصل)، می‌توان GWP را تا ۴۰ درصد کاهش داد (Pathak & Wassmann, 2007). بر اساس این مطالعات، سوزاندن بقایای گیاهی در مزارع گندم و برنج در شمال هند، سالانه بیش از ۱۰ میلیون تن معادل دی‌اکسیدکربن انتشار می‌دهد. نتایج تحقیقات در جزیره تاسوس یونان حاکی از آن است که انتشار CO_2 در نظام‌های ارگانیک زیتون به‌طور متوسط ۱۵ درصد کمتر از نظام‌های رایج است و این کاهش به مصرف کمتر کودهای شیمیایی و سوخت در نظام‌های ارگانیک نسبت داده شده است (Kaltsas *et al*., 2007). در ایران، برآورد شد که میانگین GWP در تولید گندم گرگان ۶۶۲ کیلوگرم CO_2 در هکتار (فقط ناشی از سوخت) و با احتساب کل نهاده‌ها حدود ۲۵۰۰ کیلوگرم CO_2 در هکتار بود (Rajabi *et al.,* 2012). بررسی نظام‌های مختلف کشت برنج در استان مازندران نشان داد که پتانسیل گرمایش جهانی[9] GWP بین ۲۰۰۰ تا ۳۵۰۰ کیلوگرم CO_2 در هکتار متغیر بود و نظام کشت فشرده[10] بالاترین و نظام کشت حفاظتی[11] پایین‌ترین GWP را داشتند (Dastan *et al.,* 2014). با استفاده از روش ارزیابی چرخه حیات[12] (LCA) در مزارع برنج گیلان، مشخص شد که مرحله تولید کود نیتروژن و مصرف سوخت در مزرعه، بیشترین سهم را در GWP داشتند و با یکپارچه‌سازی مزارع کوچک، می‌توان GWP را تا ۱۸ درصد کاهش داد (Khoshnevisan *et al.,* 2014). در سطح بین‌المللی، مطالعه انجام شده در کانادا حاکی از آن است که به‌ازای هر کیلوگرم نیتروژن مصرفی در تولید ذرت، حدود ۵ کیلوگرم CO_2 انتشار می‌یابد و با جایگزینی تناوب ذرت-لگوم به‌جای کشت مداوم ذرت، می‌توان GWP را تا ۳۰ درصد کاهش داد (Ma *et al.,* 2012).

[1] Environmental Factors
[2] Management Factors
[3] Socio-Economic Factors
[4] CPA
[5] Boundary Line Analysis
[6] Energy Balance
[7] Carbon Footprint
[8] Data Envelopment Analysis (DEA)
[9] Global Warming Potential (GWP)
[10] Intensive Cropping System
[11] Conservation Cropping System
[12] Life Cycle Assessment (LCA)

[Downloaded from jea.sanru.ac.ir on 2026-10-18]
[DOI: 10.61882/jea.2026.475]

همچنین، تحقیقات در دشت‌های بزرگ کانادا نشان دادند که ردپای کربن کلزا و خردل به‌شدت تابع میزان کود نیتروژن بود و با کاهش مصرف نیتروژن از ۱۵۰ به ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، ردپای کربن حدود ۲۵ درصد کاهش یافت (Gan *et al.*, 2012).

آنچه در تمام این مطالعات مغفول مانده است، نگاه کارآفرینانه به این شکاف‌ها است. به‌عبارت دیگر، کمتر پژوهشی در ایران خلاء عملکرد و ردپای محیط زیستی را به‌عنوان بستری برای شناسایی فرصت‌های تجاری و طراحی مدل‌های کسب‌وکار پایدار مورد تحلیل قرار داده است. بیشتر مطالعات موجود، صرفاً به توصیف وضعیت موجود و مقایسه شاخص‌ها بسنده کردند و به این پرسش اساسی پاسخ ندادند که یک کارآفرین در بخش کشاورزی چگونه می‌تواند از این شکاف‌ها برای ایجاد ارزش اقتصادی و اجتماعی[1] استفاده کند. برای پرکردن این شکاف، نیاز به تحلیلی است که هم داده‌های کمی دقیق (میزان خلاء عملکرد، سهم هر عامل، شاخص‌های انرژی و GWP) و هم نگاه کیفی به فرصت‌ها و مدل‌های کسب‌وکار را تلفیق کند. نوآوری پژوهش حاضر در سه سطح قابل تعریف است: نخست، از نظر نظری با ارائه چارچوبی برای یافته‌های فنی (خلاء عملکرد، انرژی و GWP) به فرصت‌های کارآفرینانه عینی و قابل تجاری‌سازی؛ دوم، از نظر روش‌شناختی با تلفیق روش‌های کمی تحلیل خلاء عملکرد و ارزیابی چرخه حیات با رویکرد کیفی شناسایی فرصت[2] که نداشته است؛ و سوم، از نظر کاربردی با ارائه چهار مدل کسب‌وکار مشخص با محاسبات اقتصادی اولیه و پیش‌بینی درآمد و سودآوری، به‌گونه‌ای که قابلیت اجرا توسط کارآفرینان را داشته باشد و نیازهای واقعی بخش کشاورزی را پاسخ گوید. بر این اساس، هدف اصلی این پژوهش، شناسایی و کمی‌سازی فرصت‌های کارآفرینانه ناشی از کاهش خلاء عملکرد و بهینه‌سازی مصرف انرژی در مزارع گندم استان مازندران بود. اهداف اختصاصی شامل برآورد میزان خلاء عملکرد و تعیین سهم هر یک از عوامل مدیریتی در ایجاد آن، محاسبه بیلان انرژی و شاخص‌های بهره‌وری (کارایی انرژی، بهره‌وری انرژی، انرژی ویژه و انرژی خالص) در چهار روش مختلف کشت (رایج، فشرده، مکانیزه و حفاظتی)، تعیین پتانسیل گرمایش جهانی و ردپای کربن در روش‌های مختلف کشت و مقایسه آن با مطالعات مشابه در ایران و جهان، و در نهایت استخراج فرصت‌های قابل تجاری‌سازی از یافته‌های فنی و ارائه مدل‌های کسب‌وکار مشخص شامل منبع درآمد، بازار هدف، سرمایه‌گذاری اولیه و پیش‌بینی سودآوری بودند.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال‌های زراعی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ در منطقه ساری (استان مازندران) انجام شد. منطقه مورد مطالعه با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۱۰ دقیقه شرقی، دارای آب و هوای معتدل خزری با میانگین بارندگی سالیانه ۹۷۷ میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه ۱۷.۵ درجه سانتی‌گراد است. بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، این منطقه جزو اقلیم مرطوب طبقه‌بندی می‌شود (Mazandaran Meteorological Office, 2018). این منطقه با حدود ۱۳۰۰۰ هکتار سطح زیر کشت سالانه، یکی از قطب‌های تولید گندم آبی در استان مازندران محسوب می‌شود (Statistical Yearbook of Agriculture, 2014).

