



Analysis of Canola (*Brassica napus* L.) Yield Limiting Factors in Miankaleh, Behshahr County, Using Comparative Performance Analysis (CPA)

Atieh Jafari¹, Afshin Soltani^{1*}, Ebrahim Zeinali¹ and Safoora Jafar Nodeh¹

1- Department of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources (GUASNR), Gorgan, Iran

(*- Corresponding author's Email: Afshin.Soltani@gau.ac.ir, Afshin.Soltani@gmail.com)

Received: 01-02-2026 Revised: 28-02-2026 Accepted: 10-03-2026 Available Online: 04-04-2026	How to cite this article: Jafari, A., Soltani, A., Zeinali, E., & Jafar Nodeh, S. (2026). Analysis of canola yield limiting factors in Miankaleh, Behshahr County, using Comparative Performance Analysis (CPA). <i>Journal of Agroecology</i> , 18(1), 39-62. (In Persian with English abstract) https://doi.org/10.22067/AGRY.2026.96208.1257
---	--

Introduction

The pressing need for global food security, particularly concerning strategic oilseeds like canola (*Brassica napus* L.), underscores the importance of increasing agricultural productivity. Mazandaran province, though a major producer, exhibits an average yield (1715 kg.ha^{-1}) even below the national figure, with Behshahr County being a critical area within the province for production. Closing the gap between actual and potential yield remains the most effective pathway to enhanced national oilseed production. This study was specifically undertaken to quantify the yield gap and precisely identify the key managerial constraints responsible for this shortfall in irrigated canola farms within the Miankaleh district of Behshahr County, Mazandaran Province, Iran.

Materials and Methods

The research employed the Comparative Performance Analysis (CPA) methodology across two consecutive cropping seasons (2021-2022 and 2022-2023). The study involved a comprehensive field survey and detailed interviews conducted on 100 canola farms in the Miankaleh region, characterized by a moderate and humid climate. Data collection covered farmer demographics, field characteristics, and intricate details of all agronomic management practices, including land preparation, variety selection, sowing date, fertilization (base and top-dressing), pest and weed control, irrigation, and final yield. The collected data allowed for a thorough analysis, which began with the development of a yield function using stepwise multiple regression. This statistical model linked various management variables (both quantitative and qualitative) directly to grain yield, enabling the estimation of the average observed yield and the attainable potential yield by substituting average and optimal managerial values into the final, predictive model.

Results and Discussion

The average yield achieved by the surveyed farmers was calculated at 2247 kg.ha^{-1} , whereas the estimated potential yield for the region stood at 4798 kg.ha^{-1} . This disparity resulted in a considerable total yield gap of



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

2551 kg.ha⁻¹. Importantly, the stepwise regression analysis successfully isolated and quantified the influence of six distinct managerial factors that collectively accounted for a substantial 89% of this observed yield gap, thereby providing clear targets for intervention. The single largest contributor to the yield loss was identified as the suboptimal management of plant nutrition. A detailed breakdown showed that the most significant individual constraint was the inadequate application of phosphorus (P) fertilizer, contributing a major 43 percent to the total yield gap. Following this, the insufficient or complete lack of amino acid supplements accounted for a further 16 percent reduction in yield, indicating a gap in adopting advanced nutritional practices. Additionally, a deficiency in sulfur (S) fertilizer usage contributed another 6 percent to the gap. Collectively, these nutritional deficiencies highlight that nutrient management is the dominant factor limiting current production. Beyond nutritional issues, pest control emerged as the second principal area of concern. Specifically, inadequate and untimely control of snails during the crucial early stages of the growing season was quantified as contributing a significant 22 percent to the total yield gap. Finally, poor weed management practices also played a role. This was reflected by the high frequency of herbicide application (11 percent contribution) and the need for supplementary hand weeding (1 percent contribution), both of which signal sub-optimal control strategies and increased weed competition that negatively impact yield.

Conclusion

The results unequivocally demonstrate that the most efficient pathway to closing the existing 2551 kg.ha⁻¹ yield gap lies in the optimization of the nutritional management program. Priority must be given to ensuring adequate and timely application of key fertilizers, particularly phosphorus and sulfur, alongside the integration of beneficial supplements such as amino acids. Furthermore, the establishment of an immediate and highly effective strategy for controlling early-season pests, especially snails, is crucial. By focusing resources and efforts on these specifically quantified managerial factors, a significant portion of the current yield shortfall can be practically addressed, leading to enhanced farm profitability and a vital step towards achieving national self-sufficiency in oilseed production.

Acknowledgements

The authors would like to express their sincere gratitude to the respected farmers of the Miankaleh region for their valuable cooperation in data collection. We also acknowledge the support from the faculty and staff at Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources for their guidance and assistance during this research project.

Keywords: Agronomic management, Food security, Mazandaran, Oilseeds, Plant nutrition

مقاله پژوهشی

جلد ۱۸، شماره ۱، بهار ۱۴۰۵، ص ۶۲-۳۹

بررسی عوامل محدودکننده عملکرد کلزا (*Brassica napus* L.) در میانکاله شهرستان بهشهر به روش آنالیز مقایسه کارکرد (CPA)

آتیه جعفری^۱، افشین سلطانی^{۱*}، ابراهیم زینلی^۱ و صفورا جعفر نوده^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۱۹

چکیده

کاهش خلأ عملکرد کلزا (*Brassica napus* L.) به عنوان یکی از راهکارهای کلیدی ارتقای امنیت غذایی و بهره‌وری پایدار کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. هدف از این پژوهش، تعیین میزان خلأ عملکرد و شناسایی مهم‌ترین عوامل مدیریتی محدودکننده آن در مزارع کلزای آبی منطقه میانکاله شهرستان بهشهر با استفاده از روش تحلیل مقایسه کارکرد (CPA) بود. این مطالعه طی دو سال زراعی (۱۴۰۰-۱۴۰۱ و ۱۴۰۱-۱۴۰۲) در ۱۰۰ مزرعه کلزا انجام شد و داده‌های مدیریتی و عملکرد از طریق پیمایش میدانی و مصاحبه جمع‌آوری گردید. نتایج نشان داد که میانگین عملکرد کشاورزان ۲۲۴۷ کیلوگرم در هکتار، درحالی‌که عملکرد پتانسیل ۴۷۹۸ کیلوگرم در هکتار برآورد شد؛ این امر بیانگر وجود خلأ عملکرد قابل توجه ۲۵۵۱ کیلوگرم در هکتار است. تحلیل رگرسیون گام‌به‌گام مشخص کرد که شش عامل مدیریتی، ۸۹ درصد از این خلأ عملکرد را تبیین کردند. بیشترین سهم در کاهش عملکرد مربوط به مدیریت نامناسب تغذیه، به‌ویژه کمبود مصرف کود فسفر (۴۳ درصد)، عدم استفاده از اسید آمینه (۱۶ درصد) و کمبود کود گوگرد (شش درصد) بود. پس از آن، مهار ناکافی حلزون در ابتدای فصل رشد (۲۲ درصد) سهم عمده‌ای در این شکاف داشت. همچنین مدیریت ضعیف علف‌های هرز که منجر به افزایش دفعات استفاده از علف‌کش (۱۱ درصد) و وجین دستی (۱ درصد) شده بود، تأثیر منفی رقابت علف‌های هرز را نشان داد. این نتایج تأکید می‌کند که با تمرکز بر مدیریت بهینه تغذیه (فسفر، گوگرد و اسید آمینه) و مهار به‌موقع آفات مانند حلزون، می‌توان بخش قابل توجهی از خلأ عملکرد موجود را کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: امنیت غذایی، تغذیه گیاهی، دانه‌های روغنی، مازندران، مدیریت زراعی

مقدمه

امروزه با توجه به رشد روزافزون جمعیت و افزایش تقاضا برای مواد غذایی، تأمین امنیت غذایی به یکی از مهم‌ترین چالش‌های جهانی تبدیل شده است (Godfray et al., 2010; Yu et al., 2016). این امر مستلزم افزایش پایدار تولیدات کشاورزی، به‌ویژه محصولات راهبردی مانند دانه‌های روغنی است. در ایران، به‌دلیل

وابستگی به واردات روغن نباتی و کنجاله، تولید داخلی دانه‌های روغنی از اولویت‌های اصلی وزارت جهاد کشاورزی محسوب می‌شود (Eyni-Nargeseh et al., 2020). به همین دلیل در سال‌های اخیر تولید دانه‌های روغنی به‌ویژه کلزا (*Brassica napus* L.) در اولویت برنامه‌های وزارت جهاد کشاورزی قرار گرفته است. سطح زیرکشت، عملکرد و تولید کلزا در ایران در سال ۱۴۰۰ به‌ترتیب ۱۵۴ هزار هکتار، ۱۸۹۰ کیلوگرم در هکتار و ۲۹۱ هزار تن بوده است (Ministry of Jihad Agriculture, 2022). استان مازندران با سطح زیرکشت حدود ۸ هزار هکتار و تولید حدود ۱۶ هزار تن، پس از استان‌های خوزستان (سطح زیرکشت و تولید به‌ترتیب ۵۶ هزار هکتار و ۱۰۸ هزار تن) و گلستان (سطح زیرکشت و تولید به‌ترتیب ۴۵ هزار

۱- گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
(*)- نویسنده مسئول:

(Email: Afshin.Soltani@gmail.com, Afshin.Soltani@gau.ac.ir
<https://doi.org/10.22067/AGRY.2026.96208.1257>

هکتار و ۸۲ هزار تن)، سومین استان تولیدکننده کلزا در کشور است. عملکرد کلزا در این استان کمتر از متوسط کشوری و حدود ۱۷۱۵ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. شایان ذکر است که حدود یک سوم از سطح زیرکشت و تولید کلزا در استان مازندران مربوط به شهرستان بهشهر است (Ministry of Jihad Agriculture, 2022). نقش کلیدی محصولات روغنی مانند کلزا در تأمین امنیت غذایی کشور، ضرورت توجه به افزایش تولید داخلی را بیش از پیش نمایان می‌سازد. امنیت غذایی به معنای دسترسی همه افراد به غذای کافی، سالم و مغذی در تمام اوقات است. این دسترسی باید به گونه‌ای باشد که نیازهای جسمی، اجتماعی و اقتصادی افراد را تأمین کند و به آن‌ها امکان داشتن یک زندگی فعال و سالم را بدهد (FAO, 2002). رشد جمعیت و توسعه اقتصادی هر دو بر تقاضای مواد غذایی در سراسر جهان مؤثر هستند (Halloran et al., 2014). برای تأمین نیاز غذایی نه میلیارد نفر جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰، تولید غذا باید ۶۰ درصد افزایش یابد (Yu et al., 2016). به نظر می‌رسد که ادامه روش‌های کشت‌وکار معمولی قادر به پاسخگویی به این نیازهای رشد جمعیت نخواهد بود (Godfray et al., 2010). برای پاسخگویی به فشار فزاینده تقاضای جهانی غذا، بهبود عملکرد محصول ضروری است. یکی از مؤثرترین راه‌های افزایش تولید، شناسایی و کاهش خلأ عملکرد است که می‌تواند به افزایش قابل توجه تولید محصولات کشاورزی کمک کند. خلأ عملکرد به تفاوت میان عملکرد واقعی مزارع و عملکرد پتانسیل (حداکثر محصول قابل دستیابی در شرایط مدیریتی و منابع بهینه) گفته می‌شود (Lobell et al., 2009). با این حال، دستیابی به ۱۰۰ درصد پتانسیل عملکرد اغلب به دلیل افزایش نامتناسب مصرف نهاده‌ها و فشار زیست‌محیطی، از نظر اقتصادی و محیط زیستی بهینه نیست. بنابراین، هدف‌گذاری واقع‌بینانه بر دستیابی به حدود ۸۰ درصد پتانسیل عملکرد است که به عنوان عملکرد قابل دستیابی شناخته می‌شود و تعادلی میان بهره‌وری بالا، سود اقتصادی و پایداری زیست‌محیطی برقرار می‌کند؛ اختلاف میان عملکرد واقعی و این عملکرد قابل دستیابی نیز خلأ قابل مدیریت نامیده می‌شود (Nehbandani & Soltani, 2018). تحلیل مقایسه کارکرد (CPA^۱) یکی از روش‌هایی است که برای کمی کردن خلأ عملکرد استفاده می‌شود. با استفاده از این روش، محدودیت‌های اصلی عملکرد و توابع کمی شده برای خلأ عملکرد تعیین می‌شوند. در

