Journal of Agroecology
Homepage: http://agry.um.ac.ir

Research Article
Vol. 17, No. 1, 2025, p. 145-164

Analysis of Management Factors Affecting Irrigated Wheat (*Triticum aestivum* L.) Yield Gap in Different Regions of Lorestan Province using the Comparative Performance Analysis (CPA) Method

Alinazar Nazari[1], Afshin Soltani[2*], Ebrahim Zeinali[3] and Alireza Nehbandani[4]

1- Ph.D. Student, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
2-Professor, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
3- Associate Professor, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
4- Ph.D., Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
(*- Corresponding author's Email: afshin.soltani@gmail.com)

Received: 15-09-2024
Revised: 18-01-2025
Accepted: 19-01-2025
Available Online: 21-05-2025

How to cite this article:
Nazari, A., Soltani, A., Zeinali, E., & Nehbandani, A. (2025). Analysis of management factors affecting irrigated wheat (*Triticum aestivum* L.) yield gap in different regions of Lorestan province using the Comparative Performance Analysis (CPA) method. *Journal of Agroecology*, *17*(1), 145-164. (In Persian with English abstract)
https://doi.org/10.22067/agry.2025.89658.1212

Introduction

The global population is currently estimated to exceed 8 billion and is projected to reach approximately 10 billion by 2050. To meet the food demands of this growing population, global food production must increase by about 70%. However, several challenges hinder this goal, including changes in agricultural land use, environmental issues, declining soil fertility, water resource shortages, and the slowdown in yield growth of major cereals over recent decades. These challenges undermine the possibility of doubling global food production within the mentioned time frame. Therefore, strategies to increase yield potential and reduce the yield gap are critical components of achieving sustainable food security with minimal environmental harm. The yield gap is defined as the difference between potential yield and actual yield, which often exhibits significant variability. Inadequate agricultural management practices, such as improper planting dates, suboptimal seed rates, insufficient plowing, improper fertilization, nonuse of herbicides, and inefficient irrigation, are the main contributors to yield gaps in grain production.

Materials and Methods

This study was conducted to estimate the yield gap, identify the factors contributing to it, and determine the contribution of each factor in Lorestan province, covering counties with varying climatic conditions, including Khorramabad, Durood, Kouhdasht and Nourabad. For this purpose, management information from 240 irrigated wheat (*Triticum aestivum* L.) farms was collected during the 2022-2023 season. The yield gap was determined using the comparative performance analysis (PCA) method.

©2023 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

https://doi.org/10.22067/agry.2025.89658.1212

Results and Discussion

The results showed that the average yield in the surveyed farms in Khorramabad, Doroud, Kouhdasht, and Nourabad county was 5002, 5563, 4183 and 3333 kg.ha^{-1}, respectively, With improved management, these yields could potentially increase to 10936, 11815, 6218 and 10936 kg.ha^{-1}. Based on the findings: in Nourabad, the most influential factors in the yield gap were the amount of phosphorus fertilizer used (1004 kg.ha^{-1}), number of plowing operations (320 kg.ha^{-1}), amount of manure used (60 kg.ha^{-1}) and harvest date (202 kg.ha^{-1}). In Kouhdasht the yield gap was primarily due to the number of irrigations (1049 kg.ha^{-1}), nonuse of pesticide (353 kg.ha^{-1}), use of the Kouhdasht variety (463 kg.ha^{-1}), and lodging (170 kg.ha^{-1}). In Doroud, the use of Talaee variety (1951 kg.ha^{-1}), number of top-dress fertilizer applications (1598 kg.ha^{-1}), inclusion of corn in crop rotation (1083 kg ha^{-1}), farmer's background (826 kg.ha^{-1}), nonuse of herbicide (82 kg.ha^{-1}), and farm area (469 kg.ha). In Khorramabad, sugar beet rotation (3246 kg.ha^{-1}), number of irrigations (1269 kg.ha^{-1}), planting date (841 kg.ha^{-1}), pre planting irrigation (463 kg.ha^{-1}), nonuse of herbicide (40 kg.ha^{-1}), lodging (74 kg.ha^{-1}) were identified as key contributors to the yield gap.

Conclusion

The yield gap ranged from 1587 kg.ha^{-1} (32%) to 6252 kg.ha^{-1} (53%). The main factors contributing to the yield gap due to suboptimal management included the frequency of top-dress fertilizer applications, number of irrigations, crop cultivar selection, crop rotation practices, herbicide use, pest and weed control, as well as the amount and application methods of chemical fertilizers. The achievable yield gap across the studied climates and counties was estimated to range from 1,586 to 5,002 kg.ha^{-1}. Assuming an average achievable yield gap of 3000 kg.ha^{-1}, and considering the area under irrigated wheat cultivation in the province, optimizing management practices could result in an annual wheat production increase of 148488 tons. This increase corresponds to approximately 80% of the province’s irrigated wheat production and 42% of its total wheat production. Since variables such as crop rotation, use of appropriate cultivars, number of irrigations, number of plowings, and planting date have a greater impact on the yield gap, optimizing these factors can significantly boost irrigated wheat yields. Considering the cost–income ratio, such optimizations would also be more profitable for farmers in the studied counties.

Keywords: Actual yield, Herbicide, Irrigation, Nitrogen, Potential yield

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: http://agry.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۱۷، شماره ۱، بهار ۱٤۰٤، ص ۱٦٤-۱٤٥

بررسی عوامل مدیریتی مؤثر بر خلأ عملکرد گندم آبی (*Triticum aestivum* L.) در استان لرستان با استفاده از روش تحلیل مقایسه کارکرد

علی نظر نظری[۱]، افشین سلطانی[۲*]، ابراهیم زینلی[۳] و علیرضا نه بندانی[٤]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۳۰

چکیده

این تحقیق به‌منظور بررسی عوامل مدیریتی مؤثر بر خلأ عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) آبی و تعیین سهم هر یک از این عوامل در استان لرستان، شامل شهرستان‌های خرم‌آباد، دورود، کوهدشت و نورآباد با شرایط اقلیمی متفاوت انجام شد. بدین منظور، اطلاعات مربوط به مدیریت ۲۴۰ مزرعه گندم نظام کشت آبی در سال زراعی ۰۲-۱۴۰۱ جمع‌آوری و بررسی گردید. خلأ عملکرد با استفاده از روش تحلیل مقایسه کارکرد تعیین شد. میانگین عملکرد گندم در چهار شهرستان مورد مطالعه ۴۱۸۳ تا ۵۵۶۳ کیلوگرم در هکتار بود که با مدیریت بهینه می‌توان این مقدار را تا ۱۱۸۱۵ کیلوگرم در هکتار افزایش داد. نتایج نشان داد که در نورآباد، مقدار کود فسفر مصرفی (۱۰۰۴ کیلوگرم در هکتار) و تعداد شخم (۳۲۰ کیلوگرم در هکتار)، در کوهدشت تعداد آبیاری (۱۰۴۹ کیلوگرم در هکتار) و استفاده از رقم کوهدشت (۴۶۳ کیلوگرم در هکتار)، در دورود استفاده از رقم طلایی (۱۹۵۱ کیلوگرم در هکتار)، تعداد کود سرک (۱۵۹۸ کیلوگرم در هکتار)، استفاده از ذرت در تناوب (۱۰۸۳ کیلوگرم در هکتار) و سابقه فعالیت کشاورز (۸۲۶ کیلوگرم در هکتار) و در خرم‌آباد تناوب چغندرقند (۳۲۴۶ کیلوگرم در هکتار)، تعداد آبیاری (۱۲۶۹ کیلوگرم در هکتار) و تاریخ کاشت (۸۴۱ کیلوگرم در هکتار) از عوامل مؤثر در خلأ عملکرد بودند. با توجه به اینکه در بین عوامل مدیریتی، برخی از متغیرها مانند تناوب، استفاده از رقم مناسب، تعداد آبیاری، تعداد شخم و تاریخ کاشت تأثیر بیشتری در خلأ عملکرد دارند، لذا با بهینه‌سازی موارد ذکرشده می‌توان عملکرد گندم آبی را در شهرستان‌های مورد مطالعه افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، عملکرد پتانسیل، عملکرد واقعی، علف‌کش، نیتروژن

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) با طیف وسیعی از شرایط آب‌و هوایی سازگار بوده و به‌خاطر تأمین حدود ۲۰ درصد کالری و پروتئین مورد نیاز جمعیت جهان نقش مهمی در امنیت غذایی دارد (Surjani & Wrigleyo, Hernandez-Espinosa et al., 2018 ; 2017). این گیاه با داشتن حدود ۲۵۰۰۰ رقم از تنوع ژنتیکی بسیار بالایی برخوردار است. هر رقم دارای پتانسیل عملکرد خاص خود بوده (Lollato et al., 2020) و خصوصیات فیزیکی و ترکیبات دانه‌ای متفاوت دارد (Pena-Bautista et al., 2017).

جمعیت جهان بیش از هشت میلیارد نفر است و انتظار می‌رود تا سال ۲۰۵۰ به حدود ۱۰ میلیارد نفر برسد (UN, 2022) بنابراین لازم

۱- دانشجوی دکترا، گروه زراعت، دانشکده علوم گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۲- استاد، گروه زراعت، دانشکده علوم گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۳- دانشیار، گروه زراعت، دانشکده علوم گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۴- دکتری تخصصی، گروه زراعت، دانشکده علوم گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: afshin.soltani@gmail.com
https://doi.org/10.22067/agry.2025.89658.1212

است برای تأمین نیاز غذایی این جمعیت، تولید مواد غذایی حدود ۷۰ درصد افزایش یابد (FAO, 2009; UN, 2017). تغییر کاربری اراضی کشاورزی، مشکلات محیط زیستی، کاهش حاصل‌خیزی خاک، کمبود منابع آب و کند شدن روند افزایش عملکرد غلات اصلی در دهه‌های اخیر، احتمال دو برابر شدن تولید جهانی غذا تا زمان یادشده را تضعیف می‌کند (Zhao et al., 2021). لذا افزایش تولید غلات از طریق افزایش تولید در واحد سطح نسبت به افزایش سطح زیر کشت در اولویت قرار دارد (Fan et al., 2012). در این راستا، افزایش پتانسیل عملکرد و کاهش خلأ عملکرد دو جنبه بسیار مهم از راهکارهای ارائه‌شده برای دستیابی به امنیت غذایی پایدار با حداقل اثرات مخرب بر محیط زیست می‌باشند (Foley et al., 2011).

خلأ عملکرد به تفاوت بین پتانسیل عملکرد (حداکثر عملکرد یک رقم یا ژنوتیپ خاص در یک محیط معین بدون محدودیت آب و عناصر غذایی و تحت مدیریت مطلوب به‌نحوی‌که تنش‌های محیطی و زیستی به‌طور مؤثری کنترل شده باشند) و میانگین عملکرد یا عملکرد واقعی کشاورزان گفته می‌شود (Fischer et al., 2014) که اغلب تفاوت قابل توجهی بین آن‌ها وجود دارد (Gao et al., 2018; Liu et al., 2017) مدیریت زراعی نامطلوب از جمله نامناسب بودن تاریخ کاشت، مقدار بذر مصرفی، شخم، تغذیه و آبیاری از عوامل اصلی خلأ عملکرد در تولید غلات می‌باشند (Hajjarpour et al., 2017a; Nekahi et al., 2014).