اطلاعات مدیریتی ۱۰۰ مزرعه گندم از طریق مطالعات میدانی، مصاحبه رو در رو با کشاورزان و تکمیل پرسشنامه جمع‌آوری شد. نحوه انتخاب مزارع به‌صورت طبقه‌بندی شده تصادفی[3] بود به‌گونه‌ای که کلیه روش‌های عمده تولید در منطقه (از نظر مصرف نهاده، نوع خاک و اندازه مزرعه) را پوشش دهد. حداقل فاصله بین مزارع منتخب ۵۰۰ متر در نظر گرفته شد تا از همپوشانی اثرات مدیریتی جلوگیری شود. برای هر مزرعه، کلیه عملیات زراعی از مرحله تهیه بستر بذر تا برداشت شامل موارد زیر ثبت گردیدند: نوع و تعداد عملیات خاک‌ورزی (شخم، دیسک، ماله، تسطیح) به‌همراه نوع تراکتور و مدت زمان هر عملیات؛ رقم بذر مورد استفاده، میزان بذر مصرفی (کیلوگرم در هکتار)، تاریخ کاشت و روش کاشت؛ نوع و میزان کودهای شیمیایی مصرفی (نیتروژن، فسفر، پتاسیم) بر حسب کیلوگرم ماده مؤثره در هکتار به‌همراه زمان و روش مصرف؛ نوع و میزان سموم مصرفی (علف‌کش، قارچ‌کش، حشره‌کش) بر حسب کیلوگرم ماده مؤثره در هکتار، تعداد دفعات، زمان و روش آبیاری، و در نهایت تاریخ برداشت، روش برداشت، عملکرد دانه و عملکرد کاه و کلش (کیلوگرم در هکتار). عملکرد دانه بر اساس رطوبت ۱۴ درصد تصحیح شد و از دو روش اندازه‌گیری گردید: عملکرد اعلامی کشاورز بر اساس برداشت واقعی و نمونه‌برداری از پنج نقطه تصادفی هر مزرعه با استفاده از کوادرات یک متر مربع؛ میانگین این دو مقدار به‌عنوان عملکرد نهایی در نظر گرفته شد. همچنین، ۱۰۰ مزرعه بر اساس میزان مصرف نهاده‌ها (بذر، کود نیتروژن، سوخت و سموم) به چهار روش کشت طبقه‌بندی شدند. برای این کار، ابتدا میانگین و انحراف معیار هر نهاده محاسبه گردید. کشت رایج، الگوی غالب منطقه با مصرف متوسط نهاده (۲۱۵ کیلوگرم بذر، ۹۵ کیلوگرم نیتروژن، ۱۰۵ لیتر سوخت در هکتار) بود. کشت فشرده با مصرف بالای نهاده (۲۳۵ کیلوگرم بذر، ۱۱۵ کیلوگرم نیتروژن، ۱۱۲ لیتر سوخت در هکتار) به‌منظور حداکثر عملکرد انجام شد. کشت مکانیزه با استفاده گسترده از ماشین‌آلات سنگین (۲۲۸ کیلوگرم بذر، ۱۰۲ کیلوگرم نیتروژن، ۱۲۵ لیتر سوخت در هکتار) و تردد زیاد در مزرعه مشخص گردید. کشت حفاظتی با کمترین مصرف نهاده (۱۸۰ کیلوگرم بذر، ۷۵ کیلوگرم نیتروژن، ۹۲ لیتر سوخت در هکتار) همراه با حداقل خاک‌ورزی و حفظ بقایای گیاهی در سطح مزرعه انجام شد.

[1] Economic and Social Value
[2] Opportunity Identification
[3] Stratified random sampling

[Downloaded from jea.sanru.ac.ir on 2026-10-18]
[DOI: 10.61882/jea.2026.475]

برای تعیین مدل عملکرد، از روش تحلیل مقایسه کارکرد مبتنی بر رگرسیون گام به گام[1] استفاده شد (De Bie, 2000). در این روش، متغیر وابسته عملکرد دانه و متغیرهای مستقل شامل کلیه عملیات مدیریتی (کمی و کیفی) بودند. متغیرهای کیفی (پیش‌کاشت کلزا، مصرف کود سرک، استفاده از علف‌کش) به‌صورت صفر و یک (متغیر دامی)[2] کدگذاری شدند. قبل از اجرای رگرسیون، آزمون هم‌خطی[3] برای اطمینان از عدم همبستگی شدید بین متغیرهای مستقل انجام شد و متغیرهایی که ضریب تورم واریانس[4] بالاتر از ۱۰ داشتند از مدل حذف شدند (Hajjarpoor *et al*., 2015). مدل نهایی با استفاده از روش آزمون و خطای کنترل شده تعیین شد و در هر گام، متغیری که بیشترین کاهش در معیار AIC را ایجاد کرد وارد مدل شد. رابطه بین متغیرهای مدیریتی با عملکرد دانه از طریق رابطه (۱) برآورد گردید.

$$Y = 3125 - 450X_1 + 425X_2 + 751X_3 + 7X_4 + 5X_5 + 16X_6 \quad (۱)$$

که در آن Y عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)، X_1 پیش‌کاشت کلزا (۰ = بدون پیش‌کاشت، ۱ = با پیش‌کاشت)، X_2 مصرف کود سرک (۰ = عدم مصرف، ۱ = مصرف)، X_3 استفاده از علف‌کش (۰ = عدم استفاده، ۱ = استفاده)، X_4 مصرف نیتروژن در مرحله پایه (کیلوگرم در هکتار)، X_5 مصرف کود پتاسیم (کیلوگرم در هکتار) و X_6 مصرف نیتروژن در مرحله گلدهی (کیلوگرم در هکتار) هستند. معادله رگرسیونی برآورد شده به‌صورت $Y = 3125 - 450X_1 + 425X_2 + 751X_3 + 7X_4 + 5X_5 + 16X_6$ نشان‌دهنده رابطه بین عملکرد دانه گندم (Y) و شش عامل مدیریتی مؤثر است. در این معادله، عدد ۳۱۲۵ به‌عنوان عرض از مبدأ، نشان‌دهنده عملکرد پایه در شرایطی است که هیچ‌یک از این عوامل مدیریتی اعمال نشده باشند. ضریب منفی ۴۵۰- برای متغیر X_1 (پیش‌کاشت کلزا) در مدل CPA ظاهر شده است. هرچند کلزا معمولاً به‌عنوان گیاه بهبود دهنده خاک شناخته می‌شود، این یافته آماری می‌تواند ناشی از هم‌خطی با عوامل مدیریتی ضعیف‌تر در مزارع تحت کشت کلزا باشد (مانند مدیریت نامناسب تاریخ کاشت یا تغذیه). همچنین در منابع علمی، اثرات منفی کلزا بر عملکرد گندم بعدی به‌دلیل بیماری‌های خاک‌زاد نظیر ورتیسیلیوم نیز گزارش شده‌اند (Kirkegaard *et al*., 2008). برای تعیین اثر خالص کلزا بر عملکرد گندم در منطقه مورد مطالعه، نیاز به آزمایش‌های مزرعه‌ای کنترل‌شده با در نظر گرفتن متغیرهای مدیریتی است. لذا این تفسیر، یک فرضیه پژوهشی محسوب می‌شود و تعمیم آن نیازمند مطالعات تکمیلی است. در مقابل، ضرایب مثبت نشان‌دهنده اثر افزایشی هر یک از عوامل بر عملکرد هستند. مصرف کود سرک (X_2) با ضریب ۴۲۵، عملکرد را به همان میزان افزایش می‌دهد. استفاده از علف‌کش (X_3) با ضریب ۷۵۱ نشان‌دهنده اهمیت حیاتی کنترل علف‌های هرز در منطقه ساری است. با توجه به آب و هوای مرطوب منطقه، رقابت علف‌های هرز با گندم می‌تواند به‌طور قابل توجهی عملکرد را کاهش دهد (Hajjarpoor *et al.,* 2015). با این‌حال، بخشی از این ضریب بزرگ ممکن است ناشی از پراکندگی داده‌ها و همچنین نقش علف‌کش به‌عنوان شاخص مدیریت کلی مزرعه باشد؛ به‌طوری که مزارع تحت مدیریت بهتر، علاوه بر کنترل علف هرز، سایر عملیات زراعی را نیز بهینه‌تر انجام می‌دهند. برای تعیین سهم خالص تأثیر علف‌کش بر عملکرد، انجام آزمایش‌های فاکتوریل در مزرعه توصیه می‌شود. در بین عوامل کمی، مصرف نیتروژن در مرحله گلدهی (X_6) با ضریب ۱۶ بیشترین تأثیر مثبت را دارد، به‌طوری که هر یک کیلوگرم افزایش در مصرف نیتروژن در این مرحله، عملکرد را ۱۶ کیلوگرم در هکتار افزایش می‌دهد. ضرایب مثبت ۷ و ۱۶ برای نیتروژن پایه و گلدهی در مدل CPA نشان دهنده اهمیت این عنصر غذایی در مراحل مختلف رشد گندم است. هرچند در روش CPA، رابطه بین متغیرها به‌صورت خطی فرض می‌شود و پاسخ واقعی عملکرد به نیتروژن معمولاً از قانون بازده نهایی کاهشی (رابطه درجه دوم) پیروی می‌کند (Sinclair & Rufty, 2012)، اما دامنه محدود مصرف نیتروژن در این پژوهش (۷۵ تا ۱۱۵ کیلوگرم در هکتار) ممکن است بخشی از پاسخ را به‌صورت خطی نشان دهد. ضرایب متفاوت نیتروژن در مراحل پایه (۷) و گلدهی (۱۶) نشان دهنده اهمیت بیشتر مصرف نیتروژن در مرحله گلدهی هستند که با یافته‌های مطالعات پیشین در این زمینه همخوانی دارد (López- Bellido *et al*., 2025). به‌کارگیری مدل‌های غیرخطی در مطالعات آتی برای تخمین دقیق‌تر پاسخ عملکرد به نیتروژن توصیه می‌شود.

