Vol. 7, No. 2, Autumn & Winter, 2026, p. 333-344

Plant Production and Genetics

https://doi.org/10.22034/plant.2026.145803.119

Yield gap analysis: quantifying the determinants of wheat yield in the Eastern region of Lorestan province

Hossein Pourhadian[*1]

1. Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran
[*]Corresponding Author Email: hpoorhadian@pnu.ac.ir

Received: 04-05-2026 **revised:**14-07-2026 **Accepted**: 28-08-2026

Abstract

Introduction: Quantitative assessment of the yield gap and identification of its determinants is a fundamental step toward achieving self-sufficiency, enhancing food security and optimizing the management of biological and agricultural risks in any region. Accordingly, the present study was conducted with the aim of quantifying the yield gap and its influencing factors in two districts of Azna County, Lorestan Province.

Materials and Methods: For this research, data were collected from a survey of 85 irrigated wheat farms in Azna County using face-to-face questionnaire interviews. The collected data encompassed farm characteristics (rural area, farmer's experience and literacy level, farm area, and crop rotation) and planting operations (sowing date, plowing, subsoiling, cultivation, harrowing, disc harrowing and its frequency, sowing method, fungicide application, cultivar, seed rate, and the type, method, and timing of nitrogen, phosphorus, and potassium fertilization, amount and type of livestock manure), maintenance operations (type and frequency of irrigation, autumn irrigation and its frequency, date of first spring irrigation, amount, timing, and method of top-dressing nitrogen, and pest and weed control), and harvesting operations (harvest date, wheat growth duration, and yield) were recorded. Soil properties (organic matter, pH, available phosphorus and potassium, total nitrogen, and soil texture) and topographic features (aspect, slope percentage, and elevation) were extracted using geographic information systems (GIS) based on the precise location of each farm. The collected data were then analyzed separately for the Central District (45 farms) and Chaplagh District (40 farms) using the comparative performance analysis (CPA) method in SAS 9.3 software; yield models were prepared, and finally, the yield gap, its determining factors, and the contribution of each factor were identified for both districts.

Results: The results showed that the estimated maximum yield in the Central and Chapleq districts was 11369.30 and 8884.43 kg. ha^{-1} respectively, and the yield gap was 5363.33 (47.17%) and 2932.90 (33.01%) kg. ha^{-1}. In the Central part, available soil potassium (11.61%), potato as the preceding crop (27.15%), base phosphorus fertilizer consumption (23.36%), number of irrigation times (28.33%), and harvest time (9.55%) were the main factors affecting the yield gap. In the Chapleq districts, soil nitrogen content (18.16%), carrot pre-crop (2.67%), use of cultivator in seedbed preparation (5.60%), number of irrigation times (40.10%), and total net nitrogen fertilizer amount (33.48%) played the main role in the yield gap. Comparing the irrigated wheat yield gap in the two districts of Azna County showed an overall yield gap difference of 2430.42 kg. ha^{-1} (45.32%). Analysis of the share of determining factors on the yield gap in the two studied districts showed that all factors, except for the number of irrigation times, were different.

Conclusion: Therefore, The effect coefficient of number of irrigation timeswas also different in the two districts. Therefore, according to the results obtained from this research, the yield gap can be minimized in both districts by improving irrigation system efficiency, developing irrigation schedules based on plant phenological stages, considering preceding crops, and implementing optimal crop rotation systems. Furthermore, supply of basal potassium and phosphorus fertilizers in the Central district, and the split application of nitrogen fertilizer in accordance with wheat growth stages in the Japlaq district are recommended.

Keywords: Base fertilizer, CPA, Irrigation, Nitrogen, Pre-crop, Yield gap

Citation: Pourhadian, H. (2026). Yield gap analysis: quantifying the determinants of wheat yield in the eastern region of Lorestan province. *Plant Production and Genetics, 7*(2), 333-344. https://doi.org/10.22034/plant.2026.145803.119

Copyrights:
Copyrights rights for this article is retained by the author (s), with publication rights granted to Plant Production and Genetics. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

جلد۷، شماره۲، پاییز و زمستان، ۱۴۰۵، صفحات ۳۴۴-۳۳۳

تولید و ژنتیک گیاهی

https://doi.org/10.22034/plant.2026.145803.119

تحلیل خلأ عملکرد: کمی‌سازی عوامل تعیین‌کننده عملکرد گندم در شرق استان لرستان

حسین پورهادیان*[۱]

۱. گروه کشاورزی، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران

*ایمیل نویسنده مسئول: hpoorhadian@pnu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۲/۱۴ **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۵/۰۴/۲۳ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۵/۰۶/۰۶

چکیده

مقدمه: ارزیابی کمی خلأ عملکرد و شناسایی عوامل تعیین‌کننده آن، گامی بنیادین در جهت دستیابی به خودکفایی، ارتقاء امنیت غذایی و مدیریت بهینه مخاطرات زیستی و زراعی در هر منطقه محسوب می‌شود. بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف کمی‌سازی خلأ عملکرد و عوامل مؤثر بر آن در دو بخش شهرستان ازنا واقع در استان لرستان به انجام رسید.