روش CPA، با استفاده از رگرسیون چندگانه و با روش گام‌به‌گام (Rezaei & Soltani, 1998)، محدودیت‌های عملکرد و در نهایت مدل تولید تعیین می‌شوند. با استفاده از مدل تولید و مقادیر پارامترهای مدل، سهم هر یک از محدودیت‌ها در ایجاد خلأ عملکرد مشخص می‌شود (De Bie, 2000). از این‌رو برای اجرای موفق روش CPA، مطالعه باید روی یک طبقه خاصی از کاربری زمین متمرکز باشد و نیز سامانه‌های کاربری زمین جهت مطالعات پیمایشی باید شامل دامنه متنوعی از فناوری‌ها (مدیریت‌ها) باشند (De Bie, 2000). چندین مطالعه خلأ عملکرد با استفاده از روش CPA در شمال ایران صورت گرفته است که از جمله می‌توان به نهبندانی و همکاران (Nehbandani et al., 2017)، ترابی و همکاران (Torabi et al., 2011)، حاجی‌پور و همکاران (Hajjarpoor et al., 2018) و نکاحی و همکاران (Nekahi et al., 2014) اشاره نمود. براساس اطلس خلأ عملکرد (Soltani et al., 2018)، متوسط عملکرد کلزای آبی در ایران ۱۷۹۸ کیلوگرم در هکتار با پتانسیل عملکرد ۵۰۷۳ کیلوگرم در هکتار است که نشان‌دهنده وجود خلأ عملکرد قابل مدیریت به میزان ۲۲۶۱ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. رهبان و همکاران (Rahban et al., 2022)، عملکرد واقعی و پتانسیل کلزای آبی در مناطق اصلی کشت آن در کشور را بررسی کردند. نتایج نشان داد که عملکرد واقعی کلزای آبی در این مناطق بین ۱۱۸۴ تا ۲۳۵۸ کیلوگرم در هکتار است. عملکرد پتانسیل کلزای آبی نیز بین ۳۸۲۳ تا ۶۵۲۰ کیلوگرم در هکتار برآورد شد. بالاترین عملکرد پتانسیل در استان‌های همدان و لرستان و کم‌ترین آن مربوط به جلگه خوزستان بود. در این مطالعه، خلأ عملکرد کلزای آبی در این مناطق بین ۲۴۸۰ تا ۴۳۶۵ کیلوگرم در هکتار بود که معادل ۵۳ تا ۷۷ درصد است. برای کلزای دیم نیز که عمدتاً در شرق دریای خزر کشت می‌شود، متوسط عملکرد ۱۳۴۹ کیلوگرم در هکتار در مقایسه با پتانسیل آب‌محدود ۳۴۹۴ کیلوگرم در هکتار، بیانگر خلأ عملکرد قابل توجهی است. در این مناطق، به‌ویژه غرب استان گلستان، خلأ عملکرد قابل مدیریت در سطح بالایی قرار دارد که نشان‌دهنده پتانسیل زیاد برای افزایش تولید از طریق بهبود مدیریت زراعی است. در راستای شناسایی دلایل این خلأ عملکرد، مطالعات منطقه‌ای نتایج مشابهی ارائه داده‌اند. برای مثال، نجفی‌راد (Najafi Rad, 2014) در شهرستان علی‌آباد کتول (استان گلستان) با استفاده از روش CPA نشان داد که عدم آبیاری تکمیلی، مشکل علف‌های هرز و مدیریت نیتروژن به ترتیب ۶۱، ۲۱ و

۱۸ درصد از خلأ عملکرد کلزای آبی را تشکیل می‌دهند. همچنین آبروان (Abravan, 2016) در شرق استان گلستان، مهم‌ترین دلایل خلأ عملکرد کلزای آبی را مدیریت نامناسب کود نیتروژن (۲۵ درصد) و گوگرد (۱۶ درصد) و پس از آن، مهار ضعیف علف‌های هرز و بیماری‌ها و مدیریت نامناسب بذر و تاریخ کاشت معرفی کرد. این یافته‌ها بر اهمیت مدیریت تغذیه، آب و آفات و علف‌های هرز در کاهش خلأ عملکرد کلزا در شمال کشور تأکید دارند. یحیی‌پور و همکاران (Yahyapoor et al., 2021) با استفاده از روش CPA به بررسی خلأ عملکرد کلزای آبی در شهرستان نکا پرداختند. نتایج نشان داد که میانگین و حداکثر عملکرد کلزا به‌ترتیب ۲۵۳۶ و ۴۲۶۵ کیلوگرم در هکتار با خلأ عملکرد ۱۷۲۹ کیلوگرم در هکتار بود. این خلأ عملکرد مربوط به مصرف بذر، تاریخ کاشت، آیش و کشت پوششی برنج برابر با ۱۲۴، ۱۰۱، ۲۴۲ و ۲۴۵ کیلوگرم در هکتار بود. متوریان و همکاران (Matourian et al., 2022) به بررسی خلأ عملکرد کلزای آبی با استفاده از روش CPA در منطقه خرمشهر پرداختند. در این مطالعه، میانگین عملکرد واقعی در سطح مزارع، عملکرد قابل حصول و خلأ عملکرد کلزا به‌ترتیب ۱۶۶۳، ۳۱۹۷ و ۱۵۳۳ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. خلأ عملکرد کلزا در این پژوهش ۴۸ درصد بود که نشان‌دهنده تأثیرپذیری بالا نسبت به استفاده از روش‌های مدیریتی مطلوب بود. متغیرهای مؤثر در خلأ عملکرد کلزا، استفاده از دستگاه لولر جهت تسطیح اراضی، میزان تحسیلات کشاورزان، کاربرد کود فسفر، تاریخ مصرف کود پتاسیم، میزان مصرف کود پتاسیم و روش حذف بقایای کشت سال قبل بود که در مجموع ۸۹/۲۷ درصد از کل خلأ عملکرد کلزا در سطح مزارع شهرستان خرمشهر را ایجاد کردند. دستان و همکاران (Dastan et al., 2019)، خلأ عملکرد مرتبط با مدیریت زراعی در تولید کلزا را به‌روش تحلیل مقایسه کارکرد در منطقه نکا ارزیابی کردند. در این مطالعه عملکرد واقعی و پتانسیل عملکرد به‌ترتیب ۲۳۹۴ و ۴۱۱۹ کیلوگرم در هکتار برآورد شد. متغیرهای مصرف کود سرک و پتاسیم خالص به‌ترتیب با ۲۷ و ۱۷ درصد، مهم‌ترین عوامل ایجادکننده خلأ عملکرد بودند.

مرور مطالعات داخلی و بین‌المللی نشان می‌دهد که هرچند مدیریت نامناسب تغذیه، به‌ویژه کمبود فسفر، در بسیاری از مناطق به‌عنوان یکی از عوامل اصلی خلأ عملکرد کلزا شناخته می‌شود، اما شدت و ترکیب این محدودیت‌ها وابسته به شرایط منطقه‌ای است. در ایران، مطالعه CPA در خرمشهر نشان داد که بیش از ۵۰ درصد خلأ

عملکرد ناشی از مصرف ناکافی فسفر بوده است (Matourian et al., 2022)، درحالی‌که در گلستان و دهلران علاوه بر فسفر، مدیریت گوگرد، پتاسیم و نیتروژن نیز نقش تعیین‌کننده‌ای داشته‌اند (Dastan et al., 2016; Abravan, 2016). در چین نیز سهم فسفر در پاسخ عملکرد ۲۳/۱ درصد و نیتروژن ۴۰/۴ درصد گزارش شده است (Zhang et al., 2017). در مقابل، برخی مطالعات شمال ایران بیانگر آن است که عواملی نظیر تاریخ کاشت، میزان بذر، تناوب و زمان‌بندی مصرف نیتروژن نیز سهم بالایی در ایجاد شکاف عملکرد دارند و فسفر همواره عامل غالب نیست (Torabi et al., 2011; Nehbandani et al., 2017). همچنین در سطح جهانی، کمبود گوگرد در خاک‌های پارکلند کانادا (Malhi & Leach, 2000) و برهم‌کنش آب و نیتروژن در اروپا و استرالیا (Hoffmann et al., 2015) به‌عنوان قیود اصلی تولید معرفی شده‌اند. در مجموع، اگرچه محدودیت‌های تغذیه‌ای وجه مشترک بسیاری از مطالعات هستند، اما تنوع عوامل محدودکننده در مناطق مختلف، ضرورت بررسی منطقه‌ای و تحلیل اختصاصی خلأ عملکرد، از جمله در بهشهر را برجسته می‌سازد.

بررسی پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که مطالعات خلأ عملکرد کلزا در استان مازندران عمدتاً در شهرستان‌های نکا و مناطق دیگر صورت گرفته است. با توجه به اینکه شهرستان بهشهر به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مناطق کشت کلزا در استان مازندران شناخته می‌شود، اما تاکنون مطالعه جامعی با استفاده از روش تحلیل مقایسه کارکرد (CPA) برای شناسایی عوامل محدودکننده عملکرد در این منطقه انجام نشده است. این پژوهش با هدف شناسایی و کمی کردن عوامل مؤثر بر شکاف عملکرد کلزا در اراضی آبی شهرستان بهشهر، تخمین سهم هر یک از عوامل مدیریتی و زراعی در ایجاد این خلأ عملکرد و در نهایت ارائه راهکارهای مدیریتی مناسب برای افزایش بهره‌وری تولید کلزا در سال‌های زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ و ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در این منطقه در صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

شهرستان بهشهر یکی از شهرهای استان مازندران است. این شهرستان از سمت شمال به خلیج میانکاله، از سمت شرق به شهرستان گلوگاه، از سمت غرب به شهرستان نکا و در نهایت از سمت جنوب به دامنه‌های البرز منتهی می‌شود. دهستان میانکاله در

شمال استان مازندران و در ۱۲ کیلومتری شمال شهر بهشهر واقع شده است و اقلیمی معتدل و مرطوب دارد و به دلیل مجاورت با دریای خزر و قرارگیری در منطقه‌ای جلگه‌ای، آب‌وهوای ملایم و رطوبت نسبتاً بالایی دارد. میانگین ارتفاع آن حدود ۳۰ متر پایین‌تر از سطح دریاهای آزاد است. مهم‌ترین مؤلفه‌های آب‌وهوایی در طی دوره نمو و رشد گیاه کلزا در منطقه نیز در **جدول ۱** ارائه شده است. آمار هواشناسی فصل رشد کلزا در سال‌های زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ و ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در **جدول ۱** ارائه شده است.

طبق داده‌های هواشناسی، میانگین بارندگی در این دو سال کمتر از میانگین بلندمدت ۱۵ ساله منطقه بوده است. علاوه بر توصیف کلی

اقلیم، شرایط محیطی به عنوان عوامل پس‌زمینه‌ای بر عملکرد بالقوه و خالص عملکرد تأثیر می‌گذارند و می‌توانند بخشی از تغییرات سالانه عملکرد کشاورزان را توضیح دهند. مطالعات مدل‌سازی خالص عملکرد در ایران نیز نشان داده‌اند که انحراف از میانگین بلندمدت بارش و دما باید در تفسیر تفاوت‌های عملکرد ناشی از مدیریت در نظر گرفته شود، زیرا فشارهای اقلیمی می‌توانند تحقق عملکرد بالقوه را حتی تحت مدیریت بهینه محدود کنند (Soltani et al., 2010). مقایسه بارش فصلی با میانگین ۱۵ ساله، زمینه لازم برای تفسیر بزرگی خالص عملکرد را فراهم می‌کند.