جهت بررسی خلأ عملکرد از روش‌هایی مانند تحلیل مقایسه کارکرد[1]، آنالیز خط مرزی (Hajjarpoor et al., 2016)، تحلیل سلسله مراتبی و روش آنتروپی (Torabi et al., 2013) استفاده می‌شود. در روش تحلیل مقایسه کارکرد، در واقع کارکرد کشاورزان مختلف با یکدیگر مقایسه شده و دلایل خلأ عملکرد استخراج می‌شود (Soltani & Mirzaei., 2022). برای اجرای موفق این روش در مطالعات پیمایشی باید دامنه متنوعی از مدیریت‌های زراعی مختلف در یک ناحیه خاص مد نظر قرار گیرد تا با استفاده از این روش بتوان ارتباط بین عملکرد و عملیات مدیریتی به‌کار رفته را شناسایی کرد. این روش، توانایی تعیین سطوح بهینه عوامل مؤثر در خلأ عملکرد را ندارد (Soltani & Mirzaei, 2022)، لذا در صورت نیاز به تعیین سطوح بهینه از روش‌های دیگر مانند آنالیز خط مرزی استفاده می‌گردد.

در یک تحقیق با استفاده از روش تحلیل مقایسه کارکرد، خلأ عملکرد گندم در استان گلستان مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و مشاهده شد که استفاده نکردن از دستگاه کاشت بذر در داخل بقایا (۳۲ درصد)، وضعیت نامناسب بستر بذر (۱۷ درصد)، عدم استفاده از عناصر غذایی به‌صورت محلول‌پاشی (۱۵ درصد)، عدم استفاده از گاوآهن قلمی (۱۵ درصد)، عدم استفاده از علف‌کش (۱۳ درصد) و عدم مصرف بهینه کود نیتروژن (نه درصد) مهم‌ترین عوامل خلأ عملکرد بودند (Hajjarpour et al., 2017a). در بررسی نظام کشت آبی گندم در ایران با استفاده از مدل SSM-iCrop2-Wheat مشاهده شد که با ارقام موجود و شرایط اقلیمی حاکم بر کشور، کشاورزان به ۳۸ درصد از عملکرد پتانسیل گندم دست می‌یابند (Zahed et al., 2019). در مطالعه‌ای که با به‌کارگیری مدل SSM-Wheat در استان گلستان انجام شد، مدیریت نادرست آبیاری، نامناسب بودن ارقام و استفاده نامناسب از کودهای پایه، سرک و کم-مصرف مهم‌ترین عوامل خلأ عملکرد گندم آبی بیان شدند (Ahmadi Alipour et al., 2018). همچنین با بهره‌گیری از رگرسیون گام‌به‌گام و تجزیه واریانس، میزان خلأ عملکرد گندم در بندرگز ۳۴۶۲ کیلوگرم در هکتار برآورد شد و عواملی همچون تراکم بوته پایین (۱۵ درصد)، عدم استقبال کشاورزان از یافته‌های جدید (۱۰ درصد)، کشت کرپه (۳۶ درصد)، رقم نامناسب (۲۱ درصد) و عدم استفاده از علف‌کش‌های تاپیک و گرانستار (۱۸ درصد) در ایجاد خلأ عملکرد مؤثر بودند (Nekahi et al., 2014). در یک بررسی با استفاده از روش تحلیل مقایسه کارکرد، خلأ عملکرد برنج (*Oryza sativa* L.) در ایران ۲۰۴۷ کیلوگرم در هکتار تخمین زده شد و عواملی همچون پیش‌کاشت کلزا (*Brassica napus* L.)، تناوب زراعی، بذر گواهی‌شده، تاریخ بذرپاشی در خزانه، مصرف کود سرک، پتاسیم خالص، نیتروژن بعد از گل‌دهی و محلول‌پاشی از عوامل مؤثر بر آن بیان گردید (Gorgizad et al., 2019). سوخته‌سرایی و همکاران (Soukhtehsaraei et al., 2023) با استفاده از روش تحلیل مقایسه کارکرد، خلأ عملکرد سویا (*Glycine max* L.) را ۱۷۹۳ کیلوگرم در هکتار برآورد و متغیرهایی همچون تأخیر در کاشت، تراکم بوته، روش کاشت، میزان بذر مصرفی، مصرف علف‌کش پیش‌کاشت، خاکورزی، آبیاری و مصرف کود نیتروژن را از عوامل اصلی خلأ عملکرد ذکر کردند. محققان علت اصلی خلأ عملکرد نخود (*Cicer arietinum*

1- Comparative Performance Analysis (CPA)

L.) در ایران را ناکارآمدی استفاده از منابع محیطی به‌خصوص رطوبت موجود در خاک، عدم مهار به‌موقع علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها و عدم تغذیه مناسب دانستند (Soltani et al., 2016). در سایر بررسی-های صورت‌گرفته روی محصولات زراعی با استفاده از روش تحلیل مقایسه کارکرد، عوامل مدیریتی از قبیل تاریخ کاشت، تراکم بوته، تعداد آبیاری، استفاده از بذر اصلاح‌شده و نیروی کار از مهم‌ترین عوامل خلأ عملکرد بیان شده‌اند (Nezamzadeh et al., 2019 ; Nehbandani et al., 2020; Rezvantalab et al., 2019).

سطح زیر کشت گندم آبی در استان لرستان حدود ۵۰ هزار هکتار بود که از این نظر در رتبه هجدهم کشور و از نظر عملکرد با میانگین ۳۷۴۷ کیلوگرم در هکتار در رتبه بیستم قرار دارد (Agricultural statistics, 2024). این در حالی است که عملکردهای بیش از ۱۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار در مزارع کشاورزان پیشرو به‌وفور دیده می‌شود؛ لذا این تحقیق جهت برآورد میزان خلأ عملکرد گندم آبی، تعیین عوامل ایجادکننده و سهم هر یک از آن‌ها در استان لرستان انجام گردید.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی عوامل مدیریتی مؤثر بر خلأ عملکرد گندم آبی و تعیین سهم هر یک از این عوامل در استان لرستان، این بررسی در سال زراعی ۰۲-۱۴۰۱ انجام گردید. استان لرستان در غرب ایران، بین ۴۶ درجه و ۵۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳ دقیقهٔ طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ و ۳۲ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۲ دقیقهٔ عرض شمالی از خط استوا قرار گرفته و وسعت آن حدود ۲۸۳۰۳ کیلومترمربع است. میانگین ارتفاع آن بیش از ۲۲۰۰ متر از سطح دریا است. پست‌ترین نقطه استان ۲۳۹ متر و بلندترین آن ۴۰۸۰ متر (قله اشترانکوه) از سطح دریا ارتفاع دارد. لرستان به لحاظ اقلیم و هواشناسی یک استان چهارفصل است و دارای آب‌وهوای متنوعی است، این تنوع از شمال به جنوب و از شرق به غرب کاملاً محسوس است.

با توجه به شرایط اقلیمی استان، سطح زیر کشت گندم آبی و تفاوت دانش کشاورزی، چهار شهرستان کوهدشت، دورود، خرم‌آباد و نورآباد برای این مطالعه انتخاب گردیدند (جدول ۱) با توجه به ارتباط بین عملکرد گندم آبی و تغییرات درجه حرارت شب و روز در مناطق مختلف (Gebrechorkos et al., 2019)، شهرستان‌های کوهدشت با اقلیم نیمه‌گرم، نورآباد با اقلیم سرد و خرم‌آباد و دورود با اقلیم معتدل انتخاب شدند. سطح زیر کشت گندم آبی در چهار شهرستان تقریباً مشابه است، ولی از نظر دانش کشاورزی بین کشاورزان شهرستان-های مورد مطالعه تفاوت‌های چشمگیری وجود دارد. در شهرستان‌های خرم‌آباد و دورود بین کشاورزان پیشرو و سایر کشاورزان تفاوت دانش کشاورزی زیاد است، درحالی‌که این امر در شهرستان‌های کوهدشت و نورآباد کمتر است. با توجه به این عوامل، از چهار شهرستان مذکور ۲۴۰ مزرعه گندم آبی با همکاری کارشناسان مراکز خدمات (هر شهرستان ۶۰ مزرعه) انتخاب شد. در هر شهرستان با توجه به اطلاعات موجود سال‌های قبل، ۲۰ مزرعه از کشاورزان دارای عملکرد کمتر از میانگین شهرستان، ۲۰ مزرعه از کشاورزان دارای عملکردی در حد میانگین و ۲۰ مزرعه از کشاورزان پیشرو انتخاب گردید. تعداد نمونه براساس معادله کوکران محاسبه شد که کمتر از ۶۰ مزرعه بود و برای یکنواختی مطالعه و احتمال مقایسه نتایج از هر شهرستان ۶۰ مزرعه انتخاب گردید.

پس از انتخاب مزارع، کلیه اطلاعات از تهیه بستر تا برداشت محصول شامل سابقه فعالیت کشاورز، مساحت مزرعه، موقعیت زمین، شیب زمین و جهت آن، تهیه بستر، عملیات‌های انجام‌شده و ادوات به‌کاررفته جهت تهیه بستر، تعداد عملیات‌های انجام‌گرفته، تاریخ کاشت، وضعیت بستر بذر هنگام کاشت، مقدار و نوع بذر از نظر خود مصرفی یا گواهی‌شده، رقم، ضدعفونی بذر و قارچ‌کش به‌کاررفته جهت ضدعفونی، شیوه کاشت، تناوب، نوع پیش‌کاشت، تعداد سال از آخرین کشت بقولات، اطلاعات مربوط به تغذیه، تعداد آبیاری، روش آبیاری، منبع تأمین آب، مبارزه با علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها، نوع سم و تعداد دفعات مبارزه براساس پرسش‌نامه تدوین‌شده به‌صورت پرسش و پاسخ از کشاورز و بازدید میدانی از مزارع در سال زراعی ۰۲-۱۴۰۱ جمع‌آوری گردید.

داده‌ها با استفاده از روش تحلیل مقایسه کارکرد تجزیه و تحلیل گردید و با روش رگرسیون گام‌به‌گام برای هر شهرستان یک مدل عملکرد تعیین شد (Soltani et al., 2009). متغیر وابسته، عملکرد دانه در نظر گرفته شد و متغیرهای مستقل با توجه به نتایج حاصل از پرسش‌نامه و انجام رگرسیون گام‌به‌گام انتخاب شدند. سپس با قرار دادن میانگین مشاهدات متغیرها در مدل عملکرد، عملکرد میانگین هر منطقه محاسبه گردید.

