University of Guilan
Faculty of Agricultural Sciences

Cereal Research
Vol. 15, No. 4, 2025 (369-381)
Home page: https://cr.guilan.ac.ir/
pISSN: 2252-0163 eISSN: 2538-6115

Investigating the yield gap and it's influencing factors in irrigated wheat fields of Azna county, Lorestan province, Iran, using comparative performance analysis (CPA)

Hossein Pourhadian[1]✉

1. Assistant Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran.
✉ Corresponding author: hpoorhadian@pnu.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 25 August 2025
Revised: 14 November 2025
Accepted: 7 December 2025
Available online: 22 December 2025

Abstract

Introduction: Wheat is one of the most important plant affecting human life due to various application. Diverse management practices of farmers is caused the potential of the agricultural lands are often not optimally utilized, resulting in low yields per unit area. The comparative performance analysis (CPA) method effectively estimates yield differences based on the potential of the land and the yield resulting from farmer's management. This study was planned and implemented to investigate the yield gap and its contributing factors in the irrigated wheat fields of Azna county, Lorestan province, Iran, using the CPA method.

Materials and Methods: In this study, data from 74 irrigated wheat farms in Azna county were used to estimate the yield gap and its contributing factors through the CPA method. The data from the wheat fields were collected using a questionnaire including farm characteristics, planting, maintenance, and harvesting operations. Topographic and soil information for each wheat field were also obtained from the GIS-prepared layers based on their geographical locations. To determine the yield model (output), the relationship between all measured variables and yield was examined using stepwise regression analysis with SAS software. Finally, using the derived production equation, the yield gap and its contributing factors, along with the share of each, were identified.

Results and Discussion: The results of this study showed that the minimum and maximum observed yield of wheat fields were 2500 and 8500 kg.ha^{-1}, respectively, with the average of 5943 kg.ha^{-1}. Also, the average, minimum and maximum yield estimated by the model were 5906.62, 3248.22 and 11289.24 kg.ha^{-1}, respectively, and the total yield gap was 5382.62 kg.ha^{-1}. The correlation coefficient between the estimated yield and the actual yield of farmers was 0.81, and the residual root mean square (RMSE) and the coefficient of variation (CV) of the model were obtained 842.71 kg.ha^{-1} and 14.27%, respectively. The analysis of the factors contributing to the yield gap indicated the role of six variables, including low organic matter in the soil (26.8%), lack of row planting (3.60%), low seed usage (10.96%), reduced number of irrigations in the fall (18.88%), reduced amounts of nitrogen applied as top-dressing fertilizer (17.28%), and untimely harvesting (22.43%), in creating the yield gap in irrigated wheat fields in Azna county.

Conclusion: This study confirms the acceptable capability of the CPA method in estimating the yield gap and the factors affecting it in the wheat fields of Azna county. The results showed that with timely, targeted, and intelligent management, the yield gap can be reduced by approximately 48%. Implementing appropriate crop rotation, managing wheat and other crop residues, use of animal manure, promoting the use of row planters and providing them to farmers, managing seedbed preparation, selecting suitable varieties, and strongly recommending fall irrigation, soil testing to determine appropriate nitrogen fertilizer levels, and distributing it according to the growth stages of wheat, along with precise planning to avoid overlap in spring crop cultivation with wheat harvesting and timely entry of harvesting machinery into wheat fields are recommended to reduce the yield gap based on the influencing factors.

Keywords:
Autumn irrigation
Harvest date
Organic matter
Top-dressing nitrogen fertilizer

Cite this article: Pourhadian, H. (2025). Investigating the yield gap and it's influencing factors in irrigated wheat fields of Azna county, Lorestan province, Iran, using comparative performance analysis (CPA). *Cereal Research*, *15*(4), 369-381. doi: 10.22124/CR.2026.31499.1877.

© The Author(s) retain the copyright.
DOI: https://doi.org/10.22124/CR.2026.31499.1877. **Punlisher:** University of Guilan

تحقیقات غلات
دوره پانزدهم، شماره چهارم، ۱۴۰۴ (۳۸۱-۳۶۹)
Home page: https://cr.guilan.ac.ir/
شاپا چاپی: ۰۱۶۳-۲۲۵۲ شاپا الکترونیکی: ۶۱۱۵-۲۵۳۸

بررسی خلأ عملکرد و عوامل مؤثر بر آن در گندم‌زارهای آبی شهرستان ازنا، استان لرستان، ایران، با استفاده از روش تحلیل مقایسه کارکرد (CPA)

حسین پورهادیان[۱]

۱- استادیار، گروه کشاورزی، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران.
نویسنده مسئول: (hpoorhadian@pnu.ac.ir)

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۰۳
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۸/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۱۶
انتشار آنلاین: ۱۴۰۴/۱۰/۰۱

چکیده

مقدمه: گندم به‌دلیل کاربردهای متعدد یکی از مهم‌ترین گیاهان مؤثر در زندگی بشر است. مدیریت متنوع کشاورزان در اراضی زراعی موجب شده است که معمولاً از توانایی بالقوه اراضی استفاده بهینه نشود و از این‌رو معمولاً عملکرد گیاه در واحد سطح پایین است. روش تحلیل مقایسه عملکرد (CPA) توانایی لازم در برآورد اختلاف عملکرد بر اساس توانایی بالقوه اراضی و عملکرد ناشی از مدیریت کشاورزان را دارد. این مطالعه به‌منظور بررسی خلأ عملکرد و عوامل ایجادکننده آن در گندم‌زارهای آبی شهرستان ازنای استان لرستان با استفاده از روش CPA برنامه‌ریزی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش، از اطلاعات ۷۴ مزرعه گندم‌زار آبی شهرستان ازنا جهت برآورد خلأ عملکرد و عوامل ایجادکننده آن به‌روش CPA استفاده شد. اطلاعات گندم‌زارها، شامل مشخصات مزرعه، عملیات کاشت، داشت و برداشت به‌کمک پرسش‌نامه و همچنین اطلاعات توپوگرافی و خاک هر گندم‌زار از لایه‌های تهیه شده به‌کمک GIS بر اساس موقعیت مکانی جمع‌آوری شد. برای تعیین مدل عملکرد (تولید)، رابطه بین تمامی متغیرهای اندازه‌گیری شده و عملکرد با روش رگرسیون گام‌به‌گام به‌کمک نرم‌افزار SAS 9.3 مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت با استفاده از معادله تولید به‌دست‌آمده، خلأ عملکرد و عوامل ایجادکننده و سهم هر یک از آن‌ها مشخص شدند.

نتایج و بحث: نتایج این مطالعه نشان داد که حداقل و حداکثر عملکرد مشاهده شده گندم‌زارها به‌ترتیب ۲۵۰۰ و ۸۵۰۰ کیلوگرم در هکتار با میانگین ۵۹۴۳ کیلوگرم در هکتار بود. میانگین، حداقل و حداکثر عملکرد برآورد شده توسط مدل نیز به‌ترتیب ۵۹۰۶/۶۲، ۳۲۴۸/۲۲ و ۱۱۲۸۹/۲۴ کیلوگرم در هکتار و میزان کل خلأ عملکرد ۵۳۸۲/۶۲ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. ضریب همبستگی بین عملکرد تخمین زده شده و عملکرد واقعی کشاورزان ۰/۸۱ و مجذور میانگین مربعات باقیمانده (RMSE) و ضریب تغییرات (CV) مدل به‌ترتیب ۸۴۲/۷۱ کیلوگرم در هکتار و ۱۴/۲۷ درصد به‌دست آمد. تحلیل عوامل ایجادکننده خلأ عملکرد نشان داد که شش عامل، شامل پایین بودن مقدار ماده آلی خاک (۲۶/۸ درصد)، عدم استفاده از ردیف‌کار (۳/۶۰ درصد)، مصرف کم مقدار بذر (۱۰/۹۶ درصد)، کاهش تعداد آبیاری در پاییز (۱۸/۸۸ درصد)، کاهش مقدار نیتروژن خالص سرک (۱۷/۲۸ درصد) و عدم برداشت به‌موقع محصول (۲۲/۴۳ درصد)، در ایجاد خلأ عملکرد در گندم‌زارهای آبی شهرستان ازنا نقش داشتند.