جدول ۱- میانگین مؤلفه‌های آب‌وهوایی در فصل رشد کلزا (مهر تا خرداد) در مقایسه با میانگین آمار بلندمدت ۱۵ ساله (۱۳۸۸-۱۴۰۲)
Table 1- Average weather components in the rapeseed growing season (October to June) compared to the 15-year long-term average (2009-2023)

ماه Month	سال Year	دمای کمینه Min. temp. (°C)	دمای بیشینه Max. temp. (°C)	تبخیر و تعرق Evapotranspiration (mm)	بارندگی Precipitation (mm)	رطوبت نسبی Mean humidity (%)	ساعات آفتابی (ساعت در فصل) Sunshines (hours per season)
آبان October	۱۳۹۹-۱۴۰۰ 2020-2021	16.4	24.6	67.7	99.2	78	146.4
	۱۴۰۰-۱۴۰۱ 2021-2022	19.8	28.4	98.9	29.1	78	183.5
آذر November	۱۳۹۹-۱۴۰۰ 2020-2021	9	18.2	30.3	121.4	81	161.6
	۱۴۰۰-۱۴۰۱ 2021-2022	11.8	20.8	33	78.8	81	176.1
دی December	۱۳۹۹-۱۴۰۰ 2020-2021	7.8	17.7	24.4	34.9	82	155.4
	۱۴۰۰-۱۴۰۱ 2021-2022	7.7	15.9	19	37.7	82	109.7
بهمن January	۱۳۹۹-۱۴۰۰ 2020-2021	4.8	14.2	15.3	103.8	83	153.7
	۱۴۰۰-۱۴۰۱ 2021-2022	2.2	12.6	13.7	16	77	167.9
اسفند February	۱۳۹۹-۱۴۰۰ 2020-2021	4.2	13.9	20.5	678	81	159.9
	۱۴۰۰-۱۴۰۱ 2021-2022	2.5	12.6	15.7	62.6	79	166.7
فروردین March	۱۳۹۹-۱۴۰۰ 2020-2021	8.2	15.1	45.8	49	79	118.7
	۱۴۰۰-۱۴۰۱ 2021-2022	7.6	17.1	41.9	106	81	128.3
اردیبهشت April	۱۳۹۹-۱۴۰۰ 2020-2021	10.5	18.6	98.5	18	78	176.7
	۱۴۰۰-۱۴۰۱ 2021-2022	23.2	31.4	226.5	1.2	73	316.3
خرداد May	۱۳۹۹-۱۴۰۰ 2020-2021	15.4	22.4	125	27.2	80	172.2

	۱۴۰۰-۱۴۰۱ 2021-2022	15.2	23.5	127.8	41.4	78	246.7
تبر June	۱۳۹۹-۱۴۰۰ 2020-2021	19.5	27.6	175.7	1.4	74	332.7
	۱۴۰۰-۱۴۰۱ 2021-2022	20.6	25.6	240	6.33	75	262.3
میانگین ۱۵ ساله 15-year Average	۱۳۸۸-۱۴۰۲ 2009-2023	14.1	21.83	85.11	52.63	79.2	197.29

تحلیل داده‌ها

به‌منظور مستندسازی شیوه‌های مدیریتی کشاورزان، از آمار توصیفی و توزیع فراوانی برای هر یک از عملیات زراعی استفاده شد تا دامنه تغییرات و نسبت کشاورزانی که از هر شیوه استفاده کرده‌اند، مشخص شود. برای ارزیابی دلایل خلأ عملکرد از روش تحلیل مقایسه کارکرد (Comparative Performance Analysis - CPA) استفاده شد (De Bie, 2000). این روش یک ابزار کمی برای مقایسه عملکرد کشاورزان مختلف و استخراج عوامل محدودکننده عملکرد است (Soltani, 2007). اساس این روش بر این فرض استوار است که با مقایسه کارکرد مزارع تحت مدیریت‌های متنوع، می‌توان عوامل کلیدی مؤثر بر عملکرد را شناسایی کرد. این رویکرد پیش از این برای تحلیل عملکرد محصولاتی چون گندم در ایران با موفقیت به کار رفته است (Hajjarpoor et al., 2018). فرآیند تحلیل شامل ایجاد یک تابع عملکرد با استفاده از رگرسیون گام‌به‌گام (Stepwise regression) برای تعیین رابطه بین متغیرهای مدیریتی (کمی و کیفی) و عملکرد دانه بود. متغیرهای کیفی به‌صورت صفر و یک کدگذاری شدند. برای افزایش پایداری مدل و قابلیت تکرار، روش رگرسیون گام‌به‌گام با استفاده از انتخاب روبه‌جلو به‌طور دقیق تعریف شد، به‌طوری‌که هر متغیر زمانی وارد مدل شد که سطح معناداری آن کمتر از ۰/۰۵ بود و در صورت افزایش آن به بالای ۰/۱۰، از مدل حذف گردید. این روش نیمه‌خودکار هم‌زمان چندهم‌خطی و بیش‌برازش را کاهش می‌دهد و امکان شناسایی مؤثرترین عوامل مدیریتی را فراهم می‌کند. ابتدا عملکرد واقعی هر متغیر براساس داده‌های مشاهده‌شده و عملکرد پتانسیل آن براساس مدل رگرسیون تخمین زده شد تا نشان دهد که هر متغیر در شرایط بهینه مدیریتی چه مقدار می‌توانست داشته باشد. تفاوت بین عملکرد پتانسیل و واقعی برای هر متغیر به‌عنوان خلأ عملکرد محاسبه شد و سهم درصدی هر عامل در کل خلأ عملکرد مشخص گردید، به‌طوری‌که سهم هر متغیر نشان‌دهنده نقش آن در محدود کردن عملکرد کل بود. به‌عنوان مثال،

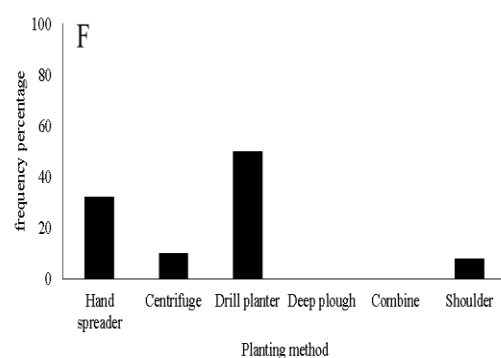
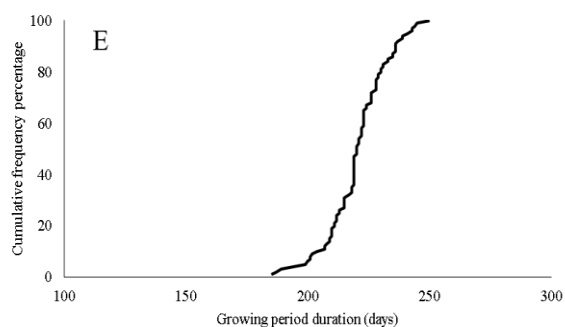
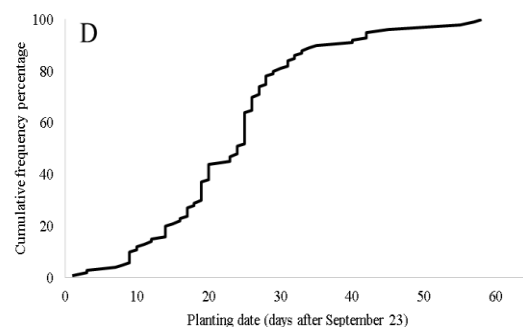
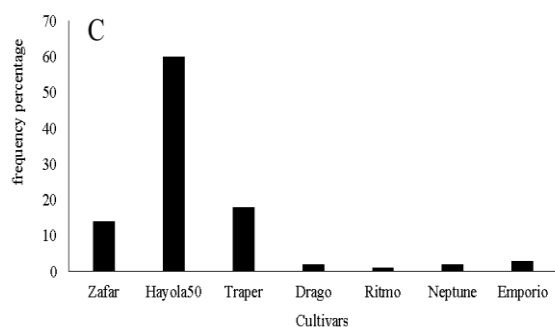
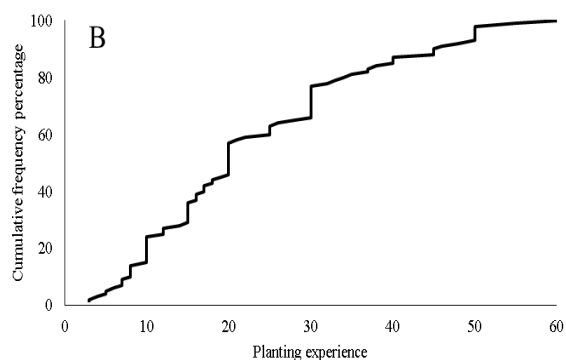
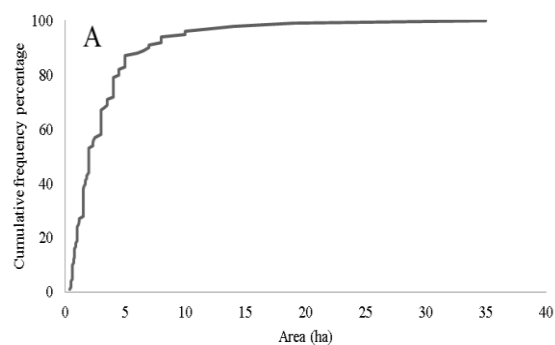
اگر عملکرد واقعی یک مزرعه کمتر از عملکرد پتانسیل باشد، اختلاف آن نشان‌دهنده بخشی از خلأ عملکرد است و سهم درصدی آن نسبت به مجموع خلأهای تمام عوامل بیانگر اهمیت نسبی آن در محدود کردن عملکرد است. براساس نتایج CPA، عوامل محدودکننده عملکرد رتبه‌بندی شدند و سهم درصدی آن‌ها در کل خلأ عملکرد ارائه شد، که امکان اولویت‌بندی اقدامات مدیریتی برای کاهش خلأ عملکرد را تسهیل می‌کند. این رتبه‌بندی کمی با مطالعات پیشین مدل‌سازی خلأ عملکرد که بر تسلط مدیریت ورودی‌ها در توضیح تغییرات بین مزارع تأکید کرده‌اند، همسو است (Soltani et al., 2010; Hajjarpoor et al., 2018). پس از انتخاب متغیرهای نهایی و تشکیل مدل، با قرار دادن مقادیر میانگین مشاهده‌شده از هر متغیر در مزارع، عملکرد متوسط (عملکرد واقعی) محاسبه شد. سپس، با جای‌گذاری مقادیر بهینه (بهترین سطح مشاهده‌شده برای هر متغیر در بین مزارع)، عملکرد پتانسیل برآورد گردید. تفاوت بین این دو سطح عملکرد به‌عنوان خلأ عملکرد کل در نظر گرفته شد. سهم هر عامل مدیریتی در ایجاد این خلأ، از طریق محاسبه تفاوت بین تأثیر مقدار میانگین و مقدار بهینه آن متغیر در مدل مشخص شد (Torabi et al., 2011). کلیه تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۲) و رویه‌های توصیه‌شده (Soltani, 2007) و ترسیم نمودارها با نرم‌افزار Excel انجام شد.