جدول ۱-اطلاعات جغرافیایی و اقلیمی شهرستان‌های مورد مطالعه

Table 1– Geographical and climatic information of studied counties

شهرستان County	طول جغرافیایی Longitude	عرض جغرافیایی Latitude	ارتفاع از سطح دریا Altitude (m)	حداکثر دما Maximum temperature (°C)	حداقل دما Minimum Temperature (°C)	تعداد روزهای یخبندان Number of frost days	متوسط بارش سالیانه Average annual precipitation(mm)	متوسط تبخیر سالیانه Average annual evaporation(mm)	دوره خشکی (ماه) Dry period (Month)
خرم‌آباد Khorramabad	48.36	33.62	1151	25.3	9.1	48	503	1849.9	5
دورود Doroud	49.05	33.49	1522	21.1	9.1	45	645	2238	5
کوهدشت Kouhdasht	47.612	33.53	1197	24.9	7.4	71	399	1917	5
نورآباد Nourabad	47.96	34.06	1855	19.3	4.9	106	501	1865	5

پس از آن، با قرار دادن میزان مطلوب (متغیرهایی که بر عملکرد اثر مثبت داشتند، حداکثر مقدار مشاهده‌شده و متغیرهایی که بر عملکرد تأثیر منفی داشتند، حداقل مقدار مشاهده‌شده به‌عنوان میزان مطلوب محاسبه شد. ممکن است همیشه حداکثر و حداقل مقدار مطلوب نباشد که در این موارد با استفاده از نظر کارشناسان خبره زراعت این مقدار از بین مشاهدات تعیین می‌گردد) متغیرها در مدل عملکرد، عملکرد پتانسیل محاسبه شد. اختلاف این دو، برابر با خلأ عملکرد در نظر گرفته شد و اختلاف حاصل‌ضرب میزان میانگین مشاهده‌شده برای هر متغیر در ضریب آن متغیر با حاصل‌ضرب میزان مطلوب برای همان متغیر در ضریب همان متغیر نشان‌دهنده میزان خلأ عملکرد ایجادشده برای آن متغیر می‌باشد. نسبت میزان خلأ عملکرد برای هر متغیر به کل خلأ عملکرد، نشان‌دهنده سهم آن متغیر در ایجاد خلأ عملکرد بوده و به‌صورت درصد نشان داده شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SAS 9.4 استفاده شد.

نتایج و بحث

خلأ عملکرد دانه گندم در شهرستان کوهدشت

پس از تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از رگرسیون گام‌به‌گام از بین متغیرهای مستقل مورد بررسی، مدل رگرسیون نهایی با چهار متغیر که بیشترین سهم را در ایجاد خلأ عملکرد داشتند، انتخاب شد که به‌صورت زیر بود:

معادله (۱)

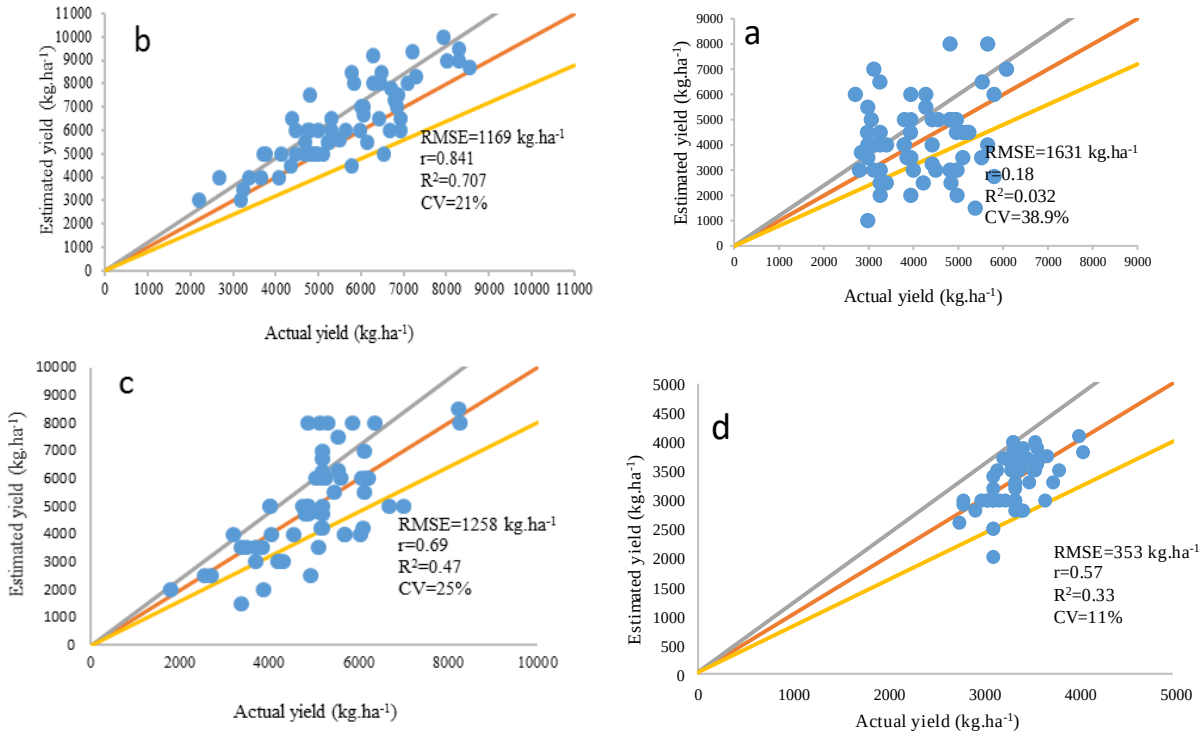
$$Y=4740.97-1157.36X_1+139.88X_2+682.19X_3-1023.98X_4$$

که در آن، Y: عملکرد دانه برحسب کیلوگرم در هکتار، X_1: استفاده از رقم کوهدشت (استفاده ۱، عدم استفاده ۰)، X_2: تعداد آبیاری، X_3: استفاده از آفت‌کش (مبارزه با آفت و استفاده از آفت‌کش ۱، عدم مبارزه و استفاده نکردن از آفت‌کش ۰) و X_4: ورس مزرعه (عدم وجود ورس در مزرعه ۱، ورس کم ۲، ورس متوسط ۳، ورس زیاد ۴ و ورس خیلی زیاد ۵) را نشان می‌دهند.

بین عملکرد برآوردشده و عملکرد واقعی ضریب همبستگی ۰/۱۸ و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) ۱۶۳۱ کیلوگرم در هکتار (درصد میانگین مشاهدات برابر ۳۹ درصد) مشاهده گردید (شکل ۱- a). میانگین و حداکثر عملکرد محاسبه‌شده با مدل به‌ترتیب برابر ۴۱۸۳ و ۶۲۱۸ کیلوگرم در هکتار بود. کل خلأ عملکرد برآوردشده ۲۰۳۵ کیلوگرم در هکتار بود. با توجه به اینکه حداکثر عملکرد برآوردشده توسط مدل کمتر از حداکثر عملکرد مشاهده‌شده در مزرعه (۸۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) بود، لذا خلأ عملکرد برآوردشده از نوع قابل حصول یا قابل مدیریت است (Soltani & Mirzaei, 2022).

عوامل ایجادکننده خلأ عملکرد و سهم هر یک از آن‌ها در جدول ۲ و شکل ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که متغیرهای تعداد آبیاری (۵۲ درصد)، رقم کوهدشت (۲۳ درصد)، استفاده از آفت‌کش (۱۷ درصد) و ورس مزرعه (هشت درصد) از عوامل اصلی ایجاد خلأ عملکرد در مزارع گندم نظام کشت آبی شهرستان کوهدشت می‌باشند.

تعداد دفعات آبیاری بر عملکرد اثر مثبت داشت و متغیر تعداد دفعات آبیاری ۵۲ درصد (۱۰۴۹ کیلوگرم در هکتار) از کل خلأ عملکرد را توجیه می‌کرد (جدول ۲). میانگین تعداد دفعات آبیاری برای حصول به عملکرد مطلوب در گندم در مناطق نیمه‌گرم حدود ۱۰ مرحله می‌باشد، این در حالی است که میانگین تعداد دفعات آبیاری ۵/۵ مرحله بود. از طرف دیگر، میزان بارندگی در سال زراعی ۰۲-۱۴۰۱ برابر ۲۲۰ میلی‌متر بود که نسبت به سال قبل و بلندمدت به‌ترتیب ۴۵ و ۵۲ درصد کاهش را نشان می‌دهد. میزان بارندگی در فصل بهار نیز که همزمان با مراحل حساس رشدی گندم به آب می‌باشد، ۴۷ میلی‌متر بود که ۵۰ درصد کمتر از بلندمدت بارش در بهار بود (Rainfall Bulltain, 2021-2022) که نیاز به تعداد دفعات آبیاری را افزایش می‌دهد. نتایج یک تحقیق نشان داد که تأثیر تعداد دفعات آبیاری بر عملکرد تحت تأثیر میزان و پراکنش بارندگی می‌باشد (Lio et al., 2017). علاوه بر نقش فیزیولوژیکی آب در گیاه، کمبود رطوبت سبب کاهش عملکرد و کاهش جذب عناصر غذایی به‌خصوص نیتروژن می‌گردد (Baghbani et al., 2017). براساس تحقیقات جدید، علت اصلی خلأ عملکرد را ناکارآمدی استفاده از منابع محیطی عمدتاً آب دانستند (Soltani Daneshmand et al., 2007 ; et al., 2016 ;). در یک تحقیق دو ساله اثر آبیاری بر خلأ عملکرد ذرت تابستانه را در سال اول تا چهار درصد تخمین زدند، امّا تأثیر دفعات آبیاری در سال دوم انجام آزمایش به‌دلیل کافی بودن بارندگی و پراکنش مناسب تقریباً صفر بود (Liu et al., 2021).



شکل ۱- رابطه بین عملکرد برآوردشده و عملکرد واقعی در شهرستان‌های کوهدشت (a)، دورود (b)، خرم‌آباد (c) و نورآباد (d)

Fig. 1- Relationship between estimated yield and actual yield in Kouhdasht (a), Doroud (b), Khorramabad (c) and Nourabad (d) Counties

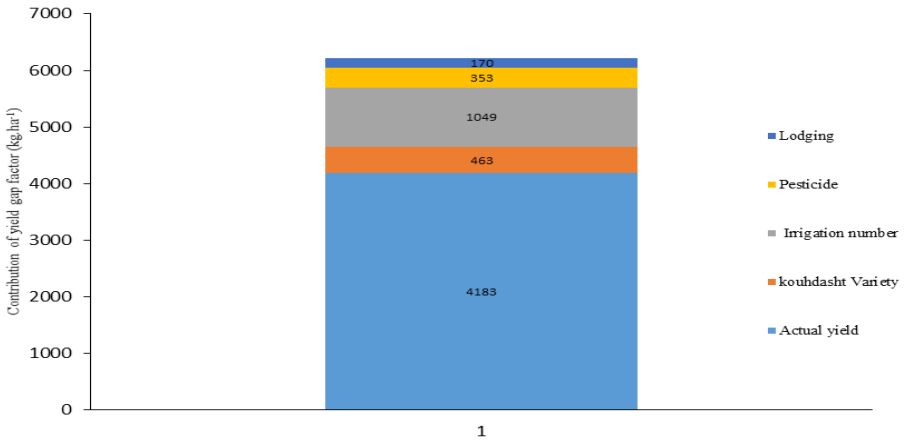
خطوط کناری نشان‌دهنده دامنه تفاوت ۲۵ درصد بالا و پایین عملکرد مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده هستند. خط وسط، خط ۱:۱ می‌باشد.