نتیجه‌گیری: نتایج این مطالعه، توانایی قابل قبول روش CPA را در برآورد خلأ عملکرد و عوامل مؤثر بر آن در گندم‌زارهای شهرستان ازنا تأیید کرد و نشان داد که با اعمال مدیریت به‌موقع، هدف‌مند و هوشمندانه می‌توان خلأ عملکرد را به‌میزان حدود ۴۸ درصد کاهش داد. اجرای تناوب مناسب، مدیریت بقایای گندم و سایر محصولات، مصرف کود دامی، ترویج استفاده از ردیف‌کار و فراهم‌سازی آن برای کشاورزان، مدیریت تهیه بستر، رقم مناسب و توصیه مؤکد بر آبیاری پاییزه، آزمون خاک جهت تعیین میزان کافی نیتروژن و تقسیط کود نیتروژن با توجه به مراحل رشد گندم و برنامه‌ریزی دقیق جهت عدم تداخل امور زراعی کشت‌های بهاره با برداشت گندم و ورود به‌موقع ماشین‌آلات برداشت به مزارع جهت کاهش خلأ عملکرد با توجه عوامل مؤثر بر آن قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی:
آبیاری پاییزه
تاریخ برداشت
کود نیتروژن سرک
ماده آلی

نحوه استناد به این مقاله: پورهادیان، حسین. (۱۴۰۴). بررسی خلأ عملکرد و عوامل مؤثر بر آن در گندم‌زارهای آبی شهرستان ازنا، استان لرستان، ایران، با استفاده از روش تحلیل مقایسه کارکرد (CPA). *تحقیقات غلات*، ۱۵ (۴)، ۳۸۱-۳۶۹. doi: 10.22124/CR.2026.31499.1877

ناشر: دانشگاه گیلان

© حق چاپ برای نویسنده(گان) محفوظ است.

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) با انعطاف‌پذیری و سازگاری محیطی وسیع، یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی ایران و جهان است و سابقه‌ای طولانی در زندگی و تکامل بشر دارد (Khajehpour, 2013). این گیاه با سطح زیر کشت ۲۲۰۴۰۷۰۷۰ هکتار و تولید ۷۹۸۹۷۵۶۲۹ تن در جهان (FAO, 2023)، مهم‌ترین گیاه در تأمین امنیت غذایی مردم دنیا است. سطح زیر کشت گندم در ایران ۲۷۸۳۱۲۲ هکتار با تولید سالانه ۱۰۸۳۳۱۰۶ تن و در استان لرستان ۳۲۶۶۸۲ هکتار با تولید سالانه ۶۷۱۸۶۹ تن (Ministry of Agricultural Jahad, 2025) بوده است. دامنه تغییرات عملکرد گندم در سال ۲۰۲۳ در جهان بین ۴۰۵/۳ تا ۹۶۶۸/۱ کیلوگرم در هکتار و متوسط عملکرد گندم در ایران ۲۲۵۸/۱ کیلوگرم در هکتار بوده است (FAO, 2023). ایران از نظر عملکرد در رتبه ۸۱ و از نظر سطح زیر کشت در رتبه ۱۰ جهان قرار دارد و تغییرات عملکرد گندم در ایران طی ۶۳ سال اخیر بین ۷۰۸/۸ تا ۲۴۶۲/۸ کیلوگرم در هکتار در نوسان بوده است (FAO, 2023). یکی از مهم‌ترین چالش‌های کشاورزی در ایران نامناسب بودن سیستم تولید است که موجب عدم استفاده از توانایی بالقوه گندم‌زارها و در انتها کاهش تولید می‌شود. شناخت ضعف سیستم تولید و مدیریت اراضی زراعی شرایط را برای افزایش تولید گندم در واحد سطح فراهم می‌کند (Khajehpour, 2013).

ظرفیت تولید محصول را می‌توان با تخمین عملکرد بالقوه و عملکرد آب محدود به‌عنوان معیارهایی برای تولید محصول به‌ترتیب در شرایط آبی و دیم ارزیابی کرد. خلأ عملکرد، تفاوت بین سطوح عملکرد نظری و عملکرد واقعی کشاورزان تعریف می‌شود (Van Ittersum *et al*., 2013). کاهش خلأ بین عملکرد فعلی مزارع و عملکرد قابل دستیابی با بهترین شیوه‌ها و فناوری‌های امروزی در یک محیط معین، یک راهبرد مؤثر برای افزایش تولید غلات در زمین‌های زراعی است (Hochmana *et al*., 2016). عملکرد پتانسیل و خلأ عملکرد را می‌توان به‌کمک روش‌های مختلف از جمله روش تحلیل مقایسه کارکرد (CPA; Comparative Performance Analysis) مورد بررسی قرار داد (Pourhadian, 2018; Devkota *et al*., 2025) و خلأ عملکرد ناشی از عوامل مدیریتی را بر تولید شناسایی کرد (Hajjarpour *et al*., 2017; Sekhavatifar *et al*., 2020; Nazari *et al*., 2025). روش CPA با استفاده از مدل رگرسیون گام‌به‌گام، محدودیت‌های اصلی عملکرد را شناسایی و توابع کمی شده خلأ عملکرد در مدل تولید را معین می‌کند (Shokrgorzar Darabi *et al*., 2018; Matourian *et al*., 2022; Bagheripour *et al*., 2024).

تجزیه و تحلیل عوامل محدود کننده عملکرد گندم به‌روش CPA در استان گلستان نشان داد که میزان خلأ عملکرد ۴۰۹۳ کیلوگرم در هکتار بود و آبیاری (۲۷ درصد)، عدم مصرف بهینه کود نیتروژن (۲۵ درصد)، عدم رعایت تاریخ کاشت بهینه (۲۰ درصد)، عدم استفاده از رقم مناسب (۱۰ درصد)، عدم استفاده از زیرشکن (۹ درصد) و عدم استفاده از فاروئر (۸ درصد) به‌عنوان مهم‌ترین عوامل ایجاد خلأ عملکرد معرفی شدند (Hajjarpour *et al*., 2017). نتایج مطالعه دیگری به‌روش CPA در شهرستان کلاله نشان داد که مقدار خلأ عملکرد ۴۰۷۱/۷ کیلوگرم در هکتار بود و متغیرهای تجربه کشاورز (۱۹/۴ درصد)، میزان بذر مصرفی (۱۶/۸ درصد)، مقدار فسفر قابل جذب در خاک (۱۴/۹ درصد)، تعداد دفعات مصرف قارچ‌کش (۱۴/۳ درصد)، میزان مواد آلی خاک (۱۲/۷ درصد)، مقدار پتاسیم قابل جذب در خاک (۱۱/۷ درصد) و مقدار نیتروژن مصرفی (۱۰/۳ درصد)، بیش‌ترین تأثیر را در ایجاد خلأ عملکرد در این منطقه داشتند (Nobatiani *et al*., 2020). در پژوهش دیگری که به‌روش CPA در منطقه خرمشهر انجام شد، میزان خلأ عملکرد گندم ۳۱/۵ درصد و عوامل ایجاد کننده آن میزان استفاده از علف‌کش، میزان تحصیلات کشاورزان، تعداد دفعات آبیاری، میزان مصرف کود پتاسیم و روش کاشت عنوان شد (Matourian *et al*., 2021). نتایج مطالعه دیگری به‌روش CPA در مزارع شهرستان ابرکوه حاکی از خلأ عملکرد ۴۶۵۹ کیلوگرم در هکتار به‌وسیله تعداد آبیاری (۲۴ درصد)، تناوب زراعی (۱۸ درصد)، مصرف کود نیتروژن (۱۶ درصد)، روش تهیه بستر کشت (۱۲ درصد)، عدم مصرف کود دامی (۱۲ درصد)، کنترل علف‌های هرز (۱۱ درصد)، تاریخ کاشت (۴ درصد) و تقسیط نیتروژن (۲ درصد) بود (Anagholi *et al*., 2024). در مطالعه‌ای دیگر در چهار شهرستان لرستان، تناوب، استفاده از رقم مناسب، تعداد

آبیاری، تعداد شخم و تاریخ کاشت به‌عنوان متغیرهای با بیش‌ترین تأثیر بر خلأ عملکرد گندم گزارش شد (Nazari *et al.*, 2025). تجزیه و تحلیل خلأ عملکرد دانه باقلا در استان گلستان با استفاده از روش CPA نیز خلأ عملکرد ۱۲۵۸ کیلوگرم در هکتار را نشان داد و مهم‌ترین دلایل آن تاریخ کاشت، آفات، مقدار نیتروژن خالص، تعداد دفعات دیسک، میزان بذر مصرفی، بیماری‌ها، آب‌گرفتگی، علف‌های هرز، عدم استفاده از ردیف‌کار و عمق نامناسب کاشت عنوان شد (Masouri Vajari *et al.*, 2024). در مطالعات مختلف به‌روش CPA میزان خلأ عملکرد و مهم‌ترین عوامل ایجاد کننده آن در گیاهان مختلف از جمله برنج (Gorgizad *et al.*, 2019; Amini Mandi *et al.*, 2022)، نخود فرنگی (Kamali *et al.*, 2021)، سویا (Mohammadi Kashka *et al.*, 2022)، پنبه (Aghili *et al.*, 2023)، چغندر قند (Hesadi *et al.*, 2023) و کلزا (Soukhtehsaraei *et al.*, 2023) به‌خوبی شناسایی شده‌اند.