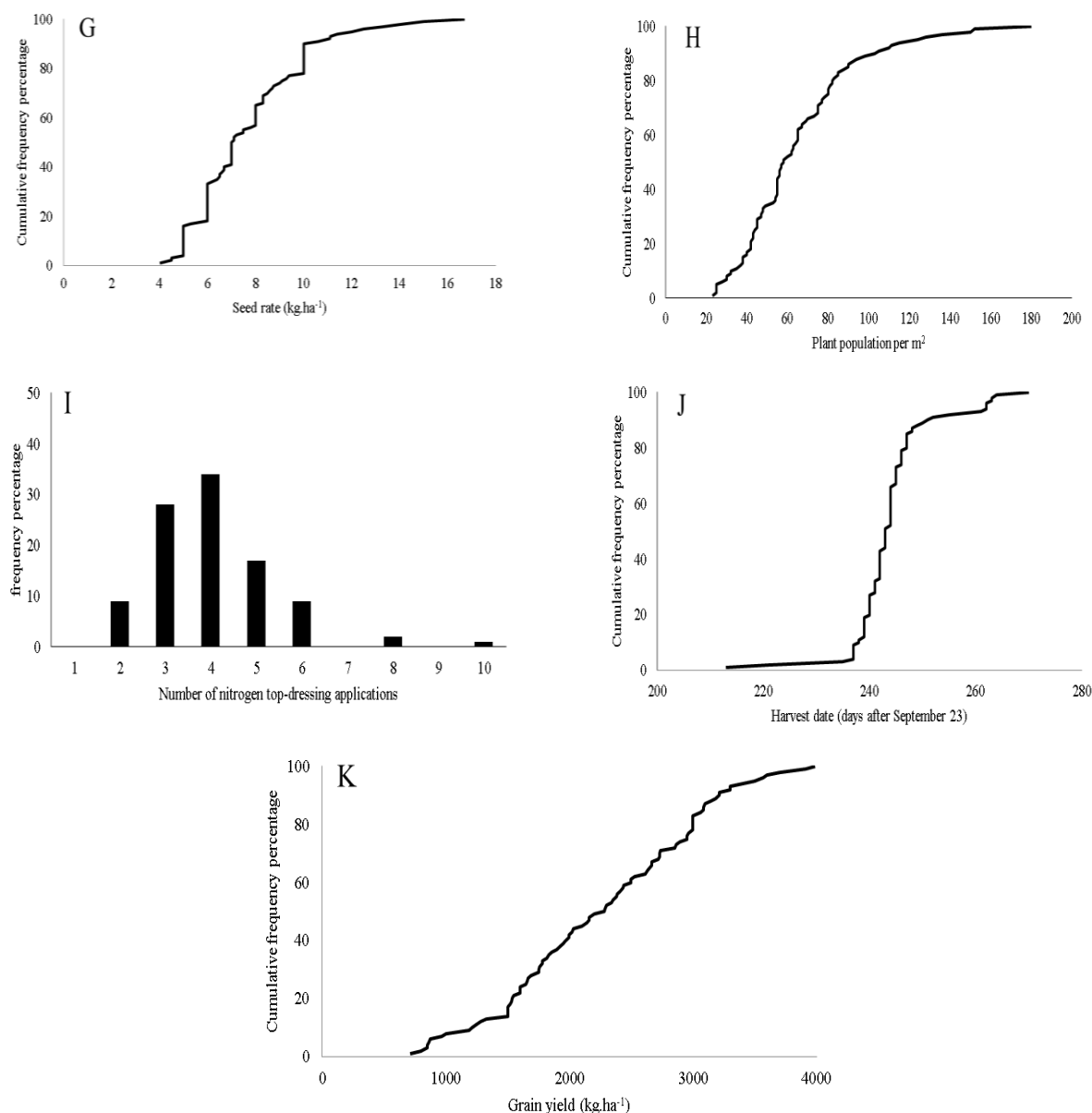
نتایج و بحث

در بررسی مزارع کلزا دهستان میانکاله دامنه، مساحت مزارع بین ۳۰۰۰ مترمربع تا ۱۴۰۰۰۰ مترمربع در نوسان بود و ۸۲ درصد از مزارع مساحت دو هکتار یا کمتر داشتند (شکل ۱). سابقه کشاورزان در تولید کلزا بین ۳ تا ۶۰ سال متغیر بود و ۴۲ درصد از کشاورزان سابقه تولید ۲۰ سال به بالا داشتند (شکل ۱). نود و سه درصد از مزارع مورد بررسی از بذر گواهی‌شده و ۷ درصد از بذر خودمصرفی استفاده کرده

ریتمو، نپتون و امپریو مورد کشت قرار گرفتند. رقم ظفر با ۶۰ درصد بیشترین سطح زیرکشت و رقم ریتمو با یک درصد کمترین سطح زیرکشت را داشتند (شکل ۱).

بودند. در ۹۳ درصد مزارع، از سه قارچ‌کش کربوکسین تیرام داخلی، کربوکسین تیرام خارجی و توبوکونازول جهت ضدعفونی بذور استفاده شد. در این مزارع، هفت نوع رقم شامل ظفر، هایولا ۵۰، تراپر، دراگو،





شکل ۱- توزیع‌های فراوانی (تجمعی و عادی) شاخص‌های زراعی کلزا در دهستان میانکاله، شهرستان بهشهر (شامل A: مساحت زمین، B: سابقه کاشت، C: ارقام، D: تاریخ کاشت، E: طول دوره رشد، F: روش کاشت، G: مقدار بذر، H: تراکم بوته، I: میزان مصرف کود سرک نیتروژن، J: تاریخ برداشت و K: عملکرد دانه)

Fig. 1- Frequency distributions (cumulative and normal) for canola agronomic indicators in Miankaleh Dehestan, Behshahr county (including A: field size, B: farmer's experience, C: cultivars, D: sowing date, E: growth period duration, F: sowing methods, G: seed rate, H: plant population, I: nitrogen top-dressing, J: harvest date and K: yield)

(ترویج)، کشت در زمان مناسبی انجام شد. شرایط آب‌وهوایی سال انجام پژوهش، نوع محصول قبلی کشت‌شده و زمان برداشت آن، نحوه آماده‌سازی زمین و رطوبت مزرعه از دلایل تفاوت در تاریخ کاشت بودند (شکل ۱). طول دوره رشد از ۱۸۵ روز تا ۲۵۰ روز متغیر بود و ۵۳ درصد از مزارع، طول دوره رشدشان در محدوده ۲۲۰ تا ۲۵۰

کشاورزان دهستان میانکاله در فاصله زمانی بین ۱ مهر تا ۲۸ آبان (۱ تا ۵۸ روز پس از مهرماه) اقدام به کشت کلزا نمودند. با اینکه تاریخ کاشت زود هنگام و دیر هنگام در مزارع وجود داشت، اما ۷۶ درصد از مزارع در محدوده ۱۵ تا ۴۵ روز پس از اول مهر (۱۵ مهر تا ۱۵ آبان) کشت شدند و با توجه به تاریخ کاشت توصیه‌شده در منطقه

روز بود (شکل ۱). ۳۲ درصد از مزارع به‌روش دست‌پاش، ۵۰ درصد با استفاده از خطی‌کار، ۱۰ درصد با استفاده از دستگاه ساترینفوژ و هشت درصد با استفاده از کودپاش دوشی کشت شدند (شکل ۱). میزان بذر مصرفی از ۴ تا ۱۶/۷ کیلوگرم در هکتار متغیر بود. میزان بذر توصیه‌شده چهار تا پنج کیلوگرم در هکتار است که تنها در ۱۷ درصد از مزارع، کشاورزان از میزان توصیه‌شده استفاده کردند و سایر مزارع، میزان بالاتری از میزان توصیه‌شده استفاده کردند. دلایل استفاده از میزان بیشتر بذر در یک مزرعه می‌تواند به‌دلیل تنظیم نبودن ادوات کاشت و یا تمایل کشاورزان به داشتن مزارع پرتراکم‌تر باشد، به عبارتی، کشاورزان جهت اطمینان خاطر از سبز شدن یکنواخت مزارع خود ترجیح می‌دهند که از بذر بیشتری در هکتار استفاده کنند (شکل ۱). میزان تراکم بوته در مزارع کلزا از ۲۳ تا ۱۸۰ بوته در مترمربع متغیر بوده و ۱۰ درصد از مزارع تراکم بوته بین ۱۰۳ تا ۱۸۰ بوته در مترمربع داشتند (شکل ۱). در ۸۴ درصد از مزارع کود پایه استفاده شد و در ۱۰۰ درصد از مزارع کود سرک (اوره) مصرف گردید. تعداد دفعات کود سرک مصرفی از ۲ بار تا ۱۰ بار متغیر بوده و در ۳۴ درصد

از مزارع حداقل چهار بار کودپاشی سرک انجام شد (شکل ۱). برداشت مزارع از ۳ اردیبهشت ماه شروع و تا ۲۹ خرداد ماه به‌طول انجامید (۲۱۳ تا ۲۷۰ روز پس از اول مهر ماه). ۸۵ درصد مزارع در محدوده زمانی ۲۷ اردیبهشت تا ۹ خرداد ماه (۲۳۷ تا ۲۵۰ روز پس از اول مهر ماه) برداشت شدند (شکل ۱). درصد فراوانی تجمعی عملکردها در شکل ۱ نشان داده شده است. بر این اساس، کمترین عملکرد ۷۱۳ کیلوگرم در هکتار و بیشترین عملکرد ۳۹۸۵ کیلوگرم در هکتار بود. پس از بررسی توصیفی مزارع، به‌منظور شناسایی عوامل مدیریتی تأثیرگذار بر عملکرد دانه کلزا، تأثیر متغیرهای مختلف ارزیابی شد. در این راستا، ابتدا میزان معنی‌داری و تأثیرگذاری فاکتورهای مختلف مدیریتی بر عملکرد کلزا با استفاده از آنالیز واریانس بررسی شد که نتایج آن در جداول ۲ و ۳ نشان داده شده است.

از میان پارامترهای مختلف کمی مورد بررسی؛ سن کشاورز، مقدار فسفر سرک، دفعات دفع حلزون، تعداد دفعات علف‌کش، تعداد وجین و نمره مشکل علف‌هرز براساس تجزیه رگرسیون ساده خطی، تأثیر معنی‌داری بر عملکرد کلزا داشتند (جدول ۲).

جدول ۲- بررسی معنی‌داری متغیرهای کمی مورد مطالعه بر عملکرد کلزا

Table 2- Study of the significance of the studied (quantitative) variables on canola yield

متغیر Variable	a±se	b±se	R ²	معنی‌داری Pr>F
سن (سال) Age (year)	2860.01±297.63	-13.28±6.3	0.0428	0.0389 *
سابقه تولید (سال) Production experience (year)	2450.87±152.17	-8.32±5.64	0.0217	0.1433 Ns
سابقه تولید کلزا (سال) Canola production experience (year)	2323.1±115.34	-8.62±11.19	0.006	0.4427 Ns
مساحت کل (هکتار) Total canola area (ha)	2366.62±98.18	-31.9±17.73	0.032	0.0751 Ns
آخرین سال از کشت بقولات (سال) Last year of legume cultivation (year)	2288.64±88.53	-24.79±33.13	0.0057	0.4562 Ns
بقایای محصول قبلی (درصد) Previous crop residue (%)	2550.5±316.21	-161.66±169.26	0.0092	0.3419 Ns
مشکل زهکش (نمره) Drainage problem (score)	2282.19±82.68	-202.4±220.97	0.0085	0.3619 Ns
مشکل آب‌گرفتگی (نمره) Waterlogging problem (score)	2274.48±83.34	-127.5±215.19	0.0036	0.5549 Ns
تعداد شخم (تعداد) Plowing count (count)	2158.83±163.49	79.26±114.75	0.0048	0.4914 Ns
تعداد دیسک (تعداد) Disk count (count)	2192.13±217.09	25.3±77.83	0.0011	0.7458 Ns