مواد و روش‌ها: برای انجام این تحقیق اطلاعات لازم از پیمایش میدانی ۸۵ مزرعه گندم آبی شهرستان ازنا با استفاده از پرسش‌نامه به‌صورت مصاحبه چهره به چهره تهیه شد. اطلاعات جمع‌آوری‌شده شامل مشخصات مزرعه (دهستان، تجربه و سطح سواد کشاورز، مساحت مزرعه و تناوب کشت) و عملیات مدیریتی کاشت (تاریخ کاشت، شخم، زیرشکن، کولتیواتور و ماله، دیسک و تعداد دفعات آن، شیوه کاشت، مصرف قارچ‌کش، رقم بذر، مقدار بذر، و نوع، شیوه و زمان پخش کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم، به همراه مقدار و نوع کود دامی)، داشت (نوع و دفعات آبیاری، آبیاری پاییزه و تعداد دفعات آن، تاریخ نخستین آبیاری در بهار، مقدار، زمان و شیوه پخش کود سرک نیتروژن، و کنترل آفات و علف‌های هرز) و برداشت (تاریخ برداشت، طول دوره رشد گندم و میزان عملکرد) بود. همچنین، خصوصیات خاک (مواد آلی، pH، فسفر و پتاسیم قابل‌جذب، نیتروژن کل و بافت خاک) و ویژگی‌های توپوگرافی (جهت شیب، درصد شیب و ارتفاع مزارع از سطح دریا) با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی(GIS) و بر اساس موقعیت مکانی هر مزرعه استخراج گردید. سپس، اطلاعات حاصل با استفاده از روش تحلیل مقایسه‌ی کارکرد (CPA) در نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۳، به تفکیک در دو بخش مرکزی (شامل ۴۵ مزرعه) و بخش چاپلق (شامل ۴۰ مزرعه) تجزیه و تحلیل شد و مدل‌های عملکرد (تولید) تهیه گردید. درنهایت، خلأ عملکرد، عوامل مؤثر بر آن و سهم هر عامل در هر یک از بخش‌های مورد مطالعه تعیین گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان داد حداکثر عملکرد برآورد شده در بخش مرکزی و چاپلق به‌ترتیب ۱۱۳۶۹/۳۰ و ۸۸۸۴/۴۳ و خلأ عملکرد ۵۳۶۳/۳۳ (۴۷/۱۷ درصد) و ۲۹۳۲/۹۰ (۳۳/۰۱ درصد) کیلوگرم در هکتار بود. در بخش مرکزی پتاسیم قابل‌جذب خاک (۱۱/۶۱ درصد)، پیش‌کاشت سیب‌زمینی (۲۷/۱۵ درصد)، مصرف کود فسفر پایه (۲۳/۳۶ درصد)، تعداد دفعات آبیاری (۲۸/۳۳ درصد) و زمان برداشت (۹/۵۵ درصد) عوامل اصلی مؤثر بر خلأ عملکرد بودند. در بخش چاپلق میزان نیتروژن خاک (۱۸/۱۶ درصد)، پیش‌کاشت هویج (۲/۶۷ درصد)، به‌کارگیری کولتیواتور در تهیه بستر (۵/۶۰ درصد)، تعداد دفعات آبیاری (۴۰/۱۰ درصد) و مقدار کل کود نیتروژن خالص (۳۳/۴۸ درصد) نقش اصلی در خلأ عملکرد داشتند. مقایسه خلأ عملکرد گندم آبی در دو بخش شهرستان ازنا، نشان‌دهنده اختلاف کلی خلأ عملکرد به میزان ۲۴۳۰/۴۲ کیلوگرم در هکتار (۴۵/۳۲ درصد) بود. تحلیل سهم عوامل تعیین‌کننده بر خلأ عملکرد در دو بخش مورد مطالعه نشان داد کلیه عوامل، به‌استثنای تعداد دفعات آبیاری، متفاوت بودند. با این وجود، ضریب اثر تعداد دفعات آبیاری نیز در دو بخش مورد مطالعه متفاوت بود.

نتیجه‌گیری: بنابراین، با استناد به یافته‌های این پژوهش، می‌توان با بهبود بهره‌وری سیستم‌های آبیاری و تدوین برنامه‌های آبیاری مبتنی بر مراحل فنولوژیکی گیاه و توجه به نوع پیش‌کاشت محصولات و اجرای نظام تناوب زراعی بهینه در هر دو بخش و تأمین کودهای پایه پتاسیم و فسفر در بخش مرکزی و تقسیط کود نیتروژن مطابق با مراحل رشد گندم در بخش چاپلق خلأ عملکرد را به حداقل رساند.

کلید واژگان: آبیاری، پیش‌کاشت، کود پایه، نیتروژن، CPA

منبع: پورهادیان، ح . (۱۴۰۵). تحلیل خلأ عملکرد: کمی‌سازی عوامل تعیین‌