به‌طور کلی، نتایج تمامی مطالعات انجام شده به‌روش CPA در مورد خلأ عملکرد در ایران حاکی از ضعف مدیریت کشاورزان در زراعت مربوطه بوده است و به‌عنوان نمونه خلأ عملکرد گندم در ایران بین ۱۵۸۶/۷۱ (Nazari *et al.*, 2025) تا ۶۶۳۳/۵ (Jafarnodeh *et al.*, 2025) کیلوگرم در هکتار گزارش شده و تقریباً در تمامی موارد از عدم اعمال مدیریت زراعی مناسب ناشی شده است. با این‌حال، مطالعات مربوط به بررسی خلأ عملکرد گندم، پراکندگی مناسب را در کل کشور نداشته است. از جمله مناطقی که تا کنون خلأ عملکرد گندم آن بررسی نشده است، شهرستان ازنا می‌باشد. شهرستان ازنا، یکی از مهم‌ترین مناطق کشاورزی به‌ویژه برای زراعت گندم در استان لرستان است و سطح زیر کشت گندم آن بیش از ۳۵ هزار هکتار می‌باشد. با وجود پتانسیل بالای اقلیمی (Taheri Alam & Asakereh, 2024) و خاکی (Pourhadian, 2024) این شهرستان، تنوع مدیریتی باعث عدم استفاده از توانایی اراضی این شهرستان جهت تولید عملکرد مناسب شده است و تفاوت عملکرد زیادی بین کشاورزان گندم‌کار مشاهده می‌شود. بنابراین، بررسی میدانی مزارع این شهرستان و تجزیه و تحلیل عوامل مؤثر بر تولید گندم و در نهایت شناسایی عوامل مهم مؤثر بر خلأ عملکرد گندم به‌منظور برنامه‌ریزی مطلوب و هدف‌مند، ضروری به‌نظر می‌رسد. در این راستا، پژوهش حاضر به‌کمک پایش میدانی گندم‌زارهای این شهرستان با هدف تحلیل عوامل مؤثر بر خلأ عملکرد گندم با استفاده از روش CPA اجرا شد.

مواد و روش‌ها

شهرستان ازنا در شرق استان لرستان در موقعیت ۴۹ درجه و ۲۷ دقیقه طول شرقی و ۳۳ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی با ارتفاع بین ۱۶۴۴ تا ۴۰۷۵ متر از دریا قرار دارد. این شهرستان دارای اقلیم نیمه‌مرطوب با تابستان‌های معتدل و زمستان‌های بسیار سرد است. مساحت شهرستان در حدود ۱۴۰۴/۳۳ کیلومتر مربع و مساحت اراضی زراعی آن ۶۶۹۰۱/۱۳ هکتار است. زراعت‌های پاییزه و زمستانهٔ این شهرستان بیش‌تر گندم، جو، نخود و گاودانه و زراعت بهارهٔ آن، لوبیا، سیب‌زمینی، چغندرقند، ذرت علوفه‌ای، هویج و سایر سبزی‌ها و صیفی‌ها است. مجموع بارش سالانه این شهرستان ۴۱۲ میلی‌متر و میانگین درازمدت سالانه حداقل، حداکثر و متوسط دمای آن به‌ترتیب ۴/۹۵ (در دامنه‌ها بین ۶/۴۴- تا ۱۵/۹۱)، ۲۱ (۶/۲۳ تا ۳۴/۶۰) و ۱۲/۷۷ (۰۵/- تا ۲۵/۲۳) درجه سلسیوس است. برای بررسی خلأ عملکرد، ۷۴ گندم‌زار این شهرستان که تنوع کافی از لحاظ امور زراعی داشتند، به‌صورت تصادفی انتخاب و اطلاعات آن‌ها با استفاده از پرسش‌نامه (شامل ۴۳ سؤال) در سال ۱۳۹۷ جمع‌آوری شد. موقعیت جغرافیایی شهرستان‌های استان لرستان در شکل ۱-a و موقعیت گندم‌زارهای پایش‌شده در شهرستان ازنا در شکل ۱-b ارائه شده است.

اطلاعات گندم‌زارها شامل مشخصات مزرعه (دهستان، تجربه و سواد کشاورز، مساحت مزرعه و تناوب زراعی)، عملیات کاشت (تاریخ کاشت، شخم، زیرشکن، کولتیواتور و ماله، دیسک و تعداد آن، شیوه کاشت، قارچ‌کش، رقم، بذر، مقدار، نوع، شیوه و زمان پخش کود نیتروژن، فسفر و پتاسیم، مقدار و نوع کود دامی)، عملیات داشت (نوع آبیاری، دفعات آبیاری، آبیاری در پاییز و تعداد آن، اولین آبیاری در بهار، مقدار، زمان و شیوه پخش کود سرک نیتروژن، کنترل آفات و علف‌های هرز) و عملیات برداشت (تاریخ برداشت و طول دوره رشد گندم) جمع‌آوری شد. اطلاعات توپوگرافی مزارع شامل جهت شیب، مقدار شیب و ارتفاع هر مزرعه از سطح دریا (تهیه شده از لایه رستری ارتفاعی ۳۰ متر) و

اطلاعات خاک شامل میزان مواد آلی، pH، فسفر و پتاسیم قابل جذب، نیتروژن کل (تهیه شده از لایه‌های رستری تولیدی به‌روش کریجینگ) و بافت خاک (تهیه شده به‌روش مثلث‌بندی تیسن) با استفاده از نرم‌افزار GIS نسخه ۱۰,۷ فراهم شد (Pourhadian, 2024). برای انجام این‌کار، پس از فراخوانی لایه‌های رستری مورد نظر در محیط GIS به‌کمک ابزار Extract Multi Values to Points مقدار متناظر نقطه مکان‌دار مزرعه (شکل ۱-b) عوامل توپوگرافی و خاکی تولید و در نهایت به فایل اکسل حاوی اطلاعات مزرعه اضافه شدند. اطلاعات جمع‌آوری شده در تجزیه و تحلیل به‌روش CPA (به‌دلیل توانایی آن در تعیین روابط واضح بین متغیرها با عملکرد) مورد استفاده قرار گرفتند.

برای تعیین مدل عملکرد (تولید)، رابطه بین عملکرد دانه با تمامی متغیرهای اندازه‌گیری شده کمی و کیفی با استفاده از روش رگرسیون گام‌به‌گام مورد بررسی قرار گرفتند. در این روش، متغیرها یکی پس از دیگری به مدل اضافه و در صورت معنی‌دار بودن اثر آن با توجه به سطح معنی‌داری در نظر گرفته شده در مدل حفظ می‌شوند (Soltani, 2014). لازم به توضیح است که متغیرهای کیفی، با توجه به تعداد سطوح هر متغیر، با کدگذاری به کمی تبدیل شدند و به‌طور مثال برای انجام شخم با گاوآهن، کدهای یک و صفر به‌ترتیب برای انجام و عدم انجام شخم در نظر گرفته شد. پس از تهیه مدل عملکرد، میانگین عملکرد با قراردادن میانگین مشاهده شده متغیرها در مدل و پتانسیل عملکرد با قرار دادن مقدار مطلوب هر متغیر در مدل (با توجه به ضریب متغیر در مدل) محاسبه شد، به این ترتیب که اگر ضریب متغیر در مدل منفی بود، مقدار حداقل و اگر مثبت بود، مقدار حداکثر متغیر قرار داده شد. در انتها از تفاضل این دو مقدار (میانگین و پتانسیل عملکرد)، کل خلأ عملکرد به‌دست آمد.