مقدار بذر (کیلوگرم در هکتار) Seed rate(kg.ha ⁻¹)	1938.12±263.9	41.35±32.6	0.0162	0.2076	Ns
عمق کاشت (سانتی متر) Sowing depth (cm)	2160.58±195.75	43.45±80.05	0.003	0.5885	Ns
تاریخ کاشت به روز (روز از اول مهر) Sowing date (days after September 23)	2068.01±185.8	8.07±7.17	0.0128	0.2627	Ns
مقدار نیتروژن خالص پایه (کیلوگرم در هکتار) Base N (kg.ha ⁻¹)	2277.41±98.2	-1.58±4.75	0.0011	0.7411	Ns
مقدار کود پتاس خالص پایه (کیلوگرم در هکتار) Base K (kg.ha ⁻¹)	2195.92±95.96	4.49±4.03	0.0125	0.2683	Ns
مقدار فسفر پایه (کیلوگرم در هکتار) Base P (kg.ha ⁻¹)	2298.24±121.35	-1.58±3.63	0.0019	0.6637	Ns
مقدار کود خالص گوگرد پایه (کیلوگرم در هکتار) Base S (kg.ha ⁻¹)	2238.72±91.44	0.78±1.91	0.0017	0.6826	Ns
مقدار منیزیم پایه (کیلوگرم در هکتار) Base Mg (kg.ha ⁻¹)	2263.66±80.84	-10.61±34.73	0.001	0.7607	Ns
مقدار آهن پایه (کیلوگرم در هکتار) Base Fe (kg.ha ⁻¹)	2250.41±78.68	1070.84±1123.99	0.0092	0.3431	Ns
مقدار منگنز پایه (کیلوگرم در هکتار) Base Mn (kg.ha ⁻¹)	2250.41±78.68	1873.98±1966.98	0.0092	0.3431	Ns
مقدار روی پایه (کیلوگرم در هکتار) Base Zn (kg.ha ⁻¹)	2248.79±78.59	79.23±71.37	0.0124	0.2696	Ns
مقدار اسیدهیومیک (کیلوگرم در هکتار) Humic acid amount (kg.ha ⁻¹)	2266.08±79.23	-8.03±10.99	0.0054	0.4667	Ns
تعداد کود سرک (تعداد) Top-dress count (count)	2385.95±249.46	-32.01±59.19	0.003	0.5899	Ns
مقدار نیتروژن خالص سرک (کیلوگرم در هکتار) Top-dress N(kg.ha ⁻¹)	2018.48±211.5	1.2±0.99	0.0149	0.2261	Ns
مقدار فسفر سرک (کیلوگرم در هکتار) Top-dress P(kg.ha ⁻¹)	2234.21±77.59	408.61±188.19	0.0459	0.0323	*
مقدار پتاس خالص سرک (کیلوگرم در هکتار) Top-dress K (kg.ha ⁻¹)	2247.8±81.52	3.47±7.49	0.0022	0.6439	Ns
مقدار گوگرد سرک (کیلوگرم در هکتار) Top-dress S (kg.ha ⁻¹)	2217.04±82.5	20.4±13.74	0.022	0.1408	Ns
تعداد اسیدهیومیک (تعداد) Humic acid count (count)	2191.94±90.48	115.72±80.93	0.0204	0.1559	Ns
مقدار اسیدهیومیک (کیلوگرم در هکتار) Humic acid amount (kg.ha ⁻¹)	2238.75±81.69	5.97±7.19	0.007	0.4079	Ns
تعداد اسیدفولویک (تعداد) Fulvic acid count (count)	2260.16±79.01	-225.16±790.1	0.0008	0.7763	Ns
مقدار اسیدفولویک (کیلوگرم در هکتار) Fulvic acid amount (kg.ha ⁻¹)	2260.16±79.01	-450.31±1580.2	0.0008	0.7763	Ns
تعداد تقویتی (تعداد) Booster count (count)	2288.39±89.48	-56.45±79.72	0.0051	0.4805	Ns
مقدار کود تقویتی (کیلوگرم در هکتار) Booster amount (kg.ha ⁻¹)	2265.37±85.35	-7.73±34.37	0.0005	0.8225	Ns

تعداد اسید آمینه (تعداد)	2227.83±82.85	180.08±164.43	0.0121	0.2761	Ns
Amino acid count (count)					
مقدار کود مرغی (تن در هکتار)	2229.3±81.77	0.14±0.12	0.014	0.2411	Ns
Poultry manure amount (t.ha ⁻¹)					
مقدار کود دامی (تن در هکتار)	2243.64±81.15	0±0.01	0.0048	0.4931	Ns
Animal manure amount (t.ha ⁻¹)					
تعداد دفعات آفت کش (تعداد)	2209.62±89.67	112.29±102.19	0.0122	0.2745	Ns
Pesticide count (count)					
دفعات دفع حلزون (تعداد)	2180.04±80.08	278.08±95.72	0.0793	0.0045	**
Snail control count (count)					
تعداد دفعات علف کش (تعداد)	2568.71±135.7	-248.64±90.06	0.0722	0.0069	**
Herbicide count (count)					
تعداد دفعات قارچ کش (تعداد)	2300.67±99.42	-99.45±142.03	0.005	0.4855	Ns
Fungicide count (count)					
تعداد وجین (تعداد)	2438.01±86.62	-353.14±90.8	0.1337	0.0002	**
Hand weeding count (count)					
تراکم بوته کلزا در مترمربع (بوته در مترمربع)	2167.96±191.44	1.38±2.68	0.0027	0.6076	Ns
Plant density (plants m ⁻²)					
تراکم علف هرز در مترمربع (بوته در مترمربع)	2315.49±85.17	-3.11±1.89	0.0267	0.1044	Ns
Weed density (plants m ⁻²)					
تاریخ برداشت (روز از اول مهر)	3756.22±2509.6	-6.14±10.28	0.0036	0.5517	Ns
Harvest date (days after September 23)					
مشکل ورس (نمره)	1675.28±321.77	554.89±297.48	0.0343	0.0651	Ns
Lodging problem (score)					
مشکل آفات (نمره)	1857.89±801.17	396.06±789.42	0.0026	0.617	Ns
Pest problem (score)					
نمره مشکل بیماری (نمره)	2439.9±205.4	-166.97±174.22	0.0093	0.3402	Ns
Disease problem score (score)					
نمره مشکل علف هرز (نمره)	2913.35±127.23	-334.41±55.16	0.2728	0	**
Weed problem score (score)					

ns به ترتیب نشان دهنده معنی داری در سطوح ۱ درصد، ۵ درصد و عدم معنی داری هستند.

**, * and ns are significant at 1%, 5%, and non-significant, respectively.

جدول ۳- بررسی معنی داری متغیرهای کیفی مورد مطالعه بر عملکرد کلزا

Table 3- Significant study of the studied (qualitative) variables on rapeseed yield

متغیر Variable	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares	معنی داری Pr>F
کشت تابستانه قبلی: آیش Previous summer: Fallow	1	7221915	0.0004 **
کشت تابستانه قبلی: کنجد Previous summer: Sesame	1	575154	0.335 Ns
کشت تابستانه قبلی: پنبه Previous summer: Cotton	1	1434083	0.1265 Ns
کشت تابستانه قبلی: برنج Previous summer: Rice	1	5659569	0.002 **
کشت تابستانه قبلی: آفتابگردان Previous summer: Sunflower	1	1096931	0.1821 Ns

کشت تابستانه قبلی: گوجه‌فرنگی Previous summer: Tomato	1	231851	0.541 Ns
کشت تابستانه قبلی: سویا Previous summer: Soybean	1	178951	0.5913 Ns
کشت تابستانه قبلی: هندوانه Previous summer: Watermelon	1	168224	0.6027 Ns
کشت پاییزه قبلی: گندم Previous fall: Wheat	1	6538425	0.0008 **
کشت پاییزه قبلی: کلزا Previous fall: Canola	1	1011332	0.2003 Ns
کشت پاییزه قبلی: آیش Previous fall: Fallow	1	1974547	0.0723 Ns
کشت پاییزه قبلی: آفتابگردان Previous fall: Sunflower	1	2037124	0.0679 Ns
کشت پاییزه قبلی: شبدر Previous fall: Clover	1	18433	0.8633 Ns
کشت پاییزه قبلی: جو Previous fall: Barley	1	437211	0.4008 Ns
کشت پاییزه قبلی: باقلا Previous fall: Faba bean	1	205203	0.5653 Ns
شخم: انجام شده/نشده Plowing: Yes/No	1	20294	0.8566 Ns
دیسک: انجام شده/نشده Disk: Yes/No	1	74916	0.7284 Ns
تسطیح: انجام شده/نشده Leveling: Yes/No	1	1754636	0.0906 Ns
ماله‌کشی: انجام شده/نشده Harrowing: Yes/No	1	5393636	0.0026 **
ضدعفونی: انجام شده/نشده Seed treatment: Yes/No	1	326688	0.4679 Ns
استفاده از کربوکسین تیرام داخلی Use of Carboxin Thiram - Domestic	1	584482	0.3311 Ns
استفاده از کربوکسین تیرام خارجی Use of Carboxin Thiram - Foreign	1	3953019	0.0103 *
استفاده از تبوکونازول Use of Tebuconazole	1	612653	0.3196 Ns
رقم کشت‌شده: ظفر Cultivar: Zafar	1	1480625	0.1205 Ns
رقم کشت‌شده: هایولا ۵۰ Cultivar: Hayola 50	1	9520	0.9015 Ns
رقم کشت‌شده: تراپر Cultivar: Trapper	1	1998880	0.0706 Ns
رقم کشت‌شده: دراگو Cultivar: Drago	1	50886	0.7748 Ns
رقم کشت‌شده: ریتمو Cultivar: Ritmo	1	198146	0.5721 Ns

رقم کشت شده: نپتون Cultivar: Neptune	1	1169658	0.1681 Ns
رقم کشت شده: امپریو Cultivar: Imperio	1	816343	0.2502 Ns
بذر مال: انجام شده/نشده Seed coating: Yes/No	1	411446	0.4151 Ns
نوع بذر: گواهی شده/خودمصرفی Seed type: Certified/Self-consumed	1	1325336	0.1421 Ns
استفاده از: بذر گواهی شده سوناسی Use of: Sonasi certified seed	1	533267	0.3533 Ns
استفاده از خطی کار Use of row planter	1	4310233	0.0073 **
استفاده از سانتریفوژ Use of centrifuge	1	383471	0.4315 Ns
روش کشت: دست پاش Sowing method: Hand broadcasting	1	2171211	0.0593 Ns
استفاده از کود پایه Use of base fertilizer	1	3175621	0.022 *
استفاده از کود نیتروژن پایه Use of base N	1	1450	0.9615 Ns
استفاده از کود پتاس پایه Use of base K	1	112309	0.6707 Ns
استفاده از کود فسفر پایه Use of base P	1	1492415	0.119 Ns
استفاده از کود گوگرد پایه Use of base S	1	600045	0.3247 Ns
استفاده از منیزیم Use of magnesium	1	23824	0.8448 Ns
استفاده از آهن Use of iron	1	556268	0.3431 Ns
استفاده از منگنز Use of manganese	1	556268	0.3431 Ns
استفاده از روی Use of zinc	1	1261113	0.1522 Ns
استفاده از هیومیک اسید Use of humic acid	1	177409	0.5929 Ns
استفاده از گوگرد سرک Use of top-dress S	1	1459739	0.1232 Ns
استفاده از اسید هیومیک Use of humic acid	1	1137112	0.1742 Ns
استفاده از فولویک اسید Use of fulvic acid	1	50189	0.7763 Ns
استفاده از کود تقویتی Use of booster fertilizer	1	931338	0.2192 Ns
استفاده از اسید آمینه Use of amino acid	1	1708407	0.095 Ns