برای ارزیابی کیفیت مدل رگرسیونی، شاخص‌های ضریب تعیین (R^2)، ضریب تعیین تعدیل‌شده (Adjusted R^2)، معیار اطلاعات آکاییک (AIC) و آزمون F مورد استفاده قرار گرفتند. همچنین، فرضیه‌های کلاسیک رگرسیون خطی شامل نرمال بودن باقی‌مانده‌ها (آزمون کولموگروف–اسمیرنوف)، همسانی واریانس (آزمون بروش–پیگن) و عدم خودهمبستگی (آزمون دوربین–واتسون) بررسی شدند (Kutner *et al*., 2005).

به‌طور کلی، این معادله نشان می‌دهد که مدیریت بهینه علف‌های هرز، مصرف به موقع کود سرک و تأمین نیتروژن در مرحله گلدهی، بیشترین بازده را در افزایش عملکرد گندم در منطقه ساری دارند. همچنین، پیش‌کاشت کلزا در این مطالعه با ضریب منفی همراه بود که به‌عنوان یک یافته آماری نیازمند بررسی‌های تکمیلی در قالب آزمایش‌های مزرعه‌ای کنترل‌شده است. به‌طور کلی، این معادله نشان می‌دهد که مدیریت بهینه علف‌های هرز، مصرف به موقع کود سرک و تأمین نیتروژن در مرحله گلدهی، بیشترین بازده را در افزایش عملکرد گندم در منطقه ساری دارند و پیش‌کاشت کلزا به‌عنوان یک عامل محدود کننده باید در الگوی تناوب مورد توجه قرار گیرد.

برای محاسبه خلاء عملکرد، ابتدا با قرار دادن مقادیر متوسط مشاهده شده هر متغیر در مدل، عملکرد پیش‌بینی شده متوسط محاسبه گردید.

[1] Stepwise regression
[2] Dummy variable
[3] Multicollinearity test
[4] Variance Inflation Factor (VIF)

[Downloaded from jea.sanru.ac.ir on 2026-10-18]
[DOI: 10.61882/jea.2026.475]

سپس، با قرار دادن مقادیر بهینه متغیرها (برای متغیرهای با ضریب مثبت، حداکثر مقدار مشاهده شده و برای متغیرهای با ضریب منفی، حداقل مقدار مشاهده شده) در مدل، عملکرد قابل حصول (پتانسیل عملکرد) برآورد شد. اختلاف این دو، برابر خلاء عملکرد کل بود و سهم هر متغیر در ایجاد خلاء عملکرد از حاصل ضرب اختلاف مقدار بهینه و متوسط متغیر در ضریب رگرسیونی آن متغیر محاسبه و سپس به درصد تبدیل شد (Soltani *et al*., 2016).

انرژی ورودی به دو بخش مستقیم (سوخت، نیروی انسانی، الکتریسیته) و غیر مستقیم (کودها، سموم، بذر، ادوات و ماشین‌آلات) تقسیم شد. همچنین، انرژی ورودی از نظر تجدیدپذیری به انرژی تجدیدپذیر[1] (نیروی انسانی، بذر) و تجدیدناپذیر[2] (سوخت، کود، سموم، ماشین‌آلات) تفکیک گردید (Canakci *et al*., 2005). برای محاسبه سوخت مصرفی، زمان کارکرد هر دستگاه (تراکتور، کمباین، سمپاش) ثبت و میزان سوخت مصرفی از رابطه (۲) محاسبه شد.

$$FT = t \times FH \qquad (۲)$$

که در آن FT سوخت مصرفی (لیتر در هکتار)، t زمان کارکرد (ساعت در هکتار) و FH مصرف سوخت تراکتور در ساعت (لیتر بر ساعت) هستند (Abdollahpour & Zarei, 2010). برای تراکتورهای فرگوسن ۲۸۵[3]، مصرف سوخت ۸ لیتر در ساعت، برای جاندیر[4] ۳۳۵۰ حدود ۱۰ لیتر در ساعت و برای نیوهلند TM155[5] حدود ۱۲ لیتر در ساعت در نظر گرفته شد (Rajabi, 2010). انرژی ادوات و ماشین‌آلات از روابط (۳) و (۴) محاسبه شد.

$$TE = UEH \times \mathrm{t} \qquad (۳)$$

$$UEH = (UEW \times W)/ULT \qquad (۴)$$

که در آن UEH انرژی مصرفی ماشین در ساعت، UEW انرژی ساخت و نگهداری (۱۳۸ مگاژول بر کیلوگرم برای تراکتورها و ۷۸ مگاژول بر کیلوگرم برای ادوات)، W وزن ماشین و ULT عمر مفید ماشین (۱۵۰۰۰ ساعت برای تراکتورها و ۱۵۰۰ تا ۲۴۰۰ ساعت برای ادوات) هستند (Dastan, 2012). انرژی بذر، کود و سموم با استفاده از ضریب تبدیل انرژی استاندارد[6] و میزان مصرف ماده مؤثره[7] محاسبه شد (جدول ۱). انرژی خروجی شامل دانه و کاه و کلش بود؛ انرژی خروجی دانه با ضریب ۱۴/۷ و کاه و کلش با ضریب ۱۲/۵ مگاژول بر کیلوگرم محاسبه شد. با توجه به این که بخشی از کاه و کلش در مزرعه باقی می‌ماند، تنها ۷۵ درصد از کل کاه و کلش تولیدی به‌عنوان خروجی انرژی در نظر گرفته شد (Tipi *et al.,* 2009). شاخص‌های انرژی با استفاده از روابط زیر محاسبه شدند (Mandal *et al*., 2002):

– کارایی انرژی (ER = EO / EI)

– بهره‌وری انرژی (EP = PY / EI) بر حسب کیلوگرم بر مگاژول

– انرژی ویژه (SE = EI / PY) بر حسب مگاژول بر کیلوگرم

– انرژی خالص (NEY = EO – EI) بر حسب مگاژول در هکتار که در آنها EO انرژی خروجی، EI انرژی ورودی کل و PY عملکرد دانه هستند.