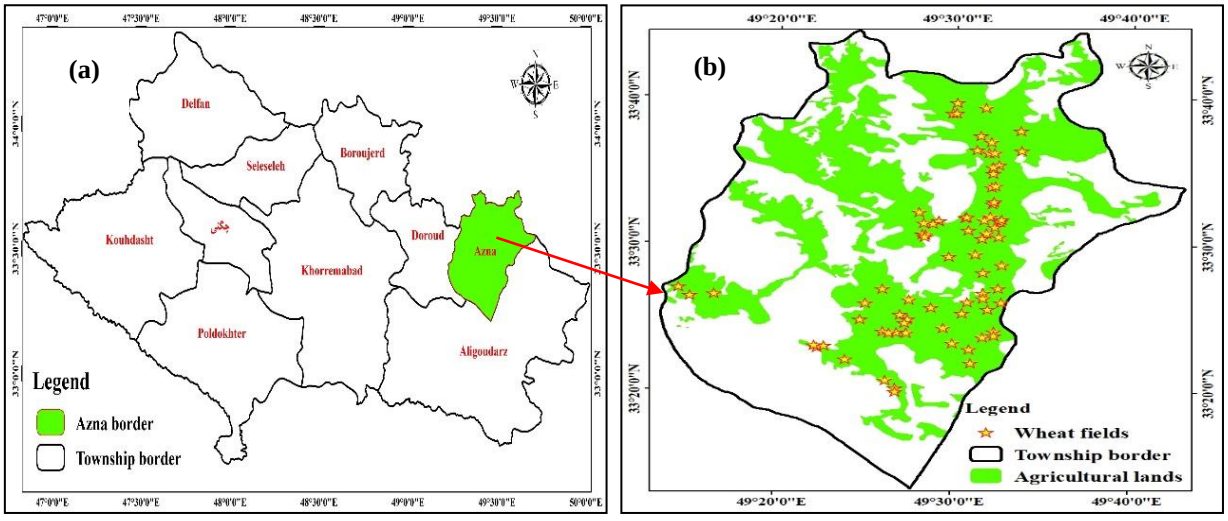
برای محاسبه خلأ عملکرد هر متغیر و سهم هر متغیر از کل خلأ عملکرد به‌ترتیب از روابط (۱) و (۲) استفاده شد:

$$YG_X = a + bX_{opt} - cX_{avg} \quad (۱)$$

$$RYG_X = \frac{YG_X}{YG_T} \times 100 \quad (۲)$$

در این رابطه، YG_X خلأ عملکرد هر متغیر، YG_T خلأ عملکرد کل، RYG_X سهم خلأ عملکرد هر متغیر، a عرض از مبدا رگرسیون، b و c ضرایب مدل، X_{opt} و X_{avg} بهترین مقدار و میانگین مقدار مشاهده شده متغیر هستند.

در پایان، مقدار متغیرهای هر یک از مزارع به مدل وارد و عملکرد هر مزرعه تعیین و ضریب همبستگی (R) بین عملکرد تعیین شده توسط مدل با عملکرد واقعی کشاورزان در گندم‌زارها محاسبه شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SAS 9.3 و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی شهرستان‌های استان لرستان (a) و گندم‌زارهای مورد مطالعه در شهرستان ازنا (b)

Figure 1. Geographical location of Lorestan province townships (a) and the studied wheat fields in Azna county (b)

نتایج و بحث

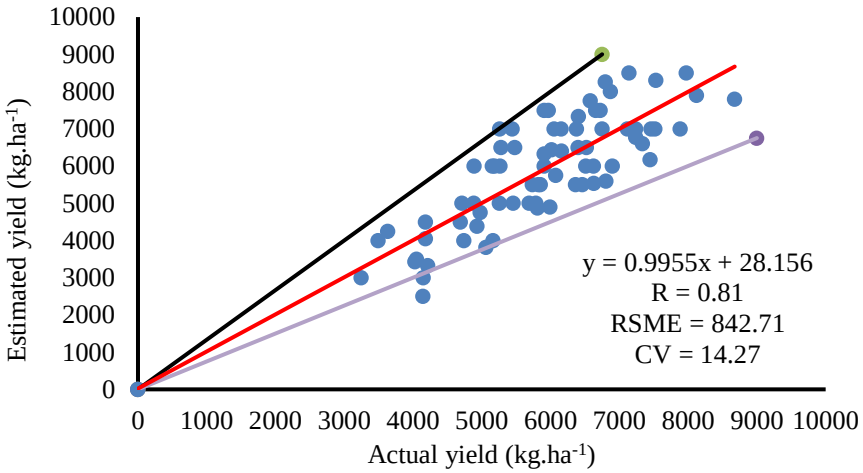
مدل تولید خلأ عملکرد

تجزیه و تحلیل داده‌ها به‌روش روش CPA نشان داد که شش متغیر تأثیرگذارترین متغیرها در ایجاد خلأ عملکرد در شهرستان ازنا بودند. مدل رگرسیونی عملکرد (تولید) در رابطه (۳) ارائه شده است:

$$Y= -3780.35 + 6302.17X_1 + 795.68X_2 + 6.95X_3+928.50X_4+12.03X_5+46.25X_6 \quad (۳)$$

در این رابطه، Y عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)، X_1 ماده آلی خاک (درصد)، X_2 شیوه کاشت، X_3 مقدار بذر (کیلوگرم در هکتار)، X_4 تعداد آبیاری در پاییز، X_5 مقدار نیتروژن خالص سرک (کیلوگرم در هکتار) و X_6 تاریخ برداشت (روز) هستند.

ضریب همبستگی (R) بین عملکرد تخمین زده شده و عملکرد واقعی کشاورزان ۰/۸۱، مجذور میانگین مربعات باقیمانده مدل (RMSE) ۸۴۲/۷۱ کیلوگرم در هکتار و ضریب تغییرات مدل (CV) ۱۴/۲۷ درصد بود (شکل ۲). این آماره‌ها گواه بر مناسب بودن دقت مدل تولید در برآورد خلأ عملکرد و تعیین سهم هر یک از متغیرهای محدودکننده عملکرد می‌باشند. خط قرمز وسط، خط رگرسیون ۱:۱ و خطوط بالا و پایین، دامنه تغییرات ۲۵ درصد اختلاف بین مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهده شده عملکرد هستند که گواه بر پراکندگی یکنواخت و رابطه مناسب عملکرد واقعی کشاورزان و عملکرد پیش‌بینی شده توسط مدل است. در پژوهش‌های دیگر انجام شده به‌روش CPA نیز میزان خلأ عملکرد و عوامل ایجادکننده آن در مزارع گندم به‌خوبی تعیین شده است (Nobatiani *et al.*, 2020; Anagholi *et al.*, 2024). حجارپور و همکاران (Hajjarpour *et al.*, 2017) همبستگی بین عملکرد پیش‌بینی شده و عملکرد واقعی کشاورزان در استان گلستان را ۰/۷۲، مجذور میانگین مربعات باقیمانده (RMSE) را ۵۱۹ کیلوگرم در هکتار، ضریب تغییرات مدل را ۱۳ درصد و میزان خلأ عملکرد را ۵۱ درصد تعیین کردند. همچنین، این آماره‌ها در نورآباد لرستان به‌ترتیب ۰/۵۷، ۳۵۹ کیلوگرم در هکتار و ۱۱ درصد و میزان خلأ عملکرد ۳۲/۲۶ درصد گزارش شد (Nazari *et al.*, 2025). تفاوت دقت مدل در برآورد عوامل مؤثر بر خلأ عملکرد بین مطالعه حاضر با مطالعات دیگر ناشی از تفاوت در شرایط اقلیمی، خاکی و مدیریتی کشاورزان و همچنین تعداد نمونه‌گیری‌ها توسط پژوهش‌گران می‌باشد. در مطالعات انجام شده جهت بررسی خلأ عملکرد گندم در ایران به‌روش CPA عوامل تغذیه به‌ویژه نیتروژن، آبیاری و تاریخ کاشت مشترک بودند و نیتروژن در تمامی موارد در خلأ عملکرد نقش مهمی داشت.



شکل ۲- رابطه بین عملکرد پیش‌بینی شده و عملکرد واقعی. خط وسط، خط ۱:۱ و خطوط بالا و پایین، دامنه تغییرات ۲۵ درصد بین عملکرد مشاهده شده و پیش‌بینی شده هستند.

Figure 2. Relationship between estimated and actual yield. Middle line is the 1:1 line and up and down lines are the 25% ranges between observed and predicted yield.