استفاده از کود مرغی Use of poultry manure	1	3314037	0.0192 *
استفاده از کود دامی Use of animal manure	1	27915	0.8322 Ns
استفاده از آفت کش Use of pesticide	1	456690	0.3905 Ns
استفاده از سایپرمترین Use of Cypermethrin	1	70040	0.7371 Ns
استفاده از مالاتیون Use of Malathion	1	198146	0.5721 Ns
استفاده از دورسبان Use of Dursban	1	7	0.9972 Ns
استفاده از استامی پراید Use of Acetamiprid	1	352138	0.451 Ns
استفاده از دیازینون Use of Diazinon	1	348425	0.4534 Ns
استفاده از سومیتون Use of Sumithion	1	483834	0.3767 Ns
استفاده از روی آگرو Use of Zinc Agro	1	1965414	0.073 Ns
استفاده از دلتامترین Use of Deltamethrin	1	227036	0.5453 Ns
استفاده از پرمترین Use of Permethrin	1	580222	0.3328 Ns
استفاده از تری کلوروفن (دیتراکس) (Use of Trichlorfon)	1	41096	0.7971 Ns
استفاده از کنفیدور Use of Confidor	1	556268	0.3431 Ns
استفاده از متالدهاید Use of Metaldehyde	1	522430	0.3583 Ns
استفاده از سوین Use of Sevin	1	358918	0.4467 Ns
استفاده از استامی پراید و سایپرمترین Use of Acetamiprid + Cypermethrin	1	23985	0.8443 Ns
استفاده از استامی پراید و پروفنفس Use of Acetamiprid + Profenofos	1	1928951	0.0758 Ns
استفاده از استامی پراید و دیازینون Use of Acetamiprid + Diazinon	1	636	0.9745 Ns
استفاده از روی آگرو و کنفیدور Use of Zinc Agro + Confidor	1	584340	0.3311 Ns
استفاده از سایپرمترین و متالدهاید Use of Cypermethrin + Metaldehyde	1	2162025	0.0599 Ns
دفع حلزون Snail control	1	6289913	0.0011 **
استفاده از علف کش Use of herbicide	1	1329127	0.1415 Ns

استفاده از ترفلان Use of Trifluralin	1	2632898	0.0374 *
استفاده از بوتیزان استار Use of Butisan Star	1	32192	0.82 Ns
استفاده از سلکت سوپر Use of Select Super	1	604574	0.3229 Ns
استفاده از سوپر گالانت Use of Super Gallant	1	1073756	0.1827 Ns
استفاده از لونتر Use of Lontrel	1	1077468	0.186 Ns
استفاده از اختلاط سلکت سوپر و لونتر Mix of Select Super + Lontrel	1	1573850	0.1093 Ns
استفاده از اختلاط سلکت سوپر و کلین وید Mix of Select Super + Clean Weed	1	1965414	0.073 Ns
استفاده از گراماکسون Use of Gramoxone	1	23985	0.8443 Ns
استفاده از رانداپ قبل از کاشت Use of Roundup pre-sowing	1	923351	0.2212 Ns
استفاده از رانداپ حاشیه مزرعه Use of Roundup field margin	1	547053	0.347 Ns
لکه گیری علف هرز با توفوردی Spot treatment with 2,4-D	1	32192	0.82 Ns
استفاده از قارچ کش Use of fungicide	1	2575	0.949 Ns
تعداد دفعات قارچ کش Fungicide count	1	301732	0.485 Ns
استفاده از تیلت Use of Tilt	1	2243032	0.0552 Ns
استفاده از فولیکور Use of Folicur	1	1533982	0.114 Ns
استفاده از تیوفانات متیل Use of Thiophanate-methyl	1	50189	0.776 Ns
استفاده از مانکوزب Use of Mancozeb	1	178951	0.591 Ns
استفاده از اختلاط تریکومیکس و نوتریکا Mix of Tricomix + Nutrica	1	483834	0.377 Ns
وجین: انجام شده/نشده Hand weeding: Yes/No	1	7505541	0.00033 **
روش وجین: دستی Weeding method: Hand	1	3012987	0.0258 *

***، * و ns به ترتیب نشان دهنده معنی داری در سطوح ۱ درصد، ۵ درصد و عدم معنی داری هستند.

***, * and ns are significant at 1%, 5%, and non-significant, respectively.

مزارع، خلأ عملکرد و سهم هر یک از متغیرهای مدیریتی وارد شده در مدل در ایجاد این خلأ تعیین شد.

معادله (۱)

$$Y \text{ (kg.ha}^{-1}\text{)} = -2246.53 + 308.343X_1 + 347.366X_2 + 465.235X_3 + 666.055X_4 - 233.732X_5 - 72.294X_6$$

که در آن، Y: عملکرد، X_1 : استفاده از کود گوگرد پایه، X_2 : مقدار فسفر سرک، X_3 : استفاده از اسید آمینه، X_4 : دفع حلزون، X_5 : تعداد دفعات استفاده از آفت کش و X_6 : تعداد وجین می‌باشد. در جدول ۴، خلأ عملکرد کلزا و سهم هر یک از عوامل محدودکننده نشان داده شده است. طبق مدل، عملکرد متوسط و حداکثر به ترتیب ۲۲۴۷ و ۴۷۹۸ کیلوگرم در هکتار تخمین زده شد. کل خلأ عملکرد تخمین زده شده ۲۵۵۱ کیلوگرم در هکتار بود که با توجه به جدول ۴ به بررسی سهم هر کدام از عوامل مدیریتی پرداخته می‌شود.

از بین متغیرهای مختلف کیفی مورد بررسی، کشت تابستانه قبلی: آیش، کشت تابستانه قبلی: برنج، کشت پاییزه قبلی: گندم، ماله کشی، استفاده از کاربوکسین تیرام خارجی، استفاده از خطی کار، استفاده از کود پایه، استفاده از کود مرغی، دفع حلزون، استفاده از ترفلان، وجین و روش وجین براساس آنالیز واریانس ساده (مدل طرح کاملاً تصادفی)، اثر معنی‌داری بر عملکرد داشتند (جدول ۳). نتایج مربوط به رگرسیون گام‌به‌گام جهت تعیین مهم‌ترین متغیرهای مدیریتی مؤثر بر عملکرد و مدل عملکرد در جدول ۴ ارائه شده است.

در این رگرسیون، عملکرد در واحد سطح، متغیر وابسته در نظر گرفته شد و از بین ۳۶ متغیر مدیریتی، متغیرهای استفاده از کود گوگرد پایه، مقدار کود فسفر سرک، استفاده از اسید آمینه، دفع حلزون، تعداد دفعات استفاده از علف کش و تعداد وجین وارد مدل شدند که نتیجه آن در معادله ۱ مشاهده می‌گردد. با استفاده از این معادله، عملکرد پتانسیل برآورد شده و سپس با مقایسه آن با عملکرد واقعی

جدول ۴- نتایج رگرسیون تأثیر متغیرهای مختلف بر خلأ عملکرد محصول کلزا
Table 4- Regression results of the effect of different variables on the yield gap of canola

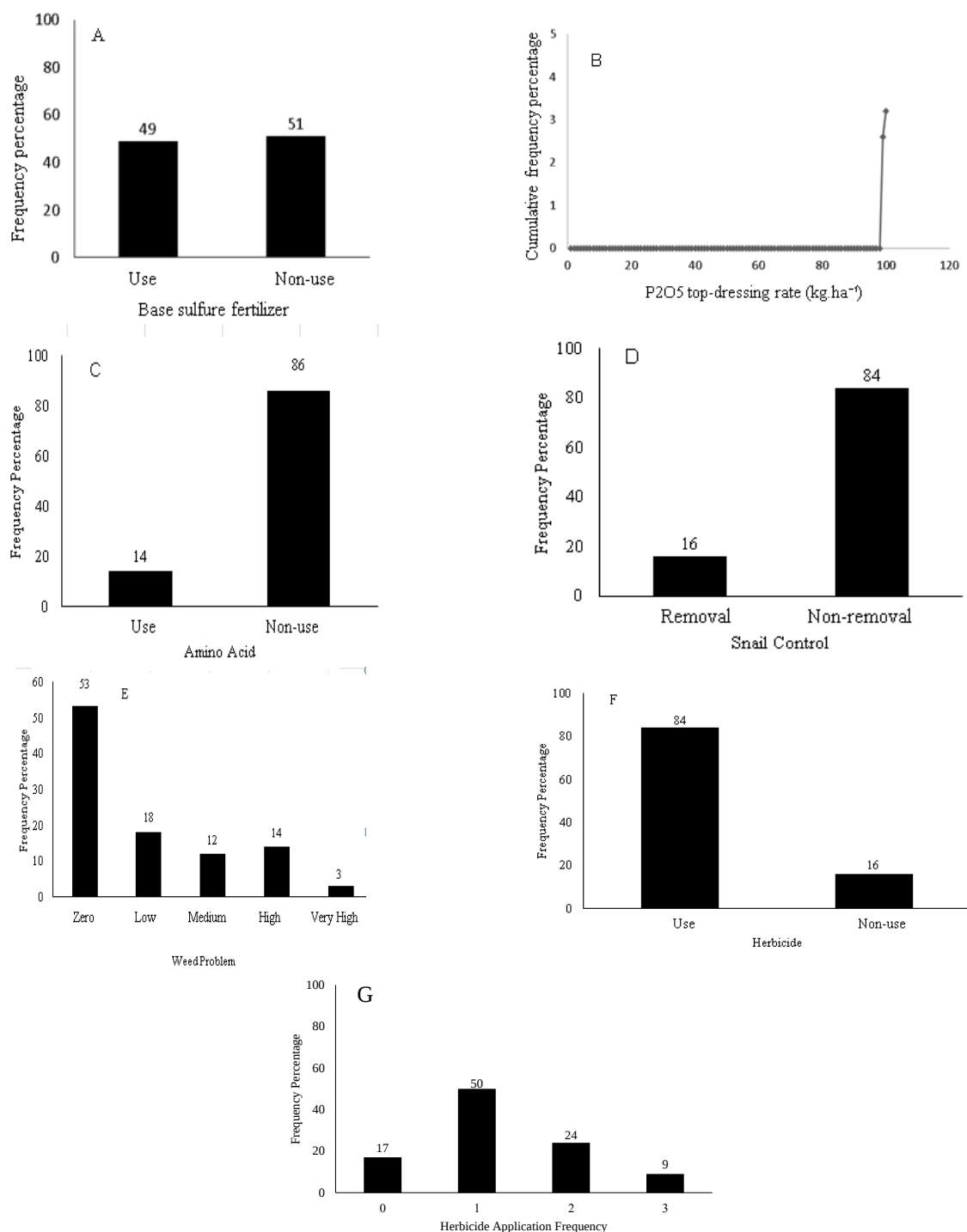
متغیرها Variables	ضریب متغیر در مدل Coefficient	مقدار میانگین Mean value	مقدار انتخاب شده Optimal value	عملکرد حاصله با مدل Model-estimated yield (Mean)	عملکرد حاصله با مدل Model-estimated yield (Optimal)	خلأ عملکرد Yield gap (kg.ha ⁻¹)	درصد Percent
عرض از مبدأ Intercept	2246.527	1	1	2247	2247	-	-
استفاده از کود گوگرد پایه (X1) Use of base S	308.3425	0.49	1	151	308	157	6
مقدار فسفر سرک (X2) Top-dress P amount	347.3658	0.058	3.2	20	1112	1091	43
استفاده از اسید آمینه (X3) Use of amino acid	465.2349	0.14	1	65	465	400	16
دفع حلزون (X4) Snail control	666.0554	0.14	1	93	666	573	22
تعداد دفعات استفاده از علف کش (X5) Herbicide count	-233.732	1.25	0	-292	0	292	11
تعداد وجین (X6) Hand weeding count	-72.2694	0.51	0	-37	0	37	1
میانگین عملکرد Average yield	-	-	-	2247	4798	2551	100