جدول ۱– معادل‌های انرژی برای ورودی‌ها و خروجی‌ها در تولید گندم

Table 1. Energy equivalents for inputs and outputs in wheat production

منبع Source	معادل انرژی (مگاژول بر واحد) Energy equivalent (MJ unit^{-1})	واحد Unit	ورودی Input
Canakci *et al*., 2005	15.7	کیلوگرم kg	بذر گندم Wheat seed
Johnson *et al*., 2007	1.96	ساعت h	نیروی انسانی Human labor
Canakci *et al*., 2005	62.7	ساعت h	ادوات و ماشین‌آلات Machinery and equipment
Anonymous, 2008d	38	لیتر L	سوخت (گازوئیل) Diesel fuel
Akcaoz *et al*., 2009	60.6	کیلوگرم ماده مؤثر kg active ingredient	کود نیتروژن Nitrogen fertilizer
Akcaoz *et al*., 2009	11.1	کیلوگرم ماده مؤثر kg active ingredient	کود فسفر Phosphorus fertilizer
Akcaoz *et al*., 2009	6.7	کیلوگرم ماده مؤثر kg active ingredient	کود پتاسیم Potassium fertilizer
Rathke & Diepenbrock, 2006	287	کیلوگرم ماده مؤثر kg active ingredient	علف‌کش Herbicide
Tipi *et al*., 2009	14.7	کیلوگرم kg	دانه گندم Wheat grain
Tipi *et al*., 2009	12.5	کیلوگرم kg	کاه و کلش Wheat straws

پتانسیل گرمایش جهانی[1] شاخصی است که مجموع گازهای گلخانه‌ای منتشر شده در طول فرآیند تولید را نشان می‌دهد و به‌منظور قابلیت مقایسه، بر حسب معادل دی‌اکسیدکربن (CO_2) بیان می‌گردد (IPCC, 2007). در این پژوهش، انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از دو منبع اصلی محاسبه شد: مصرف سوخت در مزرعه و همچنین تولید و حمل‌ونقل نهاده‌های مصرفی شامل بذر، کودهای شیمیایی، سموم، ادوات و ماشین‌آلات کشاورزی.

[1] Renewable energy
[2] Non-renewable
[3] Massey Ferguson 285 tractors
[4] John Deere
[5] New Holland TM155
[6] Standard energy coefficient
[7] Active ingredient consumption
[1] Data Envelopment Analysis (DEA)

[Downloaded from jea.sanru.ac.ir on 2026-10-18]
[DOI: 10.61882/jea.2026.475]

برای این‌منظور، از ضرایب انتشار استاندارد موجود در منابع معتبر استفاده گردید (جدول ۲). به این ترتیب که برای هر نهاده، مقدار مصرف شده در مزرعه در ضریب انتشار آن نهاده ضرب شد و سپس مجموع انتشار تمام نهاده‌ها محاسبه گردید (Lal, 2004). علاوه بر این، برای سوخت دیزل مصرفی، انتشار مستقیم ناشی از احتراق در مزرعه شامل سه گاز دی‌اکسیدکربن (CO_2)، متان (CH_4) و اکسید نیتروژن (N_2O) محاسبه گردید. برای تبدیل این گازها به معادل دی‌اکسیدکربن، از ضرایب تبدیل استاندارد هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم استفاده شد به‌طوری که هر کیلوگرم متان معادل ۲۵ کیلوگرم و هر کیلوگرم اکسید نیتروژن معادل ۲۹۸ کیلوگرم دی‌اکسیدکربن در نظر گرفته شد (Dyer & Desjardins, 2006). پس از محاسبه مقدار کل پتانسیل گرمایش جهانی برای هر روش کشت، این شاخص در چهار واحد مختلف بیان شد: در واحد سطح (کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن در هکتار)، در واحد عملکرد دانه (کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن به‌ازای هر تن دانه)، در واحد انرژی ورودی (کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن بر گیگاژول) و در واحد انرژی خروجی (کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن بر گیگاژول) (Soltani *et al.,* 2013).

جدول ۲- ضرایب انتشار دی‌اکسیدکربن برای نهاده‌های مختلف در تولید گندم

Table 2. Carbon dioxide emission coefficients for different inputs in wheat production

منبع Source	ضریب انتشار (kg CO_2 eq/unit) Emission factor	واحد Unit	بخش Section
SimaPro, 2011	0.58	کیلوگرم	بذر Seed
Dyer & Desjardins, 2006	71	گیگاژول	ادوات و ماشین‌آلات Machinery and equipment
Dyer & Desjardins, 2006	2.76	لیتر	سوخت (دیزل) Diesel fuel
Lal, 2004; Pathak & Wassmann, 2007	1.3	کیلوگرم ماده مؤثر	کود نیتروژن Nitrogen fertilizer
Lal, 2004; Pathak & Wassmann, 2007	0.2	کیلوگرم ماده مؤثر	کود فسفر Phosphorus fertilizer
Lal, 2004; Pathak & Wassmann, 2007	0.2	کیلوگرم ماده مؤثر	کود پتاسیم Potassium fertilizer
Lal, 2004; Pathak & Wassmann, 2007	6.3	کیلوگرم ماده مؤثر	علف‌کش Herbicide

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای Microsoft Excel 2016 و SAS 9.3 انجام شد (Soltani, 2007). برای مقایسه روش‌های مختلف کشت (رایج، فشرده، مکانیزه و حفاظتی) از نظر شاخص‌های انرژی، عملکرد و GWP، از آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه[1] استفاده گردید. در صورت معنی‌دار شدن اثر روش کشت، برای گروه‌بندی میانگین‌ها از آزمون کمترین تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد ($P < 0.05$) استفاده شد (سلطانی، ۱۳۸۶). همچنین برای بررسی رابطه بین انرژی ورودی و انتشار دی‌اکسیدکربن، از رگرسیون خطی ساده[2] و ضریب همبستگی پیرسون[3] استفاده گردید (Soltani, 2007).

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تحلیل رگرسیون گام به گام نشان دادند که از میان متغیرهای مدیریتی متعدد (شامل تاریخ کاشت، رقم، تعداد آبیاری، انواع کودها و سموم، عملیات خاک‌ورزی و غیره)، شش عامل بیشترین تأثیر را بر عملکرد دانه گندم داشتند. مدل نهایی عملکرد به‌صورت رابطه (۱) برازش شد. حداقل، متوسط و حداکثر عملکرد مزارع مورد بررسی به‌ترتیب ۲۹۵۱، ۳۷۶۵ و ۴۸۶۵ کیلوگرم در هکتار بودند (جدول ۳).

با مدیریت بهینه متغیرهای وارد شده در مدل، متوسط عملکرد پیش‌بینی شده (۳۹۲۵ کیلوگرم در هکتار) به ۵۷۰۸ کیلوگرم در هکتار قابل افزایش است. به‌عبارت دیگر، ۱۷۵۶ کیلوگرم در هکتار (حدود ۸۰ درصد کل خلاء عملکرد) قابل جبران است. این یافته با نتایج وان ایترسوم و همکاران (van Ittersum *et al*., 2013) که خلاء عملکرد گندم را در مقیاس جهانی ۳۰-۴۰ درصد گزارش کردند و همچنین با یافته‌های (Mueller *et al*., 2012) که خلاء عملکرد گندم جهانی را ۳۲ درصد برآورد کردند، همسو است و نشان می‌دهد که در منطقه مورد مطالعه، پتانسیل افزایش عملکرد قابل‌توجهی بالاتر از میانگین جهانی وجود دارد.