The 25% ranges of discrepancy between observed and predicted which are indicated by sidelines. Middle line is 1:1 line.

جدول ۲- کمّی‌سازی میزان خلأ عملکرد گندم در شهرستان کوهدشت و سهم هر متغیر در مدل

Table 2- Quantification of wheat yield gap in Kouhdasht county and the contribution of each variable in the model

متغیر Variable	ضریب Coefficient	مقادیر اندازه‌گیری‌شده در مزرعه Values measured in the field		مقادیر محاسبه‌شده با مدل Values calculated by the model		خلأ عملکرد Yield gap	
		میانگین Average	مطلوب Optimum	میانگین Average	مطلوب Optimum	مقدار Value	درصد Percentage
عرض از مبدأ Intercept	4740.98	1	1	4740.98	4740.98	-	-
رقم کوهدشت Kouhdasht variety	-1157.36	0.4	0	-463	0	463	23
تعداد آبیاری Irrigation number	139.89	5.5	13	769.39	1818.56	1049.17	52
آفت‌کش Pesticide	682.19	0.483	1	329.50	682.19	352.69	17
ورس Lodging	-1023.98	1.66	1	-1194	-1023.98	170	8
عملکرد Yield	-	-	-	4183	6218	2035	-



شکل ۲ – سهم هر یک از عوامل اصلی ایجاد خلأ عملکرد در شهرستان کوهدشت

Fig. 2- Contribution of key factors to yield gap formation in Kouhdasht county

در بررسی کشت سویا، خلأ عملکرد ایجادشده به‌علت محدودیت آب بین ۷ تا ۵۱ درصد متغیر بود (Mekonnen et al., 2022). در استان گلستان ۷۴ درصد از مزارع پنبه مورد ارزیابی فاقد حد بهینه آبیاری بودند (Shokrgozar et al., 2017).

اثر استفاده از رقم کوهدشت در خلأ عملکرد ۲۳ درصد برآورد گردید. با توجه به اینکه رقم کوهدشت برای کاشت در شرایط دیم توصیه شده است، لذا در مقایسه با ارقام توصیه‌شده در نظام کشت آبی، عملکرد کمتری خواهد داشت. بسیاری از محققان در تحقیقات خود روی محصولات زراعی مختلف نقش انتخاب رقم مناسب را در کاهش خلأ عملکرد تأیید کرده‌اند (Liu et Zegeye et al., 2020 ; Tseng et al., 2021; Soltani et al., 2016al., 2021).

متغیر استفاده از آفت‌کش به‌میزان ۳۵۳ کیلوگرم در هکتار باعث کاهش خلأ عملکرد گردید (جدول ۲). در بررسی مزارع کلزا نتایج نشان داد که مبارزه با آفات در دوره رویشی و زایشی به‌ترتیب ۷/۲ و ۲۰/۷ درصد بر خلأ عملکرد مؤثر می‌باشد (Abravan et al., 2017). با بهبود سیستم پایش و هشدار آفات و بیماری‌ها و انجام مبارزه به‌موقع می‌توان خلأ عملکرد را کاهش داد (Vasco Silva et al., 2023).

اثر ورس مزرعه در خلأ عملکرد هشت درصد بود (جدول ۲). ورس باعث افزایش رطوبت و فراهم آمدن محیطی مناسب برای تکثیر قارچ‌ها، کاهش انتقال مواد غذایی به سنبله، افزایش بیماری‌های برگی، ایجاد مشکل در برداشت و کاهش عملکرد می‌گردد و بسته به زمان وقوع می‌تواند تا ۵۰ درصد کاهش عملکرد محصول را به دنبال داشته باشد (Broomand et al., 2013).

تجزیه و تحلیل خلأ عملکرد دانه گندم در شهرستان دورود

از بین متغیرهای مورد بررسی، مدل رگرسیون نهایی با هفت متغیر مستقل انتخاب شد که به‌صورت زیر بود:

معادله (۲)

$$Y=1450.15570+31.09870X_1 \quad -129.72551X_2+ \quad 1224.97917X_3+ \quad 2018.09014X_4+ \quad 1183.72922X_5+ \quad 910.85135X_6+ \quad 1221.52211X_7$$

که در این مدل تولید، Y: عملکرد بر حسب کیلوگرم در هکتار، X_1: سابقه کشاورز، X_2: مساحت مزرعه، X_3: تناوب ذرت (استفاده از ذرت در تناوب ۱، عدم استفاده ۰)، X_4: رقم طلایی (استفاده از رقم طلایی ۱، عدم استفاده ۰)، X_5: تعداد کود سرک، X_6: استفاده از آب چاه (استفاده از آب چاه به‌عنوان منبع تأمین آب آبیاری ۱، عدم استفاده از آب چاه و استفاده از منابع دیگر ۰) و X_7: استفاده از علف‌کش (مبارزه با علف‌های هرز با استفاده از علف‌کش‌های شیمیایی ۱، عدم استفاده ۰) می‌باشند.

رابطه بین عملکرد برآوردشده و عملکرد واقعی دارای ضریب همبستگی ۰/۸۴، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) ۱۱۷۰ کیلوگرم در هکتار (درصد میانگین مشاهدات ۲۱ درصد) می‌باشد (شکل ۱– b). میانگین و حداکثر عملکرد مشاهده‌شده در مزرعه ۶۲۸۳ و ۱۰۰۰۰ کیلوگرم در هکتار و میانگین و حداکثر عملکرد محاسبه‌شده با مدل به‌ترتیب برابر ۵۵۶۳ و ۱۱۸۱۵ کیلوگرم در هکتار بود. کل خلأ عملکرد برآوردشده ۶۲۵۲ کیلوگرم در هکتار بود. با توجه به اینکه حداکثر عملکرد مشاهده‌شده از مقدار حداکثر عملکرد حاصله

از مدل کوچک‌تر است. بنابراین، می‌توان خلأ عملکرد حاصله را خلأ عملکرد کل در نظر گرفت و خلأ عملکرد قابل حصول یا قابل مدیریت حدود ۸۰ درصد این مقدار لحاظ می‌گردد (Soltani & Mirzaei, 2022).

عوامل ایجادکننده خلأ عملکرد و سهم هر یک از آن‌ها در جدول و شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که متغیرهای استفاده از رقم طلایی (۳۱ درصد)، تعداد دفعات کود سرک (۲۶ درصد)، تناوب ذرت (*Zea mays* L.) با ۱۷ درصد، سابقه کشاورز (۱۳ درصد)، مساحت مزرعه (هشت درصد)، منبع آب چاه (چهار درصد) و استفاده از علف‌کش (یک درصد) مهم‌ترین عوامل ایجاد خلأ عملکرد در مزارع گندم نظام کشت آبی شهرستان دورود بودند.

اثر استفاده از رقم طلایی بر خلأ عملکرد مثبت بود و ۱۹۵۱ کیلوگرم در هکتار درصد از خلأ عملکرد را توجیه کرد. این رقم برای کاشت در مناطق معتدل و معتدل‌گرم توصیه شده است و مناسب شرایط آب‌وهوایی شهرستان دورود است. سایر محققان در تحقیقات خود بر تأثیر رقم مطلوب در کاهش خلأ عملکرد تأکید کردند (Halalkhor et al., 2018; Keramat et al., 2021; Yang et al., 2021).

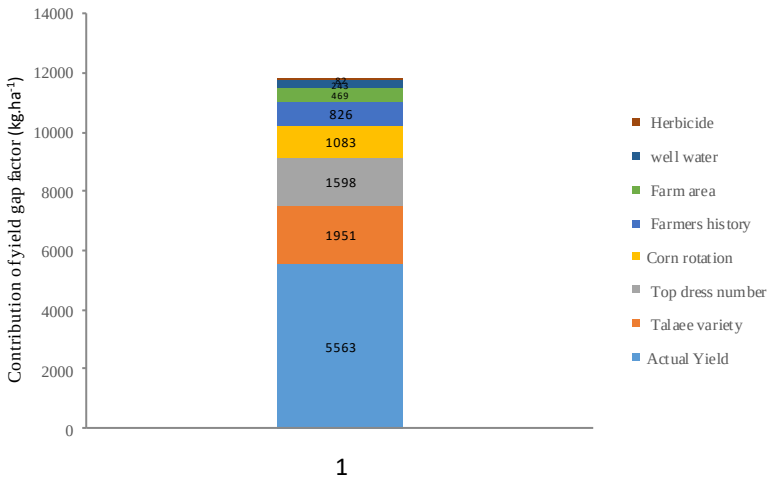
تعداد کود سرک با ۱۵۹۸ کیلوگرم در هکتار بر خلأ عملکرد مؤثر بود، در مصرف نیتروژن، مقدار و زمان مصرف و منبع آن بسیار مهم است. (Jaenisch et al., 2021). حداقل، حداکثر و میانگین کود نیتروژن مصرف‌شده در مزارع مورد ارزیابی به‌ترتیب ۱۰۰، ۴۵۰ و ۲۱۸ کیلوگرم در هکتار و تعداد مراحل استفاده‌شده ۱/۶۵ بود، درحالی‌که تقسیط آن به سه مرحله و متناسب با مراحل رشدی، می‌تواند در جذب و افزایش کارآیی آن مؤثر باشد.

سابقه فعالیت کشاورز بر خلأ عملکرد اثر مثبت داشت و ۸۲۶ کیلوگرم در هکتار از این خلأ را توجیه کرد. میانگین سابقه فعالیت کشاورزان مورد بررسی ۲۳/۴۳ سال و میانگین سنی آن‌ها ۴۷/۸ سال بود که این جامعه از نظر توان جسمی خوب، با تجربه و آموزش‌پذیر تلقی می‌گردد. تجربه کشاورز، سطح سواد و دانش کشاورزی در افزایش عملکرد مؤثر می‌باشد (Mansouri Dhillon et al., 2022 ; et al., 2017; Matourian et al., 2022)، امّا در تحقیقاتی دیگر، تجربه کشاورز بر عملکرد اثر منفی داشت (Nekahi et al., 2014 ; Shirinzadeh et al., 2020).