نتایج نشان داد که عدم استفاده از کود گوگرد پایه، باعث کاهش شش درصدی عملکرد کلزا شد؛ به عبارت دیگر، مزارعی که از این کود استفاده کرده بودند، عملکرد بالاتری داشتند. بررسی‌ها نشان داد که توزیع استفاده از این کود تقریباً برابر بوده، به طوری که ۵۱ درصد از مزارع از کود گوگرد پایه استفاده نکرده بودند (شکل ۲) و همین امر بخشی از خلأ عملکرد مشاهده شده را توجیه می‌کند. یکی از مهم‌ترین عناصر حیاتی برای تغذیه گیاهان، گوگرد است که نقش آن در گیاهان، ساخت پروتئین، روغن و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی است. همچنین در پایین آوردن pH موضعی خاک و افزایش قابلیت دسترسی عناصر کم‌مصرف برای گیاه مهم می‌باشد (Marschner, 1995). نیاز بالای کلزا به گوگرد به دلیل وجود ترکیبات گوگردی متعدد (مانند گلوکوزینولات‌ها) در اندام‌های رویشی و دانه آن است که این امر گوگرد را به عنصری کلیدی با تأثیر مستقیم بر رشد، کیفیت و عملکرد دانه این گیاه تبدیل می‌کند (Azizi et al., 2011). اهمیت گوگرد به عنوان یک عامل محدودکننده عملکرد کلزا در بسیاری از پژوهش‌های دیگر نیز گزارش شده است. مطالعات انجام شده در مناطق مختلف نشان داده‌اند که کمبود گوگرد می‌تواند عملکرد دانه کلزا را به طور قابل توجهی کاهش دهد و کاربرد آن منجر به بهبود شاخص‌های رشد و عملکرد می‌شود (Maurya et al., 2023; Blake-Kalff et al., 1998). این نتایج با یافته پژوهش حاضر مبنی بر ورود این متغیر به مدل رگرسیون، هم‌خوانی دارد. وارد شدن متغیر کود گوگرد به مدل می‌تواند با ویژگی‌های خاک منطقه میانکاله نیز مرتبط باشد. خاک‌های مناطق ساحلی و جلگه‌ای شمال کشور، به ویژه در اراضی شالیزاری، ممکن است به دلیل pH پایین و یا آبشویی مواد غذایی، با کمبود گوگرد قابل دسترس برای گیاه مواجه باشند. کاربرد گوگرد علاوه بر تأمین نیاز غذایی گیاه، می‌تواند با کاهش موضعی pH خاک، فراهمی سایر عناصر غذایی کم‌مصرف را نیز افزایش داده و از این طریق به صورت غیرمستقیم بر بهبود عملکرد کلزا تأثیر بگذارد. با توجه به اینکه در مدل عملکرد، تأثیر مقدار کود فسفر سرک مثبت بود که به معنی افزایش عملکرد با افزایش میزان استفاده از فسفر است؛ بنابراین استفاده بهینه از کود فسفر به صورت محلول پاشی می‌تواند در دستور کار کشاورزان قرار گیرد (شکل ۲). با توجه به ارائه فرمولاسیون‌های جدید کود فسفر مایع، استفاده از این نوع کود در مراحل ابتدایی رشد به صورت سرک، جهت رشد بهتر گیاه در میان کشاورزان رواج پیدا کرده است. فسفر از مهم‌ترین عناصر در تولید

محصول می‌باشد که از نظر تغذیه گیاهی، دومین عنصر کلیدی است. در مراحل شروع ساقه‌دهی تا قبل از گل‌دهی، غلظت فسفر در گیاه کلزا بین ۰/۳۵ تا ۰/۷ درصد متغیر است (Orlovius., 2003). فسفر به طور گسترده به عنوان یکی از عوامل اصلی محدودکننده عملکرد در مطالعات خلأ عملکرد برای محصولات مختلف از جمله کلزا شناخته شده است. پژوهش‌های متعدد نشان داده‌اند که مدیریت نامناسب فسفر و عدم تأمین مقدار کافی آن برای گیاه، به ویژه در مراحل اولیه رشد می‌تواند منجر به ایجاد خلأ عملکرد قابل توجهی شود (Dastan et al., 2019)؛ بنابراین، یافته‌های به دست آمده از این تحقیق در راستای نتایج مطالعات پیشین قرار دارد و بر لزوم توجه ویژه به مدیریت بهینه فسفر در منطقه تأکید می‌کند.

عدم کاربرد اسیدهای آمینه به عنوان یک عامل محدودکننده شناسایی شد که مسئول ۱۶ درصد از خلأ عملکرد (معادل حدود ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار) در مزارع مورد بررسی بود (شکل ۲). اگرچه اسیدهای آمینه حاوی نیتروژن هستند، اما تأثیر اصلی آن‌ها بر افزایش عملکرد، نه از طریق تأمین نیتروژن (که مقدار آن ناچیز است)، بلکه به دلیل نقش‌های بیواستیمولاتی آن‌ها است. اسیدهای آمینه به عنوان پیش‌ساز هورمون‌های گیاهی و مولکول‌های سیگنالینگ عمل کرده و مقاومت گیاه را در برابر تنش‌های محیطی (مانند سرما یا خشکی) افزایش می‌دهند. علاوه بر این، با بهبود فرآیندهای فیزیولوژیک کلیدی مانند فتوسنتز، انتقال و تخصیص مواد پرورده و افزایش جذب سایر عناصر غذایی، به طور غیرمستقیم به بهبود اجزای عملکرد و پر شدن بهتر دانه‌ها کمک می‌کنند (Taiz & Zeiger, 2006)؛ بنابراین، کاربرد آن‌ها می‌تواند به گیاه در عبور از شرایط نامساعد و تحقق پتانسیل عملکرد کمک نماید.

مدیریت و مهار حلقه‌ها به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل مدیریتی شناسایی شد و نتایج نشان داد که عدم مهار این آفت، مسئول ۲۲ درصد از خلأ عملکرد است (شکل ۲). در منطقه میانکاله، حلقه‌ها به ویژه در مراحل اولیه رشد کلزا (مرحله گیاهچه‌ای) با تغذیه از برگ‌های جوان و ساقه‌ها باعث کاهش شدید تراکم بوته و ایجاد لکه‌های خالی در مزرعه می‌شوند. این خسارت اولیه، استقرار نامناسب و غیریکنواخت گیاه را در پی دارد که در نهایت منجر به کاهش عملکرد دانه می‌گردد؛ بنابراین، مهار به موقع حلقه‌ها برای دستیابی به یک سطح سبز یکنواخت و عملکرد مطلوب ضروری است.



شکل ۲- توزیع‌های فراوانی (تجمعی و عادی) مدیریت عناصر غذایی و مهار عوامل خسارت‌زا در مزارع کلزا، دهستان میانکاله، شهرستان بهشهر (شامل A: کود گوگرد پایه، B: کود فسفات سرک، C: اسید آمینه، D: مهار حلزون، E: مشکل علف هرز، F: استفاده و عدم استفاده از علف کش و G: دفعات کاربرد علف کش)

Fig. 2- Frequency distributions (cumulative and normal) for nutrient management and pest/weed control in canola farms, Miankaleh Dehestan, Behshahr County (including: A. base sulfur Fertilizer, B. top-dress phosphate fertilizer, C. amino acid application, D. snail control, E. weed problems, F. herbicide use or non-use, and G. number of herbicide applications)

(Asadi Rahmani et al., 2018; Salimpour et al., 2012; Karimi et al., 2012). به‌طور مشابه، دسترسی به گوگرد به‌دلیل کمبود مواد آلی، محدود بودن ورودی‌های گوگرد و عدم استفاده از اصلاح‌کننده‌های میکروبی اکسیدکننده گوگرد محدود می‌شود، که هم عرضه مستقیم سولفات را کاهش می‌دهد و هم به‌طور غیرمستقیم کمبود فسفر را با محدود کردن اسیدی شدن خاک و متحرک‌سازی مواد مغذی تشدید می‌کند (Asadi Rahmani et al., 2018; Salimpour et al., 2012; Karimi et al., 2012). نیاز ذاتی بالای کلزا به گوگرد برای سنتز پروتئین و روغن، حساسیت این گیاه را افزایش می‌دهد و آزمایش‌های میدانی و گلدانی در خاک‌های آهکی ایران نشان داده‌اند که کاربرد ترکیبی گوگرد عنصری، باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد و کودهای آلی موجب افزایش چشمگیر عملکرد و جذب عناصر مغذی می‌شود (Asadi Rahmani et al., 2018; Salimpour et al., 2012; Karimi et al., 2012). این یافته‌ها نشان می‌دهند که مدیریت هدفمند تغذیه‌ای شامل راهبردهای زیستی و شیمیایی، برای غلبه بر محدودیت‌های اولیه گوگرد و محدودیت‌های ثانویه فسفر در خاک‌های آهکی منطقه ضروری است.

نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف شناسایی عوامل محدودکننده عملکرد کلزا در منطقه میانکاله به‌شهر با استفاده از روش آنالیز مقایسه کارکرد (CPA) انجام شد. نتایج نشان داد که بین عملکرد واقعی مزارع (میانگین ۲۲۵۸ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد پتانسیل (۴۷۹۸ کیلوگرم در هکتار)، یک خلأ عملکرد قابل توجه ۲۵۵۱ کیلوگرم در هکتاری وجود دارد. تحلیل رگرسیون گام‌به‌گام، مهم‌ترین عوامل مدیریتی مؤثر در ایجاد این خلأ را شناسایی کرد. براساس نتایج، مدیریت نامناسب تغذیه گیاه به‌ویژه کمبود فسفر و گوگرد، به‌عنوان مهم‌ترین عامل محدودکننده شناخته شد. پس از آن، خسارت ناشی از آفت حلزون در مراحل اولیه رشد و رقابت شدید با علف‌های هرز به‌عنوان موانع اصلی بعدی برای دستیابی به عملکرد بالا شناسایی شدند. همچنین کاربرد اسیدهای آمینه به‌عنوان یک عامل بهبوددهنده عملکرد مشخص گردید. این یافته‌ها نشان می‌دهد که برای کاهش خلأ عملکرد در منطقه، تمرکز بر راهکارهای مدیریتی باید در اولویت قرار گیرد. اصلاح مدیریت تغذیه براساس آزمون خاک و گیاه، مهار به‌موقع و مؤثر آفات کلیدی مانند حلزون و اجرای یک برنامه مدیریت

متغیرهای تعداد دفعات کاربرد علف‌کش و تعداد وجین، در مجموع مسئول ۱۲ درصد از خلأ عملکرد بودند (شکل ۲). ضریب منفی این متغیرها در مدل رگرسیون به این معنا نیست که مهار علف‌های هرز مضر است، بلکه نشان می‌دهد که این اقدامات در مزارعی انجام شده که از ابتدا با تراکم بالای علف‌های هرز مواجه بوده‌اند. در واقع، این متغیرها به‌عنوان شاخصی برای شدت آلودگی به علف‌های هرز عمل می‌کنند. نتایج حاکی از آن است که علی‌رغم تلاش کشاورزان برای کنترل، رقابت علف‌های هرز برای منابع (آب، نور و مواد غذایی) به‌قدری شدید بوده که توانسته است، عملکرد کلزا را به‌طور معنی‌داری کاهش دهد. این یافته نشان می‌دهد که مدیریت علف‌های هرز یک جزء حیاتی برای کاهش خلأ عملکرد در منطقه است و باید به راهبردهای مدیریتی یکپارچه و مؤثرتر، از جمله انتخاب زمان و نوع علف‌کش مناسب و رعایت تناوب زراعی، توجه ویژه‌ای شود. داده‌های توصیفی نیز شدت این مشکل را تأیید می‌کنند؛ حدود نیمی از مزارع مورد بررسی با مشکل علف‌های هرز در سطوح مختلف درگیر بودند (شکل ۲). در واکنش به این مشکل، ۸۴ درصد از کشاورزان به استفاده از علف‌کش روی آورده بودند (شکل ۲) و در نیمی از مزارع، حداقل یک نوبت سم‌پاشی انجام شده بود (شکل ۲). تنوع علف‌کش‌های مورد استفاده (شامل ترفلان، بوتیزان‌استار، سلکت‌سوپر و ...) و حتی اختلاط آن‌ها در برخی مزارع، نشان‌دهنده تلاش کشاورزان برای مهار طیف وسیعی از علف‌های هرز پهن‌برگ و باریک‌برگ است. با این حال، ورود متغیرهای مهار علف‌هرز به مدل عملکرد با ضریب منفی، بیانگر این است که این اقدامات کنترلی، کافی نبوده و یا در زمان مناسب انجام نشده‌اند و نتوانسته‌اند به‌طور کامل اثرات مخرب رقابت علف‌هرز را جبران کنند. علاوه‌بر مهار شیمیایی، در ۳۵ درصد از مزارع نیز وجین دستی به‌کار گرفته شد که این خود تأییدی بر فشار بالای علف‌های هرز و عدم کفایت مهار شیمیایی به‌تنهایی در برخی کشتزارها است.