سهم هر یک از عوامل در ایجاد خلاء عملکرد نشان داد که سه عامل کودی (مصرف نیتروژن گلدهی، مصرف پتاسیم و مصرف کود سرک) مجموعاً ۶۴ درصد خلاء عملکرد را ایجاد کردند. این نتیجه بسیار مهم است، زیرا نشان می‌دهد که کشاورزان بدون آگاهی از زمان و مقدار دقیق مصرف کود، نه تنها هزینه اضافی را متحمل می‌شوند، بلکه با مصرف نامتعادل، عملکرد خود را نیز کاهش می‌دهند. این یافته با نتایج راجاپاکس (Rajapakse, 2003) که کود را با ۳۳ درصد مهم‌ترین عامل خلاء عملکرد برنج معرفی کرد، و با یافته‌های پرادهان (Pradhan, 2004) که عوامل مدیریتی را مهم‌ترین محدود کننده عملکرد ذرت دانست، همخوانی دارد.

همچنین، حاجی‌پور و همکاران (Hajjarpoor *et al*., 2015) در مطالعه روی گندم در گرگان نیز نشان دادند که شیوه‌های مدیریتی ناکارآمد در مزارع کشاورزان، مهم‌ترین علت خلاء عملکرد بالا در ایران بود.

[1] One-way ANOVA

[2] Simple Linear Regression

[3] Pearson Correlation Coefficient

[Downloaded from jea.sanru.ac.ir on 2026-10-18]

[DOI: 10.61882/jea.2026.475]

میانگین کل انرژی ورودی در چهار روش کشت ۱۴۰۹۱ مگاژول در هکتار بود (جدول ۴). بیشترین انرژی ورودی مربوط به روش مکانیزه (۱۵۹۵۶ مگاژول در هکتار) و کمترین مربوط به روش حفاظتی (۱۱۴۹۴ مگاژول در هکتار) بودند. روش حفاظتی نسبت به روش مکانیزه حدود ۳۰ درصد انرژی کمتری مصرف کرد. این یافته با نتایج (Nassi o Di Nasso *et al.,* 2011). که گزارش کردند انرژی ورودی نظام‌های کم‌نهاده تا ۳۰ درصد کاهش یافت، مطابقت دارد.

جدول ۳- نتایج تجزیه رگرسیون متغیرهای مختلف بر خلاء عملکرد گندم در منطقه ساری
Table 3. Results of regression analysis of different variables on wheat yield gap in the Sari region

متغیر Variable	ضریب در مدل Model coefficient	بهترین مقدار Best value	متوسط مقدار Average value	خلاء عملکرد (kg/ha) Yield gap	درصد خلاء عملکرد Yield gap
پیش‌کاشت کلزا Pre-sowing canola	4500	0	0.45	215	12.2
مصرف کود سرک Topdressing fertilizer application	425	1	0.23	315	17.9
استفاده از علف‌کش Herbicide application	751	1	0.85	141	8
مصرف نیتروژن پایه Potassium fertilizer application	7	105	25	275	15.7
مصرف کود پتاسیم Potassium fertilizer application	5	115	35	385	21.9
مصرف نیتروژن گلدهی Nitrogen application at flowering	16	38	15	425	24.2
مجموع Total	–	-	–	1756	100

جدول ۴- مقایسه انواع انرژی ورودی و خروجی و شاخص‌های انرژی در روش‌های مختلف کشت گندم
Table 4. Comparison of energy input and output types and energy indicators in different wheat cultivation methods

شاخص Indicator	واحد Unit	کشت رایج Conventional farming	کشت فشرده Intensive farming	کشت مکانیزه Mechanized farming	کشت حفاظتی Conservation farming	میانگین Average
انرژی ورودی کل Total input energy	MJ/ha	13813	15667	15956	11494	14091
انرژی مستقیم Direct energy	MJ/ha	4017	4282	4773	3518	4148
انرژی غیرمستقیم Indirect energy	MJ/ha	9823	11411	11206	7998	9968
انرژی تجدیدپذیر Renewable energy	MJ/ha	3376	3690	3580	2826	3368
انرژی تجدیدناپذیر Non-renewable energy	MJ/ha	10437	11977	12376	8668	10723
انرژی خروجی کل Total output energy	MJ/ha	118397	150854	127347	110628	126814
کارایی انرژی Energy efficiency	-	8.57	9.63	7.98	9.63	9.00
بهره‌وری Productivity	Kg/MJ	0.24	0.25	0.21	0.27	0.24
انرژی ویژه Specific energy	MJ/ha	4.25	4.05	4.77	3.76	4.17
انرژی خالص Net energy	MJ/ha	104584	135187	111391	99134	112723

در بین نهاده‌ها، کود شیمیایی نیتروژن با ۵۸۶۳ مگاژول در هکتار (۴۱/۶ درصد) در رتبه اول، سوخت با ۴۱۲۳ مگاژول در هکتار (۲۹/۳ درصد) در رتبه دوم و بذر با ۳۳۶۸ مگاژول در هکتار (۲۳/۹ درصد) در رتبه سوم قرار گرفتند. سایر نهاده‌ها سهم ناچیزی داشتند. این نتایج با گزارش (Tipi *et al.,* 2009) در ترکیه که کود نیتروژن را با ۳۱/۷۷ درصد و سوخت را با ۴۵/۱۵ درصد بیشترین سهم انرژی ورودی معرفی کردند، و همچنین با یافته‌های (Rajabi *et al.*, 2012) در گرگان که به‌ترتیب کود نیتروژن (۳۸/۳ درصد) و سوخت (۲۲/۵ درصد) را مهم‌ترین منابع انرژی ورودی گزارش کردند، همسو هستند.

شاخص‌های انرژی محاسبه شده نشان دادند که میانگین کارایی انرژی ۹ بود که روش‌های حفاظتی و فشرده با ۹/۶۳ بالاترین و روش مکانیزه با ۷/۹۸ پایین‌ترین کارایی را داشتند. میانگین کارایی انرژی در این مطالعه بالاتر از مقادیر گزارش شده توسط (Tipi *et al.*, 2009) با ۳/۰۹، (Singh *et al.*, 2007). با ۲/۲ تا ۵/۹ و (Canakci *et al.*, 2005). با ۲/۸ است. این اختلاف عمدتاً به‌دلیل عملکرد نسبتاً بالای دانه در این مطالعه (میانگین ۳۳۸۱ کیلوگرم در هکتار) و همچنین محاسبه انرژی کاه و کلش به‌عنوان خروجی مثبت است. بهره‌وری انرژی در روش حفاظتی (۰/۲۷ کیلوگرم بر مگاژول) بالاتر از سایر روش‌ها بود که نشان می‌دهد در این روش، به‌ازای هر واحد انرژی مصرفی، محصول بیشتری تولید شده است. بالاتر بودن انرژی خالص در روش فشرده (۱۳۵۱۸۷ مگاژول در هکتار) ناشی از ورود بسیار بالای نهاده‌ها است، اما از نظر پایداری محیط زیستی مطلوب نیست.

[Downloaded from jea.sanru.ac.ir on 2026-10-18]
[DOI: 10.61882/jea.2026.475]

میانگین انتشار دی‌اکسیدکربن در چهار روش کشت ۱۴۰۶ کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار بود (جدول ۵). بیشترین GWP مربوط به روش مکانیزه (۱۶۲۶ کیلوگرم CO_2 در هکتار) و کمترین مربوط به روش حفاظتی (۱۱۸۴ کیلوگرم CO_2 در هکتار) بودند. روش حفاظتی نسبت به روش مکانیزه حدود ۲۷ درصد انتشار کمتری داشت. این یافته با نتایج (Kaltsas *et al*., 2007) که گزارش کردند انتشار گازهای گلخانه‌ای در نظام‌های ارگانیک و کم‌نهاده کمتر از نظام‌های رایج بود، و همچنین با یافته‌های (Pathak & Wassmann, 2007) که ارتباط مستقیم بین مصرف نهاده و GWP را تأیید کردند، همسو است.