خلأ عملکرد

نتایج حاصل از ارزیابی مدل عملکرد در شهرستان ازنا نشان داد که حداقل، حداکثر و میانگین عملکرد تخمین زده‌شده توسط مدل به‌ترتیب ۳۲۴۸/۲۲، ۱۱۲۸۹/۲۴ و ۵۹۰۶/۶۲ کیلوگرم در هکتار و میزان کل خلأ عملکرد ۵۳۸۲/۶۲ کیلوگرم در هکتار معادل ۴۷/۶۸ درصد بود. در مقابل، حداقل، حداکثر و میانگین عملکرد مشاهده شده در مزارع به‌ترتیب ۲۵۰۰، ۸۵۰۰ و ۵۹۴۳ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۱). این موضوع به‌خوبی نشان می‌دهد که بین عملکرد واقعی کشاورزان و عملکرد قابل دست‌یابی ۵۳۸۲/۶۲ کیلوگرم در هکتار تفاوت وجود دارد که با مدیریت صحیح متغیرها و عوامل ایجادکننده خلأ عملکرد شناسایی شده توسط مدل (جدول ۱ و شکل ۳) می‌توان این مقدار را کاهش داد. در پژوهشی که در گندم‌زارهای آبی استان گلستان انجام شد، مقدار حداکثر و میانگین عملکرد به‌ترتیب ۸۰۲۹ و ۳۹۳۶ کیلوگرم در هکتار و میزان خلأ عملکرد قابل مدیریت ۴۰۳۹ کیلوگرم در هکتار برآورد شد (Hajjarpour *et al.*, 2017). در پژوهش دیگری که در شهرستان ابرکوه انجام شد، خلأ عملکرد قابل مدیریت گندم ۲۷۲۱ کیلوگرم در هکتار گزارش شد (Anagholi *et al.*, 2024). نتایج مطالعه انجام شده به‌روش CPA در شهرستان دورود استان لرستان نشان داد که عملکرد مطلوب گندم ۱۱۸۱۵ و متوسط آن ۵۵۶۳ کیلوگرم در هکتار است و اختلاف عملکرد قابل مدیریت در عرصه مزرعه ۶۲۵۲ کیلوگرم برآورد شد (Nazari *et al.*, 2025). نتایج پژوهش‌های دیگر به‌روش CPA نیز نشان داده‌اند که دامنه تغییرات خلأ عملکرد گندم آبی در ایران از ۲۶/۴۹ درصد در پارس‌آباد مغان (اردبیل) (Shirinzadeh *et al.*, 2020) تا ۵۴/۲۶ درصد در خرم‌آباد لرستان (Nazari *et al.*, 2025) و بر اساس کیلوگرم در هکتار بین ۱۵۸۶/۷۱ در نورآباد تا ۶۲۵۲ در دورود استان لرستان (Nazari *et al.*, 2025) در نوسان است. این دامنه تغییرات می‌تواند به‌دلیل تنوع مدیریتی کشاورزان و تفاوت شرایط آب و هوایی و خاکی اراضی منطقه باشد. بدیهی است که با شناخت عوامل مؤثر بر خلأ عملکرد در هر منطقه به‌کمک روش CPA و ترویج اصول علمی و عملی کشاورزی، می‌توان خلأ عملکرد را به‌طور قابل توجهی کاهش داد.

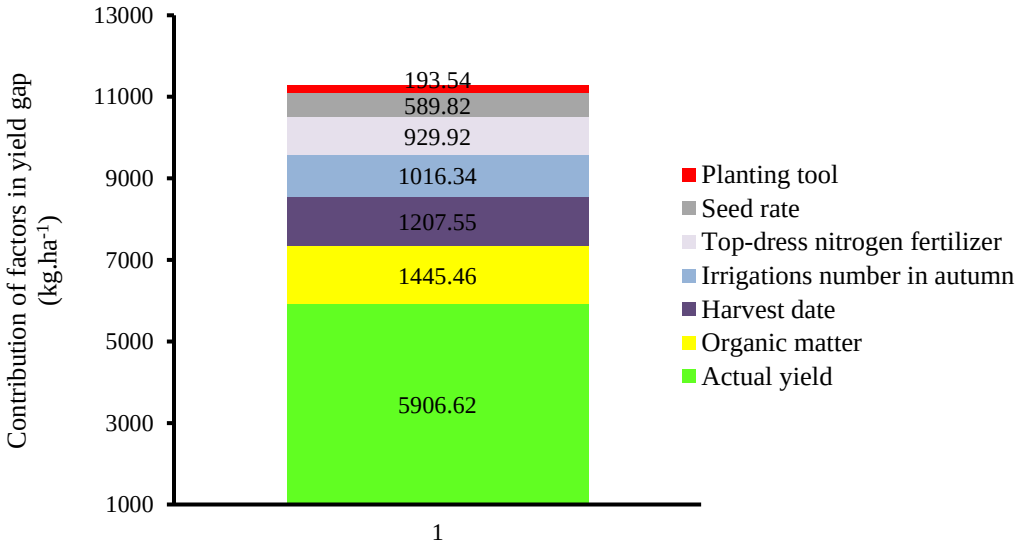
ماده آلی خاک

بررسی عوامل محدودکننده عملکرد توسط مدل تولید تهیه‌شده به‌روش CPA در گندم‌زارهای آبی شهرستان ازنا نشان داد که ماده آلی خاک با ایجاد خلأ ۲۶/۸ درصدی معادل ۱۴۴۵/۴۶ کیلوگرم در هکتار، بیش‌ترین تأثیر را در بین متغیرهای بررسی شده داشت (جدول ۱ و شکل ۳). دامنه تغییرات ماده آلی گندم‌زارهای کشاورزان بین ۰/۵۶ تا یک با میانگین ۰/۷۷ درصد بود. ماده آلی با تأثیر مثبت در نگهداری آب و بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک، نقش مهمی در بهبود عملکرد گیاه، پایداری کشاورزی و حفظ محیط زیست دارد (Khajehpour, 2013). میزان ماده آلی خاک خود متأثر از شرایط اقلیمی، ویژگی‌های خاک و مدیریت زراعی است. واقع شدن ایران در مناطق خشک و نیمه‌خشک موجب شده است که وضعیت ماده آلی خاک‌ها چندان مطلوب نباشد، به‌طوری که بیش از ۶۳ و ۸۴ درصد از خاک‌های زراعی ایران دارای ماده آلی به‌ترتیب کم‌تر از یک و ۱/۵ درصد هستند (Shahbazi & Besharati, 2013). میزان ماده آلی خاک‌های زراعی در استان لرستان نیز بین ۰/۵۲ تا ۱/۴۷ درصد گزارش شده و موقعیت جغرافیایی و مدیریت زراعی از جمله دلایل کاهش ماده آلی عنوان شده‌اند (Pourhadian, 2024). در مطالعات ارزیابی دلایل خلأ عملکرد به‌کمک روش CPA، ماده آلی خاک باعث ایجاد خلأ عملکرد ۱۲/۷ درصدی (۵۱۶/۱ کیلوگرم در هکتار) در مزارع گندم شهرستان کلاله استان گلستان (Nobatiani *et al.*, 2020)، و ۱۲/۸۱ درصدی (۱۲۹۰ کیلوگرم در هکتار)، ۱۳/۶ درصدی (۲۴۰/۷۵ کیلوگرم در هکتار) و ۱۱/۷۸ درصدی (۲۱۴/۴۰ کیلوگرم در هکتار) به‌ترتیب در شهرهای بم، نرماشیر و فهرج در استان کرمان گزارش شد (Bagheripour *et al.*, 2024). نوع عوامل مؤثر و میزان تأثیر آن‌ها بر خلأ عملکرد با توجه به نوع مدیریت کشاورزان و شرایط محیطی هر منطقه، متفاوت است. اختلاف میزان تأثیر ماده آلی خاک در این پژوهش با مطالعات دیگر ناشی از شرایط اقلیمی و مدیریت کشاورزان است. در راستای کاهش خلأ عملکرد در شهرستان ازنا توجه به حفظ و مدیریت بقایای محصولات در مزرعه، استفاده از کود دامی و سایر کودهای آلی، امری ضروری است.