در منطقه میانکاله استان مازندران، کمبود فسفر و گوگرد از محدودیت‌های حیاتی تولید کلزا به‌شمار می‌آیند که ناشی از تعامل ویژگی‌های خاک، کمبود ورودی‌های آلی و روش‌های مدیریتی سنتی است. خاک‌های آهکی منطقه دارای pH بالایی هستند که فسفات را غیرقابل دسترس می‌کند و میزان فسفر قابل استفاده گیاه را کاهش می‌دهد، درحالی‌که استفاده کم از کودهای آلی و نبود باکتری‌های محلول‌کننده فسفات، چرخه و جذب فسفر را بیش‌تر محدود می‌کند

سیاسگزاری

نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند از کلیه کشاورزان محترم منطقه میانکاله که با صبر و حوصله در جمع‌آوری داده‌های میدانی همکاری نمودند، صمیمانه قدردانی نمایند. همچنین از راهنمایی‌های ارزشمند اساتید گرانقدر و حمایت‌های بی‌دریغ کارشناسان و همکاران محترم دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان که در اجرای این پروژه یاری‌رسان بودند، کمال تشکر را داریم.

یکپارچه علف‌های هرز، پتانسیل بالایی برای افزایش سودآوری و پایداری تولید کلزا در این منطقه دارد. اهمیت این یافته‌ها در آن است که برای اولین بار با استفاده از داده‌های واقعی مزارع، عوامل محدودکننده عملکرد کلزا در منطقه میانکاله را به‌صورت کمی اولویت‌بندی می‌کند. این اطلاعات می‌تواند به‌عنوان یک راهنمای عملی برای کارشناسان ترویج و کشاورزان منطقه مورد استفاده قرار گیرد تا با تمرکز بر رفع محدودیت‌های کلیدی شناسایی‌شده، گام‌های مؤثری در جهت افزایش بهره‌وری و کاهش فاصله بین عملکرد واقعی و پتانسیل بردارند. همچنین این نتایج می‌تواند مبنایی برای تحقیقات آتی در زمینه بهینه‌سازی بسته‌های زراعی متناسب با شرایط منطقه باشد.

References

1. Abravan, H. (2016). Investigating the yield gap of spring canola in the east of Golestan province and evaluating its reasons, Ph.D Dissertation, University of Guilan, Rasht, Iran. (In Persian with English Abstract)
2. Asadi Rahmani, H., Khavazi, K., Jahandideh Mahjen Abadi, V. A., Ramezanpour, M. R., Mirzapour, M. H., & Mirzashahi, K. (2018). Effect of *Thiobacillus*, sulfur, and phosphorus on the yield and nutrient uptake of canola and the chemical properties of calcareous soils in Iran. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 49(14), 1671-1683. <https://doi.org/10.1080/00103624.2018.1474905>
3. Azizi, J., Nowroozian, A., Heydari, S., & Yaghoubi, M. (2011). The study of effect of zinc and boron foliar application on yield, yield components, seed oil and protein content and growth indices of rapeseed (*Brassica napus* L.) in Khorramabad climatic conditions. *Journal of Agricultural Science*, 3(5), 1-4. (In Persian with English Abstract)
4. Blake-Kalff, M. M., Harrison, K. R., Hawkesford, M. J., Zhao, F. J., & McGrath, S. P. (1998). Distribution of sulfur within oilseed rape leaves in response to sulfur deficiency during vegetative growth. *Plant Physiology*, 118(4), 1337-1344. <https://doi.org/10.1104/pp.118.4.1337>
5. Dastan, S., Nezamzadeh, S. A., Soltani, A., & Azim Nowroozi, H. (2019). Evaluation of yield gap associated with crop management in canola production by CPA method in Neka region. *Journal of Applied Agricultural Research*, 32(02), 76-107. (In Persian with English Abstract) <https://doi.org/10.22092/aj.2019.120656.1251>
6. De Bie, C. A. J. M. (2002). Yield gap studies through comparative performance evaluation. In ISPRS 2002: Proceedings of ISPRS commission VII international symposium: Resource and environmental monitoring (p. 11).
7. Eyni-Nargeseh, H., AghaAlikhani, M., Shirani Rad, A. H., Mokhtassi-Bidgoli, A., & Modarres Sanavy, S. A. M. (2020). Late season deficit irrigation for water-saving: selection of rapeseed (*Brassica napus*) genotypes based on quantitative and qualitative features. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 66(1), 126-137. <https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1602866>
8. FAO. (2002). Report of the World Food Summit: Five Years Later. FAO.
9. Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S. M., Toulmin, C., & White, R. (2010). Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327(5967), 812-818. <https://doi.org/10.1126/science.1185383>
10. Hajjarpoor, A., Soltani, A., Zeinali, E., Kashiri, H., Ayneband, A., & Vadez, V. (2018). Using boundary line analysis to assess the on-farm crop yield gap of wheat. *Field Crops Research*, 225, 64-73. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.06.003>
11. Halloran, A., Clement, J., Kornum, N., Bucatariu, C., & Magid, J. (2014). Addressing food waste reduction in Denmark. *Food Policy*, 49, 294-301. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2014.09.005>
12. Hoffmann, M. P., Jacobs, A., & Whitbread, A. M. (2015). Crop modelling based analysis of site-specific

- production limitations of winter oilseed rape in northern Germany. *Field Crops Research*, 178, 49-62. <https://doi.org/10.1016/J.FCR.2015.03.018>
13. Karimi, F., Bahmanyar, M. A., & Shahabi, M. I. N. A. (2012). Investigation the effects of sulfur and cattle manure application on macronutrient availability in calcareous soil and accumulation in leaf and seed of canola. *European Journal of Experimental Biology*, 22(3), 836-842.
 14. 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. <https://doi.org/10.1146/annurev.enviro.041008.093740>
 15. Malhi, S. S., & Leach, D. (2000). Restore canola yields by correcting sulphur deficiency in the growing season. In *Soils and Crops Workshop*.
 16. Marschner, H. (1995). *Mineral Nutrition of Higher Plants* (2nd Ed.). Academic Press. 180 p.
 17. Matourian, H., Khodaei Joghani, A., Moradi Telavat, M. R., Siadat, S. A., & Torabi, B. (2022). Analyzing rapeseed (*Brassica napus* L.) yield gap using comparative performance analysis (CPA) in Khorramshahr. *Journal of Agroecology*, 14(2), 275-289. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/agry.2021.67226.0>
 18. Maurya, M. K., Sarma, A., Behera, P., Karan, N., Shukla, V. K., Kumar, A., Kumar, G. & Kumar, A. (2023). A critical review on sulphur application in rapeseed-mustard to enhancing productivity and oil quality. *International Journal of Plant & Soil Science*, 35(21), 661-671.
 19. Ministry of Jihad Agriculture. (2022). *Agricultural statistics (Crop products)*. Retrieved from (in Persian). <https://www.maj.ir>.
 20. Mohammadi, K., Eskandari, M., Rokhzadi, A., & Heidari, G. (2012). Canola traits and some soil biological indices in response to fertilizer and tillage management. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 12(3), 377-383.
 21. Nehbandani, A. (2017). *Evaluation of soybean yield gap in Iran*. Ph.D Dissertation, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. (In Persian with English Abstract)
 22. Nehbandani, A., & Soltani, A. (2018). *Guidelines for yield gap analysis of crops in production zones*. University Project Report, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. (In Persian with English Abstract)
 23. Najafi Rad, V. (2014). *Investigating the yield gap of canola in Aliabad-e Katul region* MSc. Thesis, Islamic Azad University, Gorgan Branch, Gorgan, Iran. (In Persian with English Abstract)
 24. Nekahi, M. Z., Soltani, A., Siahmarghooyi, A., & Bagherani, N. (2014). Yield gap of crop and weed management in wheat: Case study, Golestan province-Bandar Gaz. *Journal of Crop Production*, 7(2), 135-156. (In Persian with English Abstract) <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2008739.1393.7.2.8.3>
 25. Orlovius, K. (2003). *Oilseed rape: Fertilizing for high yield and quality* (No. 16). International Potash Institute.
 26. Rahban, S., Torabi, B., Soltani, A., & Zeinali, E. (2022). Determining yield gap and potential for improved production of irrigated canola in Iran. *Journal of Agricultural Improvement*, 24(2), 393-406. (In Persian with English Abstract) <https://doi.org/10.22059/jci.2021.319201.2520>
 27. Rezaei, A., & Soltani, A. (1998). *An Introduction to Applied Regression Analysis*. Isfahan University of Technology Press, Isfahan, Iran. 310 p. (in Persian)
 28. Salimpour, S., Khavazi, K., Nadian, H., Besharati, H., & Miransari, M. (2012). Canola oil production and nutrient uptake as affected by phosphate solubilizing and sulfur oxidizing bacteria. *Journal of Plant Nutrition*, 35(13), 1997-2008. <https://doi.org/10.1080/01904167.2012.716892>
 29. Soltani, A. (2007). *Application of SAS Software in Statistical Analysis* (2nd Ed.). Mashhad University Jihad Publications, Mashhad, Iran. 281 p. (in Persian)
 30. Soltani, A., Nabbandani, A., Zeinali, A., Torabi, B., Zand, A., Qasemi, S., Alasti, A., Dadresi, A., Hosseini, R., Alimagham, M., Zahed, M., Fayyazi, H., Kamari, H., Arab-Ameri, R., Mohammadzadeh, Z., Rahban, S., Poorshirazi, Sh., Mohammadi, S., & Keramat, S. (2018). *Atlas of yield gap and production potential of important crops in the country under current and future climatic conditions*. Vajegan Sirang Publications, Golestan, Iran. 241 pages. (in Persian)
 31. Soltani, A., Torabi, B., Galeshi, S., & Zeinali, E. (2010). *Analysis of yield-limiting factors of wheat in Gorgan conditions using the CPA method*. Research Project Report, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. (In Persian with English Abstract)

32. Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). *Plant Physiology* (4th Ed.). Sinauer Associates, Inc.
33. Torabi, B., Soltani, A., Galeshi, S., & Zeinali, E. (2011). Analyzing wheat yield constraints in Gorgan. *Crop Production*, 4(4), 1-17. (In Persian with English Abstract). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2008739.1390.4.4.1.9>
34. Yahyapoor, H., Niknejad, Y., Fallah, H., Dastan, S., & Barari Tari, D. (2021). Yield gap estimation of rapeseed (*Brassica napus* L.) in Northern Iran. *Romanian Agricultural Research*, 38, 1-9.
35. Yu, Y., Feng, K., Hubacek, K., & Sun, L. (2016). Global implications of China's future food consumption. *Journal of Industrial Ecology*, 20(3), 593-602. <https://doi.org/10.1111/jiec.12392>
36. Zhang, Z., Lu, J., Cong, R., Ren, T., & Li, X. (2017). Evaluating agroclimatic constraints and yield gaps for winter oilseed rape (*Brassica napus* L.)—A case study. *Scientific Reports*, 7852. <https://doi.org/10.1038/S41598-017-08164-X>