جدول ۵- انتشار دی‌اکسیدکربن ناشی از مصرف انرژی بر حسب کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار
Table 5. Carbon dioxide emissions from energy consumption, in kilograms of CO_2 equivalent per hectare

نهاده Input	کشت رایج Conventional	کشت فشرده Intensive	کشت مکانیزه Mechanized	کشت حفاظتی Conservation	میانگین Average
بذر Seed	124.70	136.30	132.24	104.40	124.41
ادوات و ماشین آلات Machinery and equipment	781	852	994	710	834.25
سوخت Fuel	289.8	309.12	345	253.92	299.46
کود نیتروژن Nitrogen fertilizer	123.5	149/5	132.6	97.5	125.78
کود فسفر Phosphorus fertilizer	8.4	11	10	8.4	9.45
کود پتاسیم Potassium fertilizer	10.4	13.6	11.6	9.6	11.3
علف کش Herbicide	0.693	1.575	0.882	0.504	0.914
کل GWP	1339.49	1473.10	1626.32	1184.32	1405.56

بیشترین سهم انتشار به‌ترتیب مربوط به ادوات و ماشین‌آلات (۸۳۴ کیلوگرم CO_2 در هکتار)، سوخت (۲۹۹ کیلوگرم)، کود نیتروژن (۱۲۶ کیلوگرم) و بذر (۱۲۴ کیلوگرم) بود. با اصلاح ضریب انتشار بذر از ۷/۶۳ به ۰/۵۸ بر اساس منابع معتبر (Nature, 2025)، سهم بذر در انتشار کل از حدود ۵۶ درصد به حدود ۹ درصد کاهش یافت که با یافته‌های سایر مطالعات معتبر (Lal, 2004; Pathak & Wassmann, 2007) که کود نیتروژن و سوخت را منابع اصلی انتشار معرفی می‌کنند، همخوانی کامل دارد. رابطه بین انرژی ورودی و انتشار CO_2 به‌صورت خطی و مستقیم بود ($R^2 = 0.89$)؛ به‌ازای افزایش هر مگاژول انرژی ورودی، حدود ۳۰/۶ کیلوگرم بر هکتار به انتشار دی‌اکسیدکربن افزوده شد. این رابطه مستقیم توسط (Tzilivakis *et al*., 2005) در تولید چغندرقند و همچنین توسط (Soltani *et al*., 2013) در تولید گندم نیز تأیید شده است.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش به‌وضوح نشان می‌دهند که بین مصرف بی‌رویه نهاده‌ها (به‌ویژه کود نیتروژن و سوخت) با کاهش بهره‌وری انرژی، افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و ایجاد خلاء عملکرد، رابطه مستقیم وجود دارد. دلیل این رابطه مستقیم را می‌توان به وابستگی شدید نظام‌های کشت رایج به نهاده‌های فسیلی و شیمیایی نسبت داد؛ به‌گونه‌ای که با افزایش مصرف هر یک از این نهاده‌ها، نه‌تنها عملکرد به نسبت افزایش نمی‌یابد، بلکه بهره‌وری انرژی کاهش و انتشار گازهای گلخانه‌ای افزایش می‌یابد. کشت رایج و فشرده گندم در مازندران، هزینه تولید را افزایش و درآمد کشاورز را کاهش داده است. دلیل این امر را می‌توان در مصرف نامتعادل و بی‌رویه کودهای شیمیایی (به‌ویژه نیتروژن و پتاسیم) و سوخت جستجو کرد که نه‌تنها منجر به افزایش عملکرد نشده است، بلکه با ایجاد خلاء عملکرد، بازده اقتصادی مزارع را کاهش داده است. در مقابل، روش کشت حفاظتی با مصرف ۳۰ درصد انرژی کمتر و انتشار ۲۷ درصد CO_2 کمتر، یک الگوی برتر از نظر پایداری محیط زیستی محسوب می‌شود. دلیل برتری این روش را می‌توان به سه عامل اصلی نسبت داد: (۱) کاهش مصرف سوخت (۹۲ لیتر در هکتار) نسبت به روش مکانیزه (۱۲۵ لیتر)، (۲) کاهش مصرف کود نیتروژن (۷۵ کیلوگرم در هکتار) نسبت به روش مکانیزه (۱۰۲ کیلوگرم)، و (۳) حداقل خاک‌ورزی که ضمن کاهش تردد ماشین‌آلات، به حفظ ساختمان خاک و ترسیب کربن کمک می‌کند (Dastan *et al*., 2014؛ Lal, 2004). پیامد مهم این یافته برای سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان کشاورزی این است که ترویج روش‌های کشت حفاظتی می‌تواند یک راهبرد کلیدی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و افزایش بهره‌وری انرژی در بخش کشاورزی باشد. همچنین، با توجه به این که سه عامل کودی (نیتروژن گلدهی، پتاسیم و کود سرک) ۶۴ درصد خلاء عملکرد را ایجاد می‌کنند، بهینه‌سازی زمان و مقدار مصرف کودهای نیتروژنه و پتاسیمی، یکی از مؤثرترین و کم‌هزینه‌ترین راهکارها برای افزایش عملکرد گندم در منطقه ساری است.

از سوی دیگر، شکاف قابل‌توجه بین وضعیت موجود مدیریت مزارع و وضعیت بهینه، بستری غنی برای خلق چهار فرصت کارآفرینی قابل تجاری‌سازی فراهم کرده است که هر یک می‌تواند به کاهش خلاء عملکرد و بهینه‌سازی مصرف انرژی کمک کند.

[Downloaded from jea.sanru.ac.ir on 2026-10-18]
[DOI: 10.61882/jea.2026.475]

فرصت اول: راه‌اندازی شرکت مشاوره تخصصی "مدیریت هوشمند تغذیه گیاه"

سه عامل کودی (نیتروژن گلدهی، پتاسیم و کود سرک) ۶۴ درصد خلاء عملکرد را ایجاد می‌کنند. این یعنی کشاورزان بدون این که آگاه باشند، کود اضافی مصرف می‌کنند، هم هزینه بالاتری می‌پردازند و هم محصول کمتری برداشت می‌کنند. مدل کسب‌وکار پیشنهادی، تأسیس شرکتی که با نمونه‌برداری از خاک و بافت گیاه، برنامه کوددهی دقیق (زمان، مقدار، نوع کود) را به کشاورزان ارائه دهد، است. منبع درآمد، حق مشاوره ماهانه می‌تواند اخذ ۵ تا ۱۰ درصد از صرفه‌جویی ایجادشده در هزینه کود کشاورز باشد. بازار هدف نیز ۳۷۵۰۰ هکتار گندم آبی مازندران، معادل حدود ۳۷۵۰ کشاورز خواهد بود. با جذب تنها ۱۰ درصد بازار، درآمد سالانه شرکت می‌تواند بیش از ۲ میلیارد تومان باشد.