جدول ۱- کمّی‌سازی خلأ عملکرد گندم آبی در شهرستان ازنا، استان لرستان

Table 1. Quantifying of yield gap of irrigated wheat fields in Azna county

Variable	Coefficient	Variable rate				Yield calculated by model		Yield gap	
		Mean	Min	Max	Optimum	Mean	Optimum	kg.ha^{-1}	%
Intercept	-3780.35	1	-	-	1	-3780.35	-3780.35	-	-
Soil organic matter	6302.17	0.77	0.56	1	1	1056.03	2501.48	1445.46	26.8
Planting tool	795.88	1.76	0	2	2	-2382.53	-2188.98	193.54	3.60
Seed rate	6.95	365	280	450	450	-1244.12	-1244.12	589.82	10.96
Irrigations number in autumn	928.51	0.91	0	2	2	-1923.34	-2939.67	1016.34	18.88
Top-dress nitrogen fertilizer	12.03	106.69	48	184	184	-2496.94	-1567.02	929.92	17.28
Harvest date	-46.25	26.11	0	51	0	-4987.89	-3780.35	1207.55	22.43
Yield	-	5943	2500	8500	8500	11289.24	5906.62	53882.62	47.68



شکل ۳ - سهم عوامل اصلی ایجادکننده خلأ عملکرد گندم آبی در شهرستان ازنا

Figure 3. Contribution of main constraints of wheat yield gap in irrigated system in Azna county

تاریخ برداشت

نتایج بررسی کارکرد مدل تولید گواه بر ایجاد خلأ عملکرد گندم به‌وسیله تاریخ برداشت به‌عنوان دومین عامل محدودکننده با تأثیر منفی بود و میزان خلأ عملکرد ناشی از این عامل ۲۲/۴۳ درصد معادل ۱۲۰۷/۵۵ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (جدول ۱ و شکل ۳). تاریخ برداشت گندم متأثر از اقلیم منطقه، رقم، مدیریت زراعی و به‌ویژه فراهم بودن وسایل برداشت از جمله کمباین است (Khajehpour, 2013). در این تحقیق اولین تاریخ برداشت ۱۰ تیرماه بود و به‌عنوان بهترین زمان برداشت منظور شد. با فاصله گرفتن از این تاریخ، عملکرد گندم کاهش یافت که عامل اصلی آن کمبود تعداد کمباین در منطقه و طولانی شدن زمان برداشت مزارع بود، به‌طوری که آخرین برداشت در ۳۰ مرداد انجام و شرایط برای ریزش زیاد دانه‌ها فراهم شد. همچنین مصادف شدن زمان برداشت گندم با انجام امور زراعی کشت‌های بهاره توسط کشاورزان مزید بر تأخیر در برداشت شد. ترویج زمان مناسب برداشت، کالیبره کردن وسایل برداشت و فراهم کردن شرایط اقتصادی مناسب برای کشاورزان جهت خرید و تهیه ماشین کمباین می‌تواند به کاهش مقدار خلأ ناشی از تأخیر در برداشت کمک کند. در بررسی خلأ عملکرد گندم در شهرستان نورآباد لرستان، خلأ عملکرد ۱۳ درصدی معادل ۲۰۲/۲۴ کیلوگرم در هکتار توسط تاریخ برداشت ایجاد شد و دلایل آن تسریع در رسیدگی فیزیولوژیک گندم در اثر کاهش بارش و افزایش دما

و عدم ورود به‌موقع ناوگان برداشت به‌منطقه و در پی آن ریزش دانه ذکر شد (Nazari *et al*., 2025). تاریخ برداشت در مزارع بزرگ گندم شهرستان گامیشان استان گلستان باعث خلأ عملکرد ۳/۲ درصدی شد (Jafarnodeh *et al*., 2025). این محققین بیان کردند که برداشت زودهنگام به‌دلیل چروکیدگی دانه و برداشت دیرهنگام به‌دلیل خسارت آفات و پرندگان، بارش ناگهانی و ریزش دانه بر خلأ عملکرد مؤثر است.

تعداد آبیاری در پاییز

نتایج این پژوهش حاکی از ایجاد خلأ عملکرد ۱۸/۸۸ درصدی معادل ۱۰۱۶/۳۴ کیلوگرم توسط تعداد نوبت آبیاری در پاییز داشت (جدول ۱ و شکل ۳) و تعداد آبیاری در پاییز بین صفر (عدم آبیاری) تا دو نوبت در مزارع متنوع بود. در زراعت آبی، عملکرد مطلوب وابستگی زیادی به‌آبیاری دارد و جهت رشد به‌موقع گیاه بلافاصله بعد از کاشت یا قبل از آن (خیش‌رو شدن زمین) بایستی رطوبت لازم جهت جوانه‌زنی و سبزشدن یکنواخت تأمین شود (Khajehpour, 2013). در این پژوهش، بهترین تاریخ کاشت ۱۵ مهرماه منظور شد، اما چون معمولاً بارندگی‌های مؤثر از اواخر آبان و اوایل آذر صورت می‌گیرد، بنابراین تأمین رطوبت کافی به‌وسیله آبیاری به‌منظور جوانه‌زنی و رشد مناسب بوته‌ها و همچنین مقاومت گندم برای جلوگیری از خسارت سرمای زمستانه لازم است. به این ترتیب، با آبیاری و افزایش تعداد دفعات آن به دو نوبت در پاییز، شرایط لازم برای رشد بهتر گیاه و انطباق مراحل نمو آن با شرایط محیطی مهیا شده است و از این طریق می‌توان در حدود ۱۰۱۶/۳۴ کیلوگرم در هکتار به عملکرد قابل حصول افزود. در مطالعات انجام شده در مورد خلأ عملکرد گندم، اشاره‌ای به تأثیر تعداد آبیاری پاییزه نشده است، اما تعداد کل دفعات آبیاری باعث خلأ عملکرد مزارع گندم به‌میزان ۱۶/۳۲ درصد (Matourian *et al*., 2021)، ۲۳/۹۰ درصد (Anagholi *et al*., 2024) و ۵۲ درصد (Nazari *et al*., 2025) شده است. همچنین، نظری و همکاران (Nazari *et al*., 2025) خلأ عملکرد هشت درصدی ناشی از آبیاری پیش از کاشت گندم را در شهرستان خرم‌آباد لرستان گزارش کردند. تفاوت نتایج این مطالعه با مطالعات دیگر در مورد اثر آبیاری بر خلأ عملکرد بیش‌تر ناشی از شرایط اقلیمی، خاکی و مدیریت آبیاری می‌باشد. بنابراین، لازم است استفاده از شیوه‌های مدرن آبیاری و زمان مناسب آبیاری با توجه به مراحل رشد گندم و در نتیجه افزایش کارایی مصرف آب در گیاه مورد توجه سیاست‌گذاران بخش کشاورزی و کشاورزان قرار گیرد.

مقدار کود سرک خالص نیتروژن

چهارمین عامل مؤثر بر خلأ عملکرد گندم در شهرستان ازنا، کاربرد مقدار نیتروژن خالص به‌صورت سرک با تأثیر مثبت بود، به‌طوری که با افزایش مقدار این عامل، عملکرد گندم افزایش یافت. نتایج این مطالعه نشان داد که خلأ عملکرد ناشی از کود نیتروژن سرک برابر با ۱۷/۲۸ درصد معادل ۹۲۹/۹۲ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۱ و شکل ۳). مصرف کود نیتروژن در زمان‌های مورد نیاز گیاه، باعث کاهش آبشویی نیتروژن، افزایش رشد رویشی و فراهم کردن شرایط مناسب برای ایجاد اندام‌های زایشی و افزایش عملکرد می‌شود (Khajehpour, 2013). همچنین، نیتروژن کارایی فتوسنتز گیاه را افزایش می‌دهد و حتی در پایان دوره رشد گیاه، به‌کمک انتقال مجدد، منجر به افزایش عملکرد می‌شود (Pourhadian *et al*., 2021). نتایج مطالعات دیگر نیز بیانگر اثر مقدار، تعداد و زمان مصرف کود نیتروژن سرک بر خلأ عملکرد گندم است، به‌طوری که تقسیط نیتروژن موجب خلأ عملکرد ۲/۴۹ درصدی معادل ۱۱۶/۱۴ کیلوگرم در هکتار در شهرستان ابرکوه (Anagholi *et al*., 2024) شد. همچنین، کاربرد تعداد دفعات کود سرک در مزارع گندم باعث خلأ ۲۶ درصدی معادل ۱۵۹۸ کیلوگرم در هکتار در شهرستان دورود (Nazari *et al*., 2025) و میزان کود سرک باعث خلأ ۴۳/۳ درصدی معادل ۱۳۹۲/۲ کیلوگرم در هکتار در شهرستان گمیشان (Jafarnodeh *et al*., 2025) شد. بنابراین، استفاده بهینه از کود نیتروژن به‌کمک آزمون خاک و تقسیط آن بر اساس مراحل رشد و نمو گیاه و توجه به آلودگی ناشی از آبشویی آن ضرورتی انکارناپذیر است. دامنه تغییرات کود نیتروژن خالص سرک در این مطالعه بین ۴۶ تا ۱۸۴ کیلوگرم در هکتار بود و بیشینه عملکرد گندم از کاربرد مقادیر ۱۳۷-۱۱۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص سرک به‌دست آمد. بنابراین، می‌توان این دامنه را به‌عنوان حد بهینه مصرف کود نیتروژن سرک در نظر گرفت.