جدول ۳- کمّی‌سازی میزان خلأ عملکرد گندم در شهرستان دورود و سهم هر متغیر در مدل

Table 3- Quantification of wheat yield gap in Doroud county and the contribution of each variable in the model

متغیر Variable	ضریب Coefficient	مقادیر اندازه‌گیری‌شده در مزرعه Values measured in the field		مقادیر محاسبه‌شده با مدل Values calculated by the model		خلأ عملکرد Yield gap	
		میانگین Average	مطلوب Optimum	میانگین Average	مطلوب Optimum	مقدار Value	درصد Percentage
عرض از مبدأ Intercept	1450.16	1	1	1450	1450	-	-
سابقه کشاورز Farmer's background	31.09	24.43	50	729	1555	826	13
مساحت مزرعه Farm area	-129.73	4.51	0.9	-586	-117	469	8
تناوب ذرت Corn rotation	1224.98	0.116	1	142	1225	1083	17
رقم طلایی Talaee variety	2018.09	0.03	1	67	2018	1951	31
تعداد کود سرک Top dress number	1183.73	1.65	3	1953	3551	1598	26
منع آب چاه Well water	910.85	0.73	1	668	911	243	4
علف‌کش Herbicide	1221.52	0.93	1	1140	1222	82	1
عملکرد Yield	-	-	-	5563	11815	6252	-



شکل ۳- سهم هر یک از عوامل اصلی ایجادکننده خلأ عملکرد در شهرستان دورود

Fig. 3- Contribution of key factors to yield gap formation in Doroud county

استفاده از آب چاه به‌عنوان منبع آب پایدارتر نسبت به رودخانه‌های فصلی که در کوتاه‌مدت تحت تأثیر خشکسالی قرار نمی‌گیرد بر عملکرد گندم اثر مثبت داشت و ۲۴۳ کیلوگرم در هکتار خلأ عملکرد را توجیه کرد، زیرا بررسی‌ها نشان داد، در مزارعه‌ای که از منابع آب پایدارتری استفاده کرده بودند، تعداد دفعات آبیاری بیشتری انجام داده و نیاز آبی مزرعه تأمین شده بود. در سال زراعی ۰۲-۱۴۰۱ میزان بارندگی ۳۸۵ میلی‌متر بود که نسبت به بلندمدت ۳۱ درصد کاهش داشت. همچنین میزان بارش در فصل بهار ۳۴ میلی‌متر بود که نسبت به میزان بلندمدت آن ۸۰ درصد کاهش را نشان می‌دهد. لذا رودخانه‌های فصلی که از مهم‌ترین منابع تأمین آب مزارع می‌باشند، اکثراً خشک و یا کم‌آب شده و باعث کاهش تعداد دفعات آبیاری و کاهش میزان آب ورودی به مزرعه شده بود. این امر در خصوص مزارع بزرگ مشهودتر است و شاید به همین دلیل، مساحت مزرعه به‌میزان ۴۶۹ کیلوگرم در هکتار اثر منفی بر عملکرد داشته و در ایجاد خلأ عملکرد مؤثر بود. از طرف دیگر، در مزارعی که منبع تأمین آب آن‌ها چاه بود، به‌علت تعداد دفعات آبیاری بیشتر نسبت به مزارعی که منبع تأمین آب آن‌ها رودخانه‌های فصلی بود (به‌طور میانگین ۱/۵ بار بیشتر از سایر مزارع) و همچنین آبیاری به‌موقع با توجه به نیاز آبی گیاه، عملکرد بهتری داشتند. در ارزیابی کشت کدو تلخ (*Momordica charantia* L.) نتایج نشان داد که خلأ عملکرد در مزارع بزرگ کمتر از مزارع متوسط و کوچک می‌باشد (Hoque et al., 2022).

در شهرستان دورود ذرت به‌صورت علوفه‌ای کشت می‌گردد که اثر آن بر خلأ عملکرد مثبت و ۱۰۸۳ کیلوگرم در هکتار بود. به نظر می‌رسد که تغذیه مناسب ذرت و تفاوت عمق ریشه آن با گندم در این امر مؤثر است. نتایج بررسی‌های سایر محققان نشان داد که قرار گرفتن ذرت در تناوب با گندم سبب افزایش ۴۸ درصدی عملکرد گندم شد که بخشی از این بهبود عملکرد به پویایی جوامع بیولوژیک خاک نسبت داده شد، هرچند موجودی نیتروژن و فسفر خاک کاهش یافت که باید به آن توجه شود (Popovici et al., 2009). در سایر مطالعات، اثر تناوب بر عملکرد نشان‌داده‌شده به‌عنوان مثال پیش‌کاشت کلزا بر عملکرد کشت برنج اثر منفی دارد (Gorgizad et al., 2019; Yousefian et al., 2021). در بررسی مزارع کلزا، نتایج نشان داد که پیش‌کاشت سویا و برنج به‌ترتیب اثر مثبت و منفی بر عملکرد کلزا دارند (Nezamzadeh et al., 2019).

استفاده از علف‌کش به‌میزان ۸۲ کیلوگرم در هکتار بر خلأ عملکرد مؤثر بود. با توجه به رقابت علف‌های هرز با گندم در جذب نور، آب، مواد غذایی و نقش آن‌ها در توسعه برخی از آفات و بیماری‌ها، مبارزه مناسب و به‌موقع می‌تواند به افزایش عملکرد کمک کند. تراکم علف‌هرز و مدیریت ضعیف علف‌های هرز باعث کاهش عملکرد خواهند شد (Nezamzadeh et al., 2019; Sekhavati et al., 2019). در تحقیقات انجام‌شده توسط سایر محققان نیز اثر استفاده از علف‌کش و تعداد دفعات استفاده از آن در کاهش خلأ عملکرد تأیید شده است (Nekahi et al., 2014; Kamali et al., 2021 ;

(Soukhtehsaraei et al., 2023).

تجزیه و تحلیل خلأ عملکرد دانه گندم در شهرستان خرم-آباد

از بین متغیرهای مورد بررسی، مدل رگرسیون نهایی با شش متغیر مستقل انتخاب شد که به‌صورت زیر بود:

معادله (۳)

$$Y=670.85109+3357.35643X_1+841.34722X_2+33.04664X_3+331.07972X_4+2359.81337X_5-1487.00210X_6$$

که در آن، Y : عملکرد براساس کیلوگرم در هکتار، X_1: تناوب چغندرقند (استفاده از چغندر در تناوب به‌عنوان کشت قبل از کاشت گندم ۱، عدم استفاده ۰)، X_2: آب پیش‌کاشت (آبیاری زمین پیش از کشت گندم ۱، عدم آبیاری ۰)، X_3: تاریخ کاشت، X_4: تعداد آبیاری، X_5: استفاده از علف‌کش (مبارزه با علف‌های هرز با استفاده از علف-کش‌های شیمیایی ۱، عدم استفاده ۰)، X_6: ورس مزرعه (عدم وجود ورس ۱، ورس کم ۲، ورس متوسط ۳، ورس زیاد ۴ و ورس خیلی زیاد ۵) می‌باشند.

رابطه بین عملکرد برآوردشده و عملکرد واقعی دارای ضریب همبستگی ۰/۶۹، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) ۱۲۵۸ کیلوگرم در هکتار (درصد میانگین مشاهدات ۲۵ درصد) می‌باشد (شکل ۱– c). میانگین و حداکثر عملکرد مشاهده‌شده در مزرعه ۵۰۰۴ و ۸۵۰۰ کیلوگرم در هکتار و میانگین و حداکثر عملکرد محاسبه‌شده با مدل به‌ترتیب برابر ۵۰۰۲ و ۱۰۹۳۶ کیلوگرم در هکتار بود. کل خلأ عملکرد برآوردشده ۵۹۳۴ کیلوگرم در هکتار بود. با توجه به اینکه حداکثر عملکرد مشاهده‌شده از مقدار حداکثر عملکرد حاصله از مدل کوچک‌تر است، بنابراین می‌توان خلأ عملکرد حاصله را خلأ عملکرد کل در نظر گرفت و خلأ عملکرد قابل حصول یا قابل مدیریت حدود ۸۰ درصد این مقدار لحاظ می‌گردد (Soltani et al., 2016).

عوامل ایجادکننده خلأ عملکرد و سهم هر یک از آن‌ها در جدول و شکل ۴ نشان داده شده است. متغیرهای تناوب چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) با ۵۵ درصد، تعداد آبیاری (۲۱ درصد)، تاریخ کاشت (۱۴ درصد)، آبیاری پیش از کاشت (۸ درصد)، استفاده از علف‌کش (۱ درصد) و ورس مزرعه (۱ درصد) از مهم‌ترین عوامل مؤثر در خلأ عملکرد بودند.

تناوب چغندرقند با ۳۲۴۷ کیلوگرم در هکتار اثر مثبتی بر خلأ عملکرد داشت (جدول). هرچند که گیاهانی مانند سیب‌زمینی (*Solanum tubersum* L.)، چغندرقند و کلزا بقایای گیاهی زیادی ندارند، ولی به‌خاطر ریشه‌های عمیق، تلفات عناصر غذایی خاک را کاهش داده و شیوع برخی بیماری‌های شایع در کشت مداوم گندم مانند پاخوره غلات، لکه چشمی و نماتد را کاهش می‌دهند. چغندرقند به‌خاطر استفاده بیشتر از منابع موجود در خاک و خصوصیات رشدی به‌ویژه اندام‌های زیر زمینی، بستر بهتری برای رشد گندم فراهم می-کند (Zare Faizabadi & Azizi, 2012). در یک تحقیق نتایج نشان داد که عملکرد دانه گندم در تناوب گندم–چغندرقند در مقایسه با تناوب گندم–گندم باعث افزایش ۳۵ درصدی عملکرد دانه شد (Khansari et al., 2015).

تاریخ کاشت اثر مثبت بر عملکرد داشت و معادل ۸۴۱ کیلوگرم در هکتار عملکرد را افزایش داد، با توجه به نداشتن بارندگی مؤثر تا پایان آبان ماه و خشکه‌کاری اکثر مزارع و عدم آبیاری آن‌ها تا زمان نزولات جوی، مزارعی که فاصله بین کاشت تا بارش‌ها کمتر بود، عملکرد بهتری داشتند. به‌استثنای مزارعی که به‌صورت هیرم‌کاری کاشت شده بودند در این تحقیق، انجام آبیاری پیش‌کاشت معادل ۴۶۳ کیلوگرم در هکتار در کاهش خلأ عملکرد مؤثر بود. در یک بررسی روی مزارع برنج، تاریخ کاشت یکی از مهم‌ترین متغیرهای مؤثر در خلأ عملکرد بود (Tseng et al., 2021). در مطالعاتی روی مزارع گندم و سویا به‌ترتیب ۳۶ و ۱۶ درصد از خلأ عملکرد به تاریخ کاشت نسبت داده شد (Nehbandani et al., 201; 7Nekahi et al., 2014). همچنین در تحقیقات دیگر، تأخیر در کاشت گندم عامل ۱۸ درصد خلأ عملکرد بود (Shirinzade et al., 2020).

تجزیه و تحلیل خلأ عملکرد دانه گندم در شهرستان نورآباد

از بین متغیرهای مورد بررسی، چهار متغیر بر مدل رگرسیون نهایی مؤثر بود و معادله نهایی به‌صورت زیر به دست آمد.