فرصت دوم: راه‌اندازی شرکت "خدمات کشاورزی حفاظتی"

روش کشت حفاظتی هم انرژی کمتری مصرف می‌کند (۳۰ درصد کمتر)، هم آلودگی کمتری تولید می‌کند (۲۷ درصد کمتر) و هم کارایی انرژی بالاتری دارد (۹/۶۳). اما بسیاری از کشاورزان با این روش آشنایی ندارند یا به ادوات تخصصی آن (خطی کارهای کشت مستقیم، دستگاه‌های خاک‌ورزی مرکب) دسترسی ندارند. مدل کسب‌وکار پیشنهادی، شرکتی که ادوات کشت حفاظتی را اجاره دهد، خدمات اجرایی (کاشت بدون خاک‌ورزی، مدیریت بقایا) ارائه کند و آموزش دهد، می‌تواند مناسب باشد. منبع درآمد نیز اجاره روزانه ادوات، حق‌الزحمه خدمات اجرایی و فروش بسته‌های آموزشی باشد. بازار هدف، ۳۷۵۰۰ هکتار گندم آبی مازندران است که با پوشش ۵ درصد بازار (۱۸۷۵ هکتار)، درآمد سالانه بیش از ۲/۸ میلیارد تومان قابل تحقق است.

فرصت سوم: توسعه برند و بازارسازی برای "گندم سبز" (گندم با ردپای کربن پایین)

گندمی که با روش حفاظتی تولید می‌شود، ۴۴۲ کیلوگرم CO_2 کمتری در هر هکتار منتشر می‌کند. با توجه به افزایش آگاهی محیط زیستی مصرف‌کنندگان و تمایل به پرداخت بیشتر برای محصولات سبز، این یک فرصت طلایی است. مدل کسب‌وکار پیشنهادی، انعقاد قرارداد با کشاورزان برای تولید گندم به‌روش حفاظتی، خرید تضمینی با قیمت بالاتر، بسته‌بندی و برندسازی با عنوان "گندم سبز مازندران" و فروش به نانوایی‌ها و فروشگاه‌های زنجیره‌ای است. منبع درآمد، فروش گندم با قیمت ۱۵ تا ۲۵ درصد بالاتر از نرخ مصوب دولتی و فروش اعتبار کربن برای هر هکتار گندم حفاظتی، کاهش ۰/۷۸ تن دی‌اکسیدکربن CO_2 پیشنهاد می‌شود. این اعتبار را می‌توان در بازارهای کربن به صنایع آلاینده به قیمت ۵ تا ۱۵ دلار به‌ازای هر تن فروخت. برای ۱۰۰۰ هکتار، درآمد سالانه از این محل ۳۹۰۰ تا ۱۱۷۰۰ دلار خواهد بود.

فرصت چهارم: تأسیس "آموزشگاه تخصصی اپراتوری ماشین‌آلات کشاورزی"

نتایج نشان داد که در روش مکانیزه، مصرف سوخت (۱۲۵ لیتر در هکتار) به‌دلیل تردد غیرضروری و تنظیم‌نبودن ادوات، به مراتب بالاتر از روش حفاظتی (۹۲ لیتر) است. مدل کسب‌وکار پیشنهادی، تأسیس آموزشگاه فنی و حرفه‌ای آزاد با مجوز از سازمان فنی و حرفه‌ای برای آموزش اپراتورهای تراکتور و کمباین است. سرفصل‌های آموزش کشاورزان شامل تنظیم موتور، رانندگی اقتصادی، تنظیم ادوات، کاهش مصرف سوخت و ...، و منبع درآمد، شهریه هر دوره پیشنهاد می‌شود. بازار هدف، وجود بیش از ۱۰,۰۰۰ اپراتور ماشین‌آلات کشاورزی در استان مازندران خواهد بود. هر اپراتور با یادگیری مهارت‌های بهینه‌سازی سوخت، می‌تواند سالانه حدود ۱۵ میلیون تومان صرفه‌جویی در هزینه سوخت داشته باشد که بخشی از آن به‌عنوان شهریه قابل دریافت است.

– توصیه‌های سیاستی برای حمایت از کسب‌وکارهای معرفی شده برای شکل‌گیری و رشد این کسب‌وکارها، پیشنهاد می‌شود:

– تسهیلات مالی: بانک کشاورزی وام‌های کم‌بهره (با سود ۴ تا ۸ درصد) برای خرید ادوات کشت حفاظتی و تجهیز آزمایشگاه‌های مشاوره خاک اختصاص دهد.

– معافیت مالیاتی: شرکت‌های فعال در حوزه کشاورزی حفاظتی و مشاوره تغذیه گیاه برای ۵ سال اول فعالیت از مالیات معاف شوند.

– تأییدیه و استانداردسازی: سازمان حفظ نباتات و مؤسسه خاک و آب، استانداردهای "گندم سبز" و "کودکاران خبره " را تدوین و تأییدیه لازم را صادر کنند تا اعتماد کشاورزان جلب شود.

– ایجاد بازار کربن داخلی: سازمان حفاظت محیط زیست، بازار داخلی خرید و فروش اعتبار کربن را راه‌اندازی کند تا کشاورزانی که گندم کم‌کربن تولید می‌کنند، بتوانند از این محل درآمد اضافی کسب کنند.

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از رساله دکتری نویسنده اول با راهنمایی اساتید محترم انجام شده است. به این وسیله از دانشگاه آزاد اسلامی واحد آیت‌الله آملی، سازمان جهاد کشاورزی استان مازندران و کلیه کشاورزان منطقه ساری که در تکمیل پرسشنامه‌ها همکاری نمودند، صمیمانه تشکر می‌گردد.

References

Abdollahpour, S., & Zareie, S. (2010). Evaluation of energy balance in rainfed wheat fields of Kermanshah [MH3.1]province. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production,* 20, 97-106.

Akcaoz, H., Ozcatalbas, O., & Kizilay, H. (2009). Analysis of energy use for pomegranate production in Turkey. *Journal of Food, Agriculture and Environment,* 7(2), 475-480.

Amini, S., Rohani, A., & Zare, A. (2022). Environmental and economic assessment of wheat production in Mazandaran province. *Environmental Science and Pollution Research,* 29(15), 21890-21905.

[Downloaded from jea.sanru.ac.ir on 2026-10-18]

[DOI: 10.61882/jea.2026.475]

Anonymous. (1996). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Revised guidelines for national greenhouse gas inventories. Cambridge University Press.

Beza, E., Silva, J. V., Kooistra, L., & Reidsma, P. (2017). Review of yield gap explaining factors and opportunities for alternative data collection approaches. *European Journal of Agronomy,* 82, 206-222.

Canakci, M. U., Topakci, M. E., Akinci, I., & Ozmerzi, A. (2005). Energy use pattern of some field crops and vegetable production: Case study for Antalya Region, Turkey. *Energy Conversion and Management,* 46(4), 655-666.

Commonwealth of Australia. (2008). National Greenhouse Accounts (NGA) Factors.

Dastan, S., Soltani, A., Noormohammadi, G., & Madani, H. (2014). CO2 emissions and global warming potential due to energy consumption in rice planting systems. *Journal of Agroecology,* 6(4), 823-835.

de Bie, C. M. (2000). Comparative performance analysis of agro-ecosystems. Wageningen University and Research.

Dyer, J. A., & Desjardins, R. L. (2006). Carbon dioxide emissions associated with the manufacturing of tractors and farm machinery in Canada. *Biosystems Engineering,* 93(1), 107-118.

FAO. (2013). Food and Agricultural Organization statistical database. Available at: http://faostat.fao.org

Fathi, G., Zare, A., & Faraji, H. (2019). Effect of heat stress and unbalanced potassium fertilization on wheat yield gap in Khuzestan. *Iranian Journal of Crop Sciences,* 21(3), 215-228. [in Persian]

Gan, Y., Liang, C., Hamel, C., Cutforth, H., & Wang, H. (2011). Strategies for reducing the carbon footprint of field crops for semiarid areas. A review. *Agronomy for Sustainable Development,* 31(4), 643-656.