مقدار بذر مصرفی

میزان بذر مصرفی با ایجاد خلأ عملکرد ۱۰/۹۶ درصدی معادل ۵۸۹/۸۲ کیلوگرم در هکتار، پنجمین عامل با تأثیر مثبت بود و با افزایش میزان بذر مصرفی، عملکرد افزایش یافت (جدول ۱ و شکل ۳). میزان بذر مصرفی به ویژگی‌های خاک، عوامل اقلیمی نظیر رطوبت و دما و مدیریت زراعی به‌ویژه تهیه بستر بستگی دارد. مقدار بهینه بذر مصرفی، تراکم مطلوب گیاه و استفاده بهینه از شرایط محیطی را فراهم می‌کند (Khajehpour, 2013). میزان بذر مصرفی در گندم‌زارهای مورد مطالعه بین ۲۸۰ تا ۴۵۰ با میانگین ۳۶۵ کیلوگرم در هکتار بود که در مقایسه با مقادیر مطلوب توصیه شده (Khajehpour, 2013) بالا است. استدلال کشاورزان از مقدار بذر مصرفی اضافی به‌خاطر در اختیار نداشتن زمان کافی جهت تهیه بستر با توجه به‌نوع محصول پیش‌کاشت و به‌ویژه عدم بارش به‌موقع و آبیاری در پاییز است که به این طریق با افزایش میزان بذر، کاهش میزان سبزشدن را جبران می‌کنند. نتایج مطالعه‌ای به‌روش CPA در خرمشهر نشان داد که میزان بذر مصرفی بین ۱۵۰ تا ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار بود و باعث خلأ عملکرد ۰/۳۶ درصدی در مزارع گندم شد (Matourian *et al*., 2021). همچنین، تراکم بوته در بم و نرماشیر کرمان به‌ترتیب موجب خلأ عملکرد ۱۴/۴۷ و ۱۲/۴۳ درصدی (Bagheripour *et al*., 2024) و تراکم سنبله در پارس‌آباد مغان (اردبیل) موجب خلأ عملکرد ۲۹/۷ درصدی (Shirinzadeh *et al*., 2020) در گندم شد.

شیوه کاشت (وسیله کاشت)

بررسی مدل تولید نشان داد که شیوه کاشت به‌عنوان آخرین عامل باعث ایجاد محدودیت عملکرد به‌مقدار ۳/۶۰ درصد معادل ۱۹۳/۵۴ کیلوگرم در هکتار شد (جدول ۱ و شکل ۳). کاشت بذر در مزارع کشاورزان در شهرستان ازنا به‌روش دست‌پاش، بذرباش سانتریفیوژ و ردیف‌کار انجام شد. دستگاه ردیف‌کار به‌دلیل توزیع یکنواخت بذر به‌صورت افقی (فاصله ردیف‌های کاشت) و عمودی (عمق قرارگیری بذر در خاک)، شرایط را برای افزایش تولید فراهم می‌کند. توزیع یکنواخت بذر موجب سبزشدن بهتر و تراکم مطلوب می‌شود، شرایط را برای گیاه جهت استفاده از منابع قابل دسترس آب، مواد غذایی و نور فراهم می‌کند، رقابت درون و برون بوته‌ها را به‌حداقل ممکن می‌رساند و افزایش عملکرد را به‌دنبال دارد (Khajehpour, 2013). بررسی خلأ عملکرد سویا در استان مازندران به‌روش CPA نشان داد که شیوه کاشت این گیاه به‌صورت دست‌پاش، بذرپاشی با سانتریفیوژ و ردیف‌کار، موجب خلأ عملکرد ۵/۰۹ درصدی معادل ۱۸۱/۳۸ کیلوگرم در هکتار شد و کاشت بذر با ردیف‌کار، به‌دلیل توزیع یکنواخت بذر و سبز شدن مطلوب مزارع، افزایش عملکرد محصول را به‌دنبال داشت (Mohammadi Kashka *et al*., 2022). نتایج مطالعه دیگری در منطقه خرمشهر نشان داد که شیوه کاشت کلزا با دستگاه سانتریفیوژ و خطی‌کار، خلأ عملکرد ۱/۵ درصدی معادل ۲۶ کیلوگرم در هکتار ایجاد کرد و کاشت بذر با خطی‌کار نقش مؤثری در جوانه‌زنی و سبز شدن یکنواخت مزرعه و استقرار گیاه داشت و منجر به کاهش خلأ عملکرد شد (Matourian *et al*., 2022).

نتیجه‌گیری کلی

مدل تولید به‌دست آمده در این مطالعه، حداکثر عملکرد را در گندم‌زارهای مورد مطالعه شهرستان ازنا ۱۱۲۸۹/۲۴ و میانگین آن را ۵۹۰۶/۶۲ کیلوگرم در هکتار و میزان خلأ عملکرد را ۵۳۸۲/۶۲ کیلوگرم در هکتار برآورد کرد. میزان همبستگی بین عملکرد تخمین زده شده توسط مدل و عملکرد واقعی کشاورزان نیز ۰/۸۱ بود. تحلیل عوامل مؤثر بر خلأ عملکرد بیانگر خلأ ۲۶/۸ درصدی توسط ماده آلی خاک، ۲۲/۴۳ درصدی توسط تاریخ برداشت، ۱۸/۸۸ درصدی توسط تعداد آبیاری در پاییز، ۱۷/۲۸ درصدی توسط نیتروژن خالص سرک، ۱۰/۹۶ درصدی توسط مقدار بذر و ۳/۶۰ درصدی توسط عدم استفاده از ردیف‌کار در گندم‌زارهای کشاورزان بود. بنابراین، با مدیریت بهینه عوامل مؤثر بر تولید می‌توان افزایش عملکرد ۴۸ درصدی در گندم‌زارهای آبی شهرستان ازنا ایجاد کرد. بر این اساس، به‌نظر می‌رسد بتوان با افزایش ماده آلی خاک از طریق تناوب، عملیات زراعی مناسب، مدیریت بقایا و مصرف کود دامی، عملکرد را به‌میزان ۱۴۴۵ کیلوگرم در هکتار، با مدیریت تهیه بستر، انتخاب رقم مناسب و تراکم مطلوب به‌میزان ۵۹۰ کیلوگرم در هکتار، با انجام آبیاری پاییزه و افزایش تعداد آن حدود ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار، مصرف کود نیتروژن سرک بر اساس نیاز گیاه با توجه به شرایط

اقلیمی و مراحل رشد و نمو گندم حدود ۹۳۰ کیلوگرم در هکتار و به‌کارگیری ماشین‌های برداشت در زمان مناسب و کالیبره کردن آن‌ها به‌میزان ۱۲۰۸ کیلوگرم در هکتار افزایش داد و با سیاست تأمین و ترویج استفاده از ردیف‌کار، بهره‌وری را ۳/۶۰ درصد بهبود بخشید.

سپاسگزاری

نویسنده از تمامی کشاورزان محترمی که همکاری لازم را در مدت اجرای این پژوهش داشته‌اند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌کند.

تضاد منافع

نویسنده تأیید می‌کند که این پژوهش در غیاب هر گونه روابط تجاری یا مالی که می‌تواند به‌عنوان تضاد منافع بالقوه تعبیر شود، انجام شده است.

رعایت اخلاق در نشر

نویسندگان اعلام می‌کنند که در نگارش این مقاله به‌طور کامل از اخلاق نشر از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و انتشار دوگانه، پیروی کرده‌اند. همچنین، این مقاله حاصل یک کار تحقیقاتی اصیل بوده و تا کنون به‌طور کامل به هیچ زبانی و در هیچ نشریه یا همایشی چاپ و منتشر نشده است و هیچ اقدامی نیز برای انتشار آن در هیچ نشریه یا همایشی صورت نگرفته و نخواهد گرفت.

اجازه انتشار مقاله

نویسندگان با چاپ این مقاله به‌صورت دسترسی باز موافقت کرده و کلیه حقوق استفاده از محتوا، جدول‌ها، شکل‌ها، تصویرها و غیره را به ناشر واگذار می‌کنند.