معادله (۴)

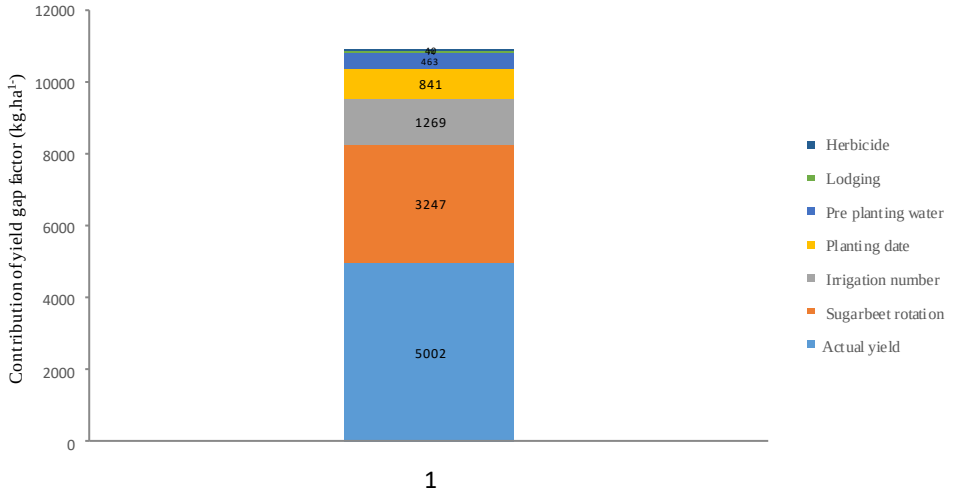
$$Y=4229.23+237.48X_1+4.30X_2-59.86X_3-12.64X_4$$

که در آن، Y: عملکرد براساس کیلوگرم در هکتار، X_1: تعداد شخم، X_2: مقدار کود فسفر مصرف شده، X_3: مقدار کود گاوی استفاده شده و X_4: تاریخ برداشت را نشان می‌دهند.

جدول ٤ - کمّی‌سازی میزان خلأ عملکرد گندم در شهرستان خرم‌آباد و سهم هر متغیر در مدل

Table 4- Quantification of wheat yield gap in Khorramabad county and the contribution of each variable in the model

متغیر Variable	ضریب Coefficient	مقادیر اندازه‌گیری‌شده در مزرعه Values measured in the field		مقادیر محاسبه‌شده با مدل Values calculated by the model		خلأ عملکرد Yield gap	
		میانگین Average	مطلوب Optimum	میانگین Average	مطلوب Optimum	مقدار Value	درصد Percentage
عرض از مبدأ Intercept	670.85	1	1	670.85	670.85	-	-
تناوب چغندرقند Sugarbeet rotation	3357.35	33	1	110.79	3357.35	3246.55	55
آب پیش‌کشت Pre-planting water	841.34	45	1	378.6	841.34	462.74	8
تاریخ کاشت Planting date	33.04	41.55	67	1373.88	2214.12	841.36	14
تعداد آبیاری Irrigation number	331.07	5.166	9	1710.35	2979.71	1269.36	21
علف‌کش Herbicide	2359.81	0.983	1	2319.69	2359.81	40.11	1
ورس Lodging	-1487	1.05	1	-1561.35	1487.21	74.23	1
عملکرد Yield	-	-	-	5002.39	10936.21	5933.82	-



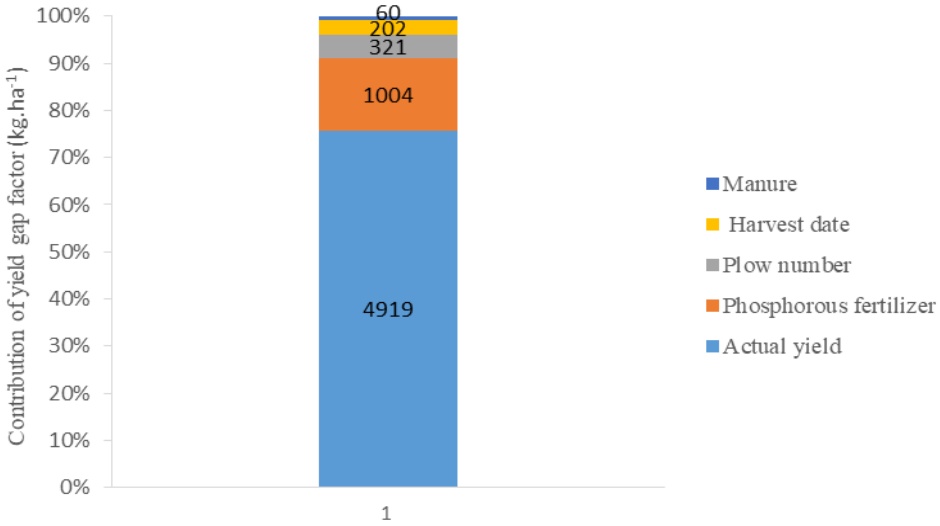
شکل ٤- سهم هر یک از عوامل اصلی ایجاد خلأ عملکرد شهرستان خرم‌آباد

Fig. 4- Contribution of key factors to yield gap formation in Khorramabad county

رابطه بین عملکرد برآوردشده و عملکرد واقعی دارای ضریب همبستگی ۰/۵۷، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) ۳۵۹ کیلوگرم در هکتار (درصد میانگین مشاهدات ۱۱ درصد) می‌باشد (شکل ۱- d). میانگین و حداکثر عملکرد مشاهده‌شده در مزرعه ۳۳۳۴ و ۴۱۰۰ کیلوگرم در هکتار و میانگین و حداکثر عملکرد محاسبه‌شده با مدل به‌ترتیب برابر ۳۳۳۳ و ۴۹۱۹ کیلوگرم در هکتار، که نشان‌دهنده ۱۵۸۶ کیلوگرم در هکتار خلأ عملکرد بود. خلأ عملکرد محاسبه‌شده به‌عنوان خلأ عملکرد قابل دستیابی در نظر گرفته می‌شود. عوامل ایجادکننده خلأ عملکرد و سهم هر یک از این عوامل در جدول۵ و شکل ۵ نشان داده شده است. متغیرهای کود فسفر مصرفی (۶۳

درصد)، تعداد شخم (۲۰ درصد)، تاریخ برداشت (۱۳ درصد) و مقدار کود گاوی مصرف‌شده (چهار درصد) از مهم‌ترین عوامل مؤثر در خلأ عملکرد بودند.

مقدار مصرف کود فسفر بیشترین اثر را بر خلأ عملکرد داشت. میانگین، حداقل و حداکثر مصرف آن در مزارع مورد بررسی به‌ترتیب ۱۷، صفر و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد، که بسیار پایین‌تر از حد نیاز است. در بررسی کشت سویا نتایج نشان داد که مقدار فسفر مصرفی عامل ۲۲ درصد از خلأ عملکرد می‌باشد (Nehbandani et al., 2017).



شکل ۵- سهم هر یک از عوامل اصلی ایجاد خلأ عملکرد در شهرستان نورآباد

Fig. 5- Contribution of key factors to yield gap formation in in in Nourabad county

جدول۵- کمّی‌سازی میزان خلأ عملکرد گندم در شهرستان نورآباد و سهم هر متغیر در مدل

Table 5- Quantification of wheat yield gap in Nourabad county and the contribution of each variable in the model

متغیر Variable	ضریب Coefficient	مقادیر اندازه‌گیری‌شده در مزرعه Values measured in the field		مقادیر محاسبه‌شده با مدل Values calculated by the model		خلأ عملکرد Yield gap	
		میانگین Average	مطلوب Optimum	میانگین Average	مطلوب Optimum	مقدار Value	درصد Percentage
عرض از مبدأ Intercept	4229.23	1	1	4229.23	4229.23	-	-
تعداد شخم Plow number	237.48	1.65	3	291.85	712.46	320.6	20
مقدار فسفر مصرفی Phosphorous fertilizer	4.309	17	250	73.23	1077.25	1003.99	63
مقدار کود گاوی Manure	-59.86	1	0	-59.86	0	59.86	4
تاریخ برداشت Harvest date	-12.46	103	87	-1301.9	-1099.7	202.24	13
عملکرد Yield	-	-	-	3332.55	4919.26	1586.71	-

در بررسی روند تولید گندم در یک دوره ۱۰ ساله با استفاده از مدل شبیه‌سازی، مقدار مصرف فسفر یکی از عوامل اصلی ایجاد خلأ

عملکرد بود (Hesam Arefi et al., 2018). در تحقیقات انجام‌شده روی کشت‌های برنج و نخود فرنگی (*Pisum sativum* L.)، مقدار مصرف فسفر و فسفر قابل جذب خاک از عوامل مؤثر در ایجاد خلأ عملکرد بودند (Kamali et al., 2021; Yousefian et al., 2021).

اثر تعداد شخم بر خلأ عملکرد ۲۰ درصد بود. بررسی‌های میدانی نشان داد که مبارزه مکانیکی با علف‌های هرز توسط شخم یکی از روش‌های غالب مهار علف‌هرز در منطقه است که اثر ثانویه آن، تهویه بیشتر خاک و تأثیر مثبت بر عملکرد می‌باشد. در یک بررسی نتایج نشان داد که استفاده از گاوآهن قلمی در اراضی دیم کم‌بازده ۱۴/۵۶ درصد، زیرشکن در اراضی دیم پربازده ۱۰/۳۱درصد و زیرشکن و فاروئر در نظام کشت آبی به‌ترتیب ۲۰ و ۹/۳۶ درصد در خلأ عملکرد مؤثر بودند (Hajjarpoor et al., 2017a)، امّا در تحقیق دیگری، انجام شخم تابستانه در کشت کلزا تا ۱۵ در صد در کاهش خلأ عملکرد مؤثر بود (Sakhavati et al., 2019).

تاریخ برداشت، سومین عامل مؤثر در خلأ عملکرد بود. به نظر می‌رسد که کاهش بارندگی و گرم شدن هوا، رسیدگی فیزیولوژی را تسریع می‌کند، لذا برداشت نسبت به سنوات قبل باید زودتر انجام می‌گردید، درحالی‌که ورود ناوگان برداشت محصول به روال سال‌های گذشته باعث تأخیر حدود دو هفته‌ای در برداشت و افزایش ریزش گردید. در تحقیق انجام‌شده روی پنبه (*Gossypium herbaceum* L.) بیان شد که تاریخ برداشت تا ۱۶ درصد بر خلأ عملکرد مؤثر است (Shokrgozar et al., 2018). در بررسی دیگر، تأخیر در برداشت از عوامل ایجاد خلأ عملکرد در کشت گندم بیان گردید (Nekahi et al., 2014).

با مقایسه نتایج به‌دست‌آمده در شهرستان‌های مورد بررسی (جدول ۶) و بررسی نقش برخی از متغیرهای سهیم در خلأ عملکرد (جدول ۷) مشاهده شد که با توجه به شرایط اقلیمی و میزان ورودی نهاده‌های تولید به مزرعه، عملکرد پتانسیل متفاوت می‌باشد. میانگین عملکرد واقعی و خلأ عملکرد در مناطق مختلف نسبت به یکدیگر متفاوت بود و در شهرستان‌های با عملکرد پتانسیل بالاتر، خلأ عملکرد بیشتری وجود داشت. پیشرفت فناوری می‌تواند سبب افزایش عملکرد پتانسیل و عملکرد قابل دستیابی گردد، امّا میزان توانایی استفاده از فناوری بر افزایش عملکرد واقعی مؤثر خواهد بود که شرایط آب‌وهوایی می‌تواند اثر آن را محدود سازد. عملکرد تابع اثر متقابل ژنتیک، محیط و مدیریت زراعی می‌باشد، و در هر منطقه با توجه به شرایط اقلیمی باید مدیریت مطلوب و انعطاف‌پذیر اتخاذ گردد تا شرایط برای به حداکثر رسیدن اثر پیشرفت فناوری بر تولید مهیا و خلأ عملکرد کاهش یابد (Hatfield & Beres, 2019).