Hajarpoor, A., & Soltani, A. (2015). Using boundary line analysis in yield gap studies: Case study of wheat in Gorgan. *Journal of Crop Production,* 8(4), 183-201.

Johnson, J. M. F., Franzluebbers, A. J., Weyers, S. L., & Reicosky, D. C. (2007). Agricultural opportunities to mitigate greenhouse gas emissions. *Environmental Pollution,* 150(1), 107-124.

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

Kashka, F. M., Sarvestani, Z. T., Pirdashti, H., Motevali, A., & Nadi, M. (2022). Predicting of Agro-environmental Footprint with Artificial Intelligence (Soybean cultivation in various scenarios). *Research Square,* 1-44. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1098555/v1

Keikha, M., Rashidi, M., & Gholami, A. (2018). Impact of climate and soil factors on wheat yield in Mazandaran province. *Journal of Agricultural Science and Technology,* 20(5), 1023-1036.

Keshavarz, A., Jalal Kamali, M. R., Dehghani, A. B., Hamidnejad, H. M., Sadri, B., Heydari, A., & Mohseni, M. (2002). Project for increasing irrigated and rainfed wheat yield. *Seed and Plant Production Research Institute, Ministry of Agriculture.* [in Persian]

Khan, S., Khan, M. A., & Latif, N. (2010). Energy requirements and economic analysis of wheat, rice and barley production in Australia. *Soil and Environment,* 29(1), 61-68.

Khoshnevisan, B., Rajaeifar, M. A., Clark, S., Shamahirband, S., Anuar, N. B., Shuib, N. L. M., & Gani, A. (2014). Evaluation of traditional and consolidated rice farms in Guilan Province, Iran, using life cycle assessment and fuzzy modeling. *Science of the Total Environment,* 481, 242-251.

Khosravi, M., Soltani, A., & Hajjarpoor, A. (2018). Yield gap analysis of rainfed wheat in Razavi Khorasan province. *Journal of Crop Production,* 11(2), 45-60. [In Persian]

Lal, R. (2004). Carbon emission from farm operations. Environment international, 30(7), 981-990.

Lobell, D. B., Cassman, K. G., & Field, C. B. (2009). Crop yield gaps: their importance, magnitudes, and causes. *Annual Review of Environment and Resources,* 34, 179-204.

Ma, B. L., Liang, B. C., Biswas, D. K., Morrison, M. J., & McLaughlin, N. B. (2012). The carbon footprint of maize production as affected by nitrogen fertilizer and maize-legume rotations. *Nutrient Cycling in Agroecosystems,* 94(1), 15-31.

Mandal, K. G., Saha, K. P., Ghosh, P. K., Hati, K. M., & Bandyopadhyay, K. K. (2002). Bioenergy and economic analysis of soybean-based crop production systems in central India. *Biomass and Bioenergy,* 23(5), 337-345.

Mazandaran Meteorological Office. (2018). Climate of Mazandaran Province. Available at: www.mazmet.ir.

Mueller, N. D., Gerber, J. S., Johnston, M., Ray, D. K., Ramankutty, N., & Foley, J. A. (2012). Closing yield gaps through nutrient and water management. *Nature,* 490(7419), 254-257.

Nabavi-Pelesaraei, A., Hosseinzadeh-Bandbafha, H., Qasemi-Kordkheili, P., Kouchaki-Penchah, H., & Riahi-Dorcheh, F. (2016). Applying optimization techniques to improve of energy efficiency and GHG (greenhouse gas) emissions of wheat production. *Energy,* 103, 672-678.

Neumann, K., Verburg, P. H., Stehfest, E., & Müller, C. (2010). The yield gap of global grain production: A spatial analysis. *Agricultural Systems,* 103(5), 316-326.

o Di Nasso, N. N., Bosco, S., Di Bene, C., Coli, A., Mazzoncini, M., & Bonari, E. (2011). Energy efficiency in long-term Mediterranean cropping systems with different management intensities. *Energy,* 36(4), 1924-1930.

Ozkan, B., Akcaoz, H., & Karadeniz, F. (2004). Energy requirement and economic analysis of citrus production in Turkey. *Energy Conversion and Management,* 45(11-12), 1821-1830.

[Downloaded from jea.sanru.ac.ir on 2026-10-18]

[DOI: 10.61882/jea.2026.475]

Pathak, H., & Wassmann, R. (2007). Introducing greenhouse gas mitigation as a development objective in rice-based agriculture: I. Generation of technical coefficients. *Agricultural Systems,* 94(3), 807-825.
Pishgar, S. H., Rafiee, S., & Sefeedpari, P. (2011). Energy use pattern and sensitivity analysis of rice production: a case study of Guilane province of Iran. *African Crop Science Journal,* 19(2), 117-124.
Pradhan, R. A. (2004). The effect of land and management aspects on maize yield. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enschede (ITC). The Netherlands.
Rajabi, M. H. (2010). Evaluation of energy consumption and related environmental effects in wheat production in Gorgan [Master's thesis, Islamic Azad University, Bojnourd Branch]. [In Persian]
Rajabi, M. H., Zeinali, E., & Soltani, E. (2012). Evaluation of energy use in wheat production in Gorgan. *Journal of Plant Production Research,* 19(3), 143-171.
Rajapakse, D. C. (2003). Biophysical factors defining rice yield gaps. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enschede (ITC). *The Netherlands,* 80.
Rathke, G. W., & Diepenbrock, W. (2006). Energy balance of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) cropping as related to nitrogen supply and preceding crop. *European Journal of Agronomy,* 24(1), 35-44.
Singh, H., Singh, A. K., Kushwaha, H. L., & Singh, A. (2007). Energy consumption pattern of wheat production in India. *Energy,* 32(10), 1848-1854.
Snyder, C. S., Bruulsema, T. W., Jensen, T. L., & Fixen, P. E. (2009). Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems & Environment,* 133(3-4), 247-266.
Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K., ... & Miller, H. (2007). IPCC fourth assessment report (AR4). *Climate Change,* 374.
Soltani, A. (2007). Application of SAS software in statistical analysis. Publication of Jahad-e Daneshgahi Mashhad, 182.
Soltani, A., Hajjarpour, A., & Vadez, V. (2016). Analysis of chickpea yield gap and water-limited potential yield in Iran. *Field Crops Research,* 185, 21-30.
Soltani, A., Rajabi, M. H., Zeinali, E., & Soltani, E. (2013). Energy inputs and greenhouse gases emissions in wheat production in Gorgan, Iran. *Energy,* 50, 54-61.
Statistical Yearbook of Agriculture. (2014). Agricultural statistics: Volume 1, crop products (2013-2014). Office of Statistics and Information Technology, Ministry of Agriculture. [in Persian]
Tipi, T., Cetin, B., & Vardar, A. (2009). An analysis of energy use and input costs for wheat production in Turkey. 352-356.
Tzilivakis, J., Warner, D. J., May, M., Lewis, K. A., & Jaggard, K. (2005). An assessment of the energy inputs and greenhouse gas emissions in sugar beet (Beta vulgaris) production in the UK. *Agricultural Systems,* 85(2), 101-119.
Unakitan, G., Hurma, H., & Yilmaz, F. (2010). An analysis of energy use efficiency of canola production in Turkey. *Energy,* 35(9), 3623-3627.
Van Ittersum, M. K., Cassman, K. G., Grassini, P., Wolf, J., Tittonell, P., & Hochman, Z. (2013). Yield gap analysis with local to global relevance a review. *Field Crops Research,* 143, 4-17.

[Downloaded from jea.sanru.ac.ir on 2026-10-18]

[DOI: 10.61882/jea.2026.475]