References

Aghili, S. A., Soltani, A., & Jafarnodeh, S. (2023). Investigating the factors causing the cotton yield gap (Case study: Golestan province - Kordkuy county). *Iranian Journal of Cotton Researches*, *11*(2), 1-22. [In Persian]. doi: 10.22092/ijcr.2024.365938.1217.

Amini Mandi, V., Nakhzari Moghaddam, A., Rahemi Karizaki, A., & Naeemi, M. (2022). Investigating the effective factors on yield gap of rice in Mazandaran province. *Journal of Crops Improvement*, *24*(1), 205-217. [In Persian]. doi: 10.22059/jci.2022.320259.2527.

Anagholi, A., Nikkhah, M., & Omidvari, Z. (2024). Identification of yield-reducing factors using comparative performance analysis (CPA) method in wheat fields (Case study: Abarkoh). *Journal of Crop Science Research in Arid Regions*, *6*(1), 17-31. [In Persian]. doi: 10.22034/CSRAR.2024.368709.1288.

Bagheripour, M. A., Heidari Sharifabad, H., Mehraban, A., & Ganjali, H. R. (2024). Estimating yield gap of wheat (*Triticum aestivum* L.) using the comparative performance analysis (CPA) method in the Bam, Narmashir and Fahraj counties of Kerman province. *Legume Research-An International Journal*, *47*(7), 1235-1241. doi: 10.18805/LRF-777.

Devkota, K. P., Devkota, M., Boboev, H., Juraev, D., Dilmurodov, Sh., & Sharma, R. C. (2025). Data-driven agronomic solutions to close wheat yield gaps and achieve self-sufficiency in Uzbekistan. *Agricultural Systems*, *225*, 104291. doi: 10.1016/j.agsy.2025.104291.

FAO. (2023). FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved August 22, 2025. https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL.

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]. doi: 10.22067/JAG.V11I1.67430.

Hajjarpour, A., Soltani, A., Zeinali, E., Kashiri, H., & Aynehband, A. (2017). Evaluation of wheat (*Triticum aestivum* L.) yield gap in Golestan province of Iran using comparative performance analysis (CPA) method. *Iranian Journal of Crop Sciences*, *19*(2), 86-101. [In Persian]. dor: 20.1001.1.15625540.1396.19.2.1.9.

Hesadi, P., Mozafari, H., Sadeghzadeh Hemayati, S., Moaveni, P., & Sani, B. (2023). Assessment of factors limiting spring-sown sugar beet yield in Iran using the CPA method. *Journal of Sugar Beet*, *38*(2), 145-168. [In Persian]. doi: 10.22092/JSB.2023.358417.1303.

Hochmana, Z., Gobbett, D., Horan, H., & Garcia, J. N. (2016). Data rich yield gap analysis of wheat in Australia. *Field Crops Research*, *197*, 97-106. doi: 10.1016/j.fcr.2016.08.017.

Jafarnodeh, S., Khandardi, K., Jankord, V., Soltani, A., Ghaderifar, F., & Siahmargue, A. (2025). Effect of field size on factors contributing to grain yield gap in rainfed wheat (*Triticum aestivum* L.) growing areas in Gomishan region of Golestan province of Iran. *Iranian Journal of Crop Sciences*, *26*(4), 333-351. [In Persian]. doi: 10.29252/ijrr.19.1.1.

Kamali, B., Rahemi Karizaki, A, Biabani, A., & Mollashahi, M. (2021). Analysis of the limiting factors of pea (*Pisum sativum* L.) yield in the Mediterranean conditions (Case study: Gonbad Kavus). *Iranian Journal of Pulses Research*, *12*(2), 122-135. [In Persian]. doi: 10.22067/ijpr.v12i2.84317.

Khajehpour, M. R. (2013). Cereal Crop. University Jahad Publications, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. [In Persian].

Masouri Vajari, M. R., Zeinali, E., Soltani, A., Torabi, B., & Nehbandani, A. R. (2024). Estimation and analysis of faba bean yield gap in Golestan province using the CPA method. *Journal of Crops Improvement*, *26*(2), 341-348. [In Persian]. doi: 10.22059/jci.2024.364740.2844.

Matourian, H., Khodaei Joghan, A., Moradi Telavt, M., Siadat., S. A., & Torabi, B. (2021). Estimation of wheat (*Triticum aestivum* L.) yield limiting factors using comparative performance analysis (CPA) method in Khorramshahr region in Iran. *Iranian Journal of Crop Sciences*, *23*(3), 265-277. [In Persian]. doi: 20.1001.1.15625540.1400.23.3.1.9.

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]. doi: 10.22067/agry.2021.67226.0.

Mohammadi Kashka, F., Tahmasebi Sarvestani, Z. A., Pirdashti, H., Motevali, A., & Nadi, M. (2022). Evaluation of management factors affecting soybean [*Glycine max* (L.) Merril] yield gap in Mazandaran province using comparative performance analysis (CPA). *Crop Production*, *15*(1), 73-100. [In Persian]. doi: 10.22069/EJCP.2022.19128.2427.

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]. doi: 10.22067/agry.2025.89658.1212.

Nobatiani, M. Sh., Rahemi Karizaki, A., Biabani, A., & Mansouri Rad, A. (2020). Documentation of production process and determination of limiting factors of wheat yield by CPA method in Kalaleh county. *Journal of Crops Improvement*, *22*(3), 361-372. [In Persian]. doi: 10.22059/jci.2020.284310.2237.

Pourhadian, H. (2018). Yield gap analysis of forage maize using crop modeling, remote sensing and geographical information system approaches (A case study: Four basins of Golestan province). Ph. D. Dissertation, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan Iran. [In Persian].

Pourhadian, H. (2024). Evaluation of land potential for spring sugar beet cultivation using geospatial technologies (Case study: Agricultural lands of Lorestan province). *Journal of Sugar Beet*, *39*(2), 209-222. [In Persian]. doi: 10.22092/JSB.2024.364298.1341.

Pourhadian, H., Hadavand, N., & Kazem Aslani, H. (2021). Interaction of nitrogen and rhizobium on photosynthetic and yield components of red beans (Sayad cultivar) in Azna. *Journal of Crop Production & Processing*, *11*(2), 37-50. [In Persian]. doi: 10.47176/jcpp.11.2.36051.

Sekhavatifar, Sh., Rahemi Karizaki, A., Nakhzari Moghaddam, A., & Mollashahi, M. (2020). Identification of rapeseed limiting factors using performance comparison analysis. *Journal of Crops Improvement*, *22*(1), 13-25. [In Persian]. doi: 10.22059/jci.2019.280944.2212.

Shahbazi, K., & Besharati, H. (2013). Overview of agricultural soil fertility status of Iran. *Journal of Land Management*, *1*(1), 1-15. [In Persian]. doi: 10.22092/LMJ.2013.100072.

Shirinzadeh, A., Sharif Abad, H., Nourmohammadi, Gh., Majidi Hervan, E., & Madani, H. (2020). Analyzing wheat yield constraints in Parsabad Moghan, north-west of Iran. *Journal of Crop Production & Processing*, *10*(2), 49-65. [In Persian]. doi: 10.47176/jcpp.10.2.35211.

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]. doi: 10.22069/ejcp.2019.11399.1875.

Soltani, A. (2014). Application of SAS in Statistical Analysis: For Agricultural Disciplines. 2nd Edition. Publication of Jahad University of Mashhad. Mashhad, Iran. [In Persian].

Soukhtehsaraei, M., Dadashi, M. R., Faraji, A., & Soltani, A. (2023). Determination of soybean yield gap in Aliabad Katol area by use of CPA analysis and bundary linear. *Crop Production*, *16*(1), 25-42. [In Persian]. doi: 10.22069/ejcp.2023.17284.2282.

Ministry of Agricultural Jahad. (2025). Agricultural Statistics Yearbook, 2023-2024. Volume 1. Crop Products. Statistics, Information and Communication Technology Center, Deputy of Economic Planning, Ministry of Agricultural Jahad, Tehran, Iran. [In Persian].

Taheri Alam, S., & Asakereh, H. (2024). Climatic feasibility study of wheat in Lorestan province. *Climat Chenge & Climat Disasters*, *2*(4), 143-163. [In Persian].

Van Ittersum, M. K., Cassman, K. G., Grassini, P., Wolfa, J., Tittonell, P., & Hochmana, Z. (2013). Yield gap analysis with local to global relevance: A review. *Field Crops Research*, *143*, 4-17. doi: 10.1016/j.fcr.2012.09.009.