در همه مناطق مورد مطالعه مدیریت نامطلوب زراعی عامل ایجاد ۸۰ تا ۱۰۰ درصد خلأ عملکرد بود. در بررسی خلأ عملکرد گندم در نظام کشت آبی، مدیریت نامطلوب زراعی عامل اصلی ایجاد خلأ عملکرد بود (Hajjarpoor et al., 2017b). همچنین در بررسی خلأ عملکرد گندم در نظام کشت دیم، تراکم پایین بوته، عدم پذیرش یافته‌های جدید توسط زارعین، تأخیر در کاشت، استفاده از رقم نامناسب و عدم مبارزه با علف‌های هرز عوامل اصلی ایجاد خلأ عملکرد بودند (Nekahi et al., 2014).

جدول ٦- مقایسه نتایج کمّی‌سازی خلأ عملکرد در شهرستان‌های مورد بررسی

Table 6- Comparison of quantified yield gap results across the studied counties

	عملکرد پتانسیل Potential yield (kg.ha^{-1})	میانگین عملکرد Average yield (kg.ha^{-1})	مقدار خلأ عملکرد Yield gap (kg.ha^{-1})	درصد خلأ عملکرد Yield gap percentage
نورآباد Nourabad	4919	3333	1587	32
کوهدشت Kouhdasht	6218	4183	2035	33
دورود Doroud	11815	5563	6252	53
خرم‌آباد Khorramabad	10936	5002	5934	54
میانگین Mean	8472	4520	3952	43

جدول ۷- مقایسه متغیرهای دارای بیشترین اثر را در ایجاد خلأ عملکرد

Table 7- Comparison of variables with the greates impact on yield gap formation

شهرستان County	تعداد دفعات آبیاری Irrigation number			مقدار مصرف کود نیتروژن Nitrogen fertilizer (kg.ha^{-1})				مقدار مصرف کود فسفر Phosphrous fertilizer (kg.ha^{-1})				مبارزه با علف هرز Weed control		مبارزه با آفات Pest control	
	حداکثر Max	حداقل Min	میانگین Average	حداکثر Max	حداقل Min	میانگین Average	درصد استفاده Usage percentage	حداکثر Max	حداقل Min	میانگین Average	درصد استفاده Usage percentage	میانگین دفعات Number mean	درصد انجام Percentage of completion	میانگین دفعات Number mean	درصد انجام Percentage of completion
نورآباد Nourabad	5	3	3.8	250	0	90	98	250	0	17	25	0.88	85	0.45	45
کوهدشت Kouhdasht	13	2	5.5	300	50	129	100	200	0	79	83	0.93	93	0.48	48
دورود Doroud	12	2	5	450	100	218	100	250	0	162	98	0.96	93	0.56	56
خرم‌آباد Khorramabad	10	1	16.5	350	50	187	100	200	0	38	42	1	98	0.47	47

سلطانی و میرزایی (Soltani & Mirzaei, 2022) مدیریت نامطلوب مزرعه را ناشی از عواملی از قبیل قیمت پایین فروش محصول تولیدی، عدم تمکن مالی، ناتوانی در استفاده از تسهیلات بانکی، عدم دسترسی کافی و به‌موقع به نهاده‌ها و ماشین‌آلات کشاورزی و مشکلات زیرساخت‌ها (جاده، حمل‌ونقل، ذخیره‌سازی) دانستند.

نتیجه‌گیری

خلأ عملکرد از ۱۵۸۷ کیلوگرم در هکتار (۳۲ درصد) تا ۶۲۵۲ کیلوگرم در هکتار (۵۳ درصد) متغیر بود(جدول ۶). عوامل اصلی ایجاد خلأ عملکرد، مدیریت نامطلوب متغیرهایی مانند تعداد کود سرک، تعداد آبیاری، نوع رقم، تناوب، عدم استفاده از علف‌کش، مبارزه با آفات و مقدار و روش مصرف کودهای شیمیایی بودند. خلأ عملکرد قابل دستیابی در اقلیم‌ها و شهرستان مورد بررسی ۱۵۸۶ تا ۵۰۰۲ کیلوگرم در هکتار محاسبه شد. اگر میانگین خلأ عملکرد قابل دستیابی ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار در نظر گرفته شود، با توجه به سطح زیر کشت گندم آبی استان، با بهینه کردن مدیریت موارد یادشده می‌توان تولید گندم آبی را ۱۴۸۴۸۸ تن در سال افزایش داد که تقریباً برابر ۸۰ درصد تولید گندم آبی و ۴۲ درصد کل تولید گندم استان می‌باشد.

References

1. Abravan, P., Soltani, A., Majidian, M., & Mohsenabadi, G. (2016). Study of field management factors and underlying reasons limiting yield of oilseed rape in east of Golestan province using CPA method. *Jornal of Agroecology*, *7*(2), 46-60. (in Persian with English abstract). https://sid.ir/paper/254758/fa
2. Ahmadi Alipour, H., Soltani, A., Kazemi, H., & Nehbandani, A. (2018). Zoning Golestan province in terms of the ability and the wheat production gap using a simulation model (SSM). *Crop Improvement (Journal of Agricultural Crop Production)*, *20*(1), 129-144. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/jci.2018.237053.1784
3. Baghbani Arani, A., Modarres-Sanavy, S.A.M., Mashhadi Akbar Boojar, M., & Mokhtassi Bidgoli, A. (2017). Towards improving the agronomic performance, chlorophyll fluorescence parameters and pigments in fenugreek using zeolite and vermicompost under deficit water stress. *Industrial Crop, 109*, 346–357. httpps://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.08.049
4. Broomand, M., Esfahani, M., Alizadeh, M.R., & Alami, A. (2013). Evaluation of morphological characteristics related to lodging in native and improved rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. *Cereal Research, 3*(3), 181-195. (in Persian with English abstract).
5. Center for Statistics, technology and communication, deputy for economic planning, Ministry of Agricultural Jahad. (2024). Agricultural Letter Statistics. 126 p.
6. Daneshmand, A.R., Shirani-Rad, A.H., Noormohammadi, G., Zarei, G., & Daneshian, J. (2007). Effect of water stress and different levels of nitrogen fertilizer on seed yield and its components, nitrogen uptake and water use and nitrogen utility efficiency in two rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. *Iranian Journal of Crop Sciences*, *8* (4), 323-342. (in Persian with English abstract). DOR: 20.1001.1.15625540.1385.8.4.4.9
7. Dhillon, J., Li, X., Bheemanahalli, R., & Reed, V. (2022). Mississippi state and county level yield gap in corn production. *Agricultural & Environmental Letters, 7*, e20092. https://doi.org/10.1002/ael2.20092
8. Fan, M., Shen, J., Yuan, L., Jiang, R., Chen, X., Davies, W.J., & Zhang, F. (2012). Improving crop productivity and resource use efficiency to ensure food security and environmental quality in China. *Journal of Experimental Botany*, *63*(1), 13–24. https://doi.org/10.1093/jxb/err248
9. FAO, (2009). Global Agriculture towards 2050. How to Feed the World in 2050.
10. Fischer, T., Byerlee, D., & Edmeades, G.O. (2014). *Crop yields and global food security: Will yield increases continue to feed the world?* Canberra, Australia. Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR). 634 p.
11. Foley, J.A., Ramankutty, N., Brauman, K.A., Cassidy, E.S., Gerber, J.S., Johnston, M., Mueller, N.D., O'Connell, C., Ray, D.K., West, P.C., Balzer, C., Bennett, E.M., Carpenter, S.R., Hill, J., Monfreda, C., Polasky, S., Rockstr¨om, J., Sheehan, J., Siebert, S., Tilman, D., & Zaks, D.P.M. (2011). Solutions for a cultivated planet.

Nature, *478*, 337–342. https://doi.org/10.1038/nature10452
12. Gebrechorkos, S.H., Hülsmann, S., & Bernhofer, C. (2019) Changes in temperature and precipitation extremes in Ethiopia, Kenya, and Tanzania. *International Journal of Climatology*, *39*(1), 18–30. https://doi.org/10.1002/joc.5777
13. Gao, J., Shi, J., Dong, S., Liu, P., Zhao, B., & Zhang, J. (2018). Grain development and endogenous hormones in summer maize (*Zea mays* L.) submitted to different light conditions. *International Journal of Biometeorology*, *62*, 2131–2138. https://doi.org/ 10.1007/s00484-018-1613-4
14. Gorgizad, A., Soltani, A., Dastan, S., & Ajamnoroozi, H. (2019). Evaluation of potential yield and yield gap associated with crop management in improved rice cultivars in Neka region. *Journal of Agroecology*, *11*(1), 277-294. (in Persian with English abstract). https://doi.org/ 10.22067/jag.v11i1.67430
15. Hajjarpoor, A., Soltani, A., and Torabi, B. 2016. Using boundary line analysis in yield gap studies: case study of wheat in Gorgan. *Electronic Journal of Crop Production*, *8*(4), 183-201. (in Persian with English abstract). https://dorl.net/dor/20.1001.1.2008739.1394.8.4.10.6
16. Hajjarpour, A., Soltani, A., Zenali, E., Kashiri, H., & Aynehband, A. (2017 a). Evaluation of wheat (*Triticum aestivum* L.) yield gap in Golestan province of Iran using comparative performance analysis method. *Iranian Journal of Crop Science*, *19*(2), 86-101. (in Persian with English abstract). https://doi.org/ 20.1001.1.15625540.1396.19.2.1.9
17. Hajjarpour, A., Soltani, A., Zenali, E., Kashiri, H., Aynehband, A., & Nazari, M. (2017 b). Determination of the optimum managements ranges in order to increasing wheat yield in Golestan province. *Crop Improvement (Journal of Agricultural Crop Production)*, *19*(3), 577-590. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/jci.2017.60463
18. Halalkhor, S., Dastan, S., Soltani, A., & Ajam Nowrozi, H. (2018). Documenting the process of rice production and gap yield associated with crop management in rice production (case study: Mazandaran province, Babol region). *Crop Improvement (Journal of Agricultural Crops Production)*, *20*(2), 397-414. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/jci.2018.237805.1795
19. Hatfield, J.L., & Beres, B.L. (2019). Yield Gaps in Wheat: Path to Enhancing Productivity. *Frontiers in Plant Science*, *10*:1603. https://doi.org/doi: 10.3389/fpls.2019.01603.
20. Huerta-Espino, J., Singh, R.P., & Guzmán, C. (2018). Milling, processing and end-use quality traits of CIMMYT spring bread wheat germplasm under drought and heat stress. *Field Crops Research*, *215*, 104–112. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.10.003
21. Hesam arefi, A., Safari, M., & Moradi, R. (2018). Gap analysis of wheat production and influencing factors in Kerman province. *Jornal of Agroecology*, *8*(1), 106-123. (in Persian with English abstract). https://www.magiran.com/p1846625
22. Hoque, F., Kamruzzaman, M., Rana, M.J., Hassan, M.K., & Hassan, J. (2022). Yield gap in bitter gourd production: A perspective of farm-specific efficiency in Narsingdi district in Bangladesh. *Social Sciences & Humanities*, *6*(1), 100335. https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2022.100335
23. Jaenisch, B.R., Munaro, L.B., Bastos, L.M., Moraes, M., Lin, X., & Lollato, R.P. (2021). On-farm data-rich analysis explains yield and quantifies yield gaps of winter wheat in the U.S. Central Great Plains. *Field Crop Research*, *272*, 108287. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108287
24. Kamali, B., Rahemi Karizaki, A., Biabani, A., & Mollashahi, M. (2021). Analysis of the limiting factors of Pea (*Pisum sativum* L.) yield in the Mediterranean condition, case study: Gonbad Kavus. *Iranian Journal of Pulses Research*, *12*(2), 122-135. (in Persian with English abstract). https://doi.org/ 10.22067/ijpr.v12i2.84317
25. Keramat, S., Torabi, B., Soltani, A., & Zeinali, E. (2021). Evaluation of rice production potential and yield gap in Iran using SSM-iCrop2 model. *Cereal Research*, *11*(3), 175-191. (in Persian with English abstract). https://doi.org/ 10.22124/CR.2022.20971.1697
26. Khansari, V.A., Sabouri, H., Biabani, A., Gholizadeh, A., Falahi, H.A., & Zareae, M. (2015). Correlation study and causal analysis of agronomic traits in wheat-wheat and sugar beet-wheat rotations. *Applied Research of Plant Ecophysiology*, *2*(2): 145-156. (In Persian with English abstract).
27. Liu, B., Chen, X., Meng, Q., Yang, H., & Wart, J.V. (2017). Estimating maize yield potential and yield gap with agro-climatic zones in China - Distinguish irrigated and rainfed conditions. *Agricultural and Forest Meteorology*, *239*,108–117. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.02.035

28. Liu, Y., Li, Y., Lü, T., Xing. J., Xu, T., Cai, W., Zhang, Y., Zhao, J., & Wang, R. (2021). The priority of management factors for reducing the yield gap of summer maize in the north of Huang-Huai-Hai region, China. *Journal of Integrative Agriculture, 20*(2), 450–459. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63294-4
29. Lollato, R.P., Roozeboon, K., Lingenfelser, J.F., Da Silva, C.L., & Sassenrath, G. (2020). Soft winter wheat out yields hard winter wheat in a subhumid environment: weather drivers, yield plasticity, and rates of yield gain. *Crop Science*, *60*(3), 16167-1633. https://doi.org/10.1002/csc2.20139
30. Mansouri Rad, A., Nakhzari Moghadam, A., Soltani, A., Rahemi-Karizaki, A., & Torabi, B. (2018). Identifying soybean yield-limiting factors by using Comparative performance Analysis (Case study: Golestan province-Kalaleh). *Crops Improvement (Journal of Agricultural Crops Production), 19*(4), 1033-1046. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/jci.2018.227778.1675
31. Matourian, H., Khodaei Joghan, A., Moradi Telavat, M., 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
32. Mekonnen, A., Getnet, M., Nebiyu, A., & Tesfaye Abebe, A. (2022). Quantifying potential yield and yield gap of soybean using CROPGRO-Soybean model in the humid tropics of southwestern Ethiopia. *International Journal of Plant Production*, *16*(6), 653-667 https://doi.org/10.1007/s42106-022-00218-z
33. Nehbandani, A., Soltani, A., Zainli, A., & Hosseini, F. (2017). Analysis of soybean yield costraints in Gorgan and Aliabad Ketoul using CPA method. *Journal of Agroecology, 7*(1), 109-123.(in Persian). https://www.magiran.com/p1733925
34. Nehbandani, A., Soltani, A., Hajjarpoor, A., Dadrasi, A., & Nourbakhsh, F. (2020). Comprehensive yield gap analysis and optimizing agronomy practices of soybean in Iran. *The Journal of Agricultural Science, 158*(8-9), 739-747. https://doi.org/10.1017/S0021859621000241 .
35. Nekahi, M.Z., Soltani, A., Siahmarguee, A., & Bagherani, N. (2014). Yield gap associated with crop management in wheat (Case study: Golestan province Bandar-gaz). *Journal of Crop Production*, 7(2), 135-156. (in Persian with English abstract). DOR 20.1001.1.2008739.1393.7.2.8.3
36. Nezamzadeh, S.E., Soltani, A., Dastan, S., & Ajam Norouzi, H. (2019). Evaluation of yield gap associated with crop management in rapeseed production using comparative performance analysis (CPA) and boundary line analysis (BLA) methods in Neka region. *Applied Research in Field Crop*, *32*(2), 76-107. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/aj.2019.120656.1251
37. Peña-Bautista, R.J., Hernandez-Espinosa, N., Jones, J.M., Guzmán, C., & Braun, H.J. (2017). CIMMYT Series on Carbohydrates: Wheat-based foods: Their global and regional importance in the food supply, nutrition, and health. *Cereal Foods World*, *62*(5), 231–249. https://doi.org/10.1094/CFW-62-5-0231
38. Popovici, M., & Bucurean, E. (2009). The influence of crop rotation over the yield and the quality of the seeds for the Dropia autumn wheat cultivar. *Research Journal of Agricultural Science*, *41* (1): 99-102.
39. Rainfall Bulletin, National Meteorological Organization, National Center for Climate and Drought Management. 2021-2022.
40. Rezvantalab, N., Dastan, S., & Soltani, A. (2019). Identification of production constraints and yield gap monitoring of local rice (*Oryza sativa* L.) cultivars in Mazandaran Province. *Iranian Journal of Crop Sciences*, *21*(2), 155-172. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.29252/abj.21.2.155
41. Sekhavati, S., Ramhi Karizki, A., Nakhzari Moghadam, A., & Molashahi, M. (2019). Identification of Rapeseed limiting factors using performance comparison analysis. *Journal of Crop Improvement*, *22*(1), 13-25. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/jci.2019.280944.2212
42. Shokrgorzar Darabi, M., Soltani, A., & Zainli, A. (2018). Study of cotton yield gap with Boundary Line Analysis method in Aq-Qla and Aliabad Katul cities in Golestan province. *Journal of Crop Production*, *11*(3), 15-28. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22069/ejcp.2019.11399.1875
43. Shirinzade, A., Hossen Heidari, S.A., Eslam Majidi, H., Nourmohammadi, G., & Madani, H. (2020). Analyzing Wheat Yield Constraints in Parsabad Moghan, North-West of Iran. *Journal of Crop Production and Processing*, *10*(2), 49-65. (in Persian). https://doi.org/10.47176/jcpp.10.2.35211
44. Soltani, A. (2009). Mathematical modeling in fild crop. Mashhad, Jahad Daneshgahi of Mashhad Press, 172 p. (in Persian).
45. 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. http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2015.10.015
46. Soltani, A., & Mirzaei, A.R. (2022). Analysis of potential yield and yield gap in plant production systems. Gorgan, Sirang vocabulary. 45 p. (in Persian).
47. Soukhtehsaraei, M., Dadashi, M.R., Faraji, A., & Soltani, A. (2023). Determination gap yield in product soybean on Aliabad Katol area by use analysis CPA and bunderace linear. *Journal of Crop Production*, *16*(1), 25-41. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22069/ejcp.2023.17284.2282
48. Surjani. U.K., & Wrigley, C. (2017). Chapter 5 - Wheat: Grain-quality characteristics and management of quality requirements, Cereal grains: Assessing and managing quality. Edited by Wrigley, C., Batey, I., & Miskelly, D. Kidlington, United Kingdom,Woodhead Publishing. 788 p. https://doi.org/1016/B978-0-08-10071910. -8.00005-X
49. Torabi, B., Soltani, A., Galeshi, S., Zeinali, A., & Kazemi korgehei, M. (2013). Ranking factors causing the wheat yield gap in Gorgan. *Electronic Journal of Crop Production*, *6*(1), 171-189. (in Persian with English abstract). https://dorl.net/dor/20.1001.1.2008739.1392.6.1.10.6
50. Torabi, B., Soltani, A., Galshi, S., & Zinli, A. (2019). Yield gap analysis: quantifying the gap between actual yield and potential yields of wheat in Gorgan. *Journal of Crop Production*, *13*(1), 1-24. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22069/ejcp.2020.12532.1975
51. Tseng, M.C., Roel, A., Macedo, I., Marella, M., Terra, J., Zorrilla, G., & M Pittelkow, C. (2021). Field-level factors for closing yield gaps in high-yielding rice systems of Uruguay. *Field Crops Research*, 264, 108097. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108097
52. United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2022). World Population
53. Prospects 2022: Summary of Results. UN DESA/POP/2022/TR/NO. 3.
54. UN, 2017. World Population Prospects: the 2017 Revision. Division of the United Nations Department of Economic and Social Affairs, New York. https://population.un.org/
55. Vasco Silva, J., Jaleta, M., Tesfaye, K., Abeyo, B., Devkota, M., Frija.A., Habarurema, I., Tembo, B., Bahri, H., Mosad, A., Blasch, G., Sonder, K., Snapp, S., & Baudron, F. (2023). Pathways to wheat self-sufficiency in Africa. *Global Food Security*, *37*(2023)100684. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2023.100684
56. Yang, Y.S., Guo, X.X., Liu, H.F., Liu, G.Z., Liu, W., Ming, B., Xie, R.Z., Wang, K.E., Hou, P., & Li, S.K. (2021). The effect of solar radiation change on the maize yield gap from the perspectives of dry matter accumulation and distribution. *Journal of Integrative Agriculture, 20*(2), 482–493. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63581-X
57. Yousefian, M., Soltani, A., Dostan, S., & Ajam-Nooruri, H. (2021). Identification of production constraining factors of local rice cultivars production in Sari region. *Iranian Journal of Field Crop Science, 52*(2), 67-82. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/IJFCS.2020.277054.654585
58. Zarea Feizabadi, A., & Koocheki, A. (1999). Yield and yield components of Alamout and Bezostaya varieties of wheat under different rotations in conventional and ecological cropping systems. *Iranian Journal of Crop Sciences, 1*(3), 55-63. (In Persian with English abstract). DOR: 20.1001.1.15625540.1377.1.3.6.6
59. Zare Faizabadi, A., & Azizi, M. (2012). Effect of different crop rotation systems on wheat productivity in the cold Agro-climate Region of Khorasan-e-Razavi. *Seed and Plant Production Journal*, *28*(3), 261-275. https://doi.org/10.22092/sppj.2017.110475
60. Zahed, M., Soltani, A., Zeinli, E., Torabi, B., Zand, E., & Alimagham, S.M. (2019). Modeling of irrigated wheat yield potential and gap in Iran. *Journal of Crop Production*, *12*(3), 35-52. https://doi.org/10.22069/ejcp.2019.15436.2150
61. Zegeye, F., Alamirew Alemu, B., & Tolossa, D. (2020). Analysis of Wheat Yield Gap and Variability in Ethiopia. *International Journal of Agricultural Economics*, *5*(4), 89-98. https://doi.org/10.11648/j.ijae.20200504.11 .
62. Zhao, H., Chang, J., Havlík, P., Van Dijk, M., Valin, H., Janssens, C., Ma, L., Bai, Z., Herrero, M., Smith, P., & Obersteiner, M. (2021). China's future food demand and its implications for trade and environment. *Nature Sustainability*, *4*, 1042–1051. https://doi.org/10.1038/s41893-021-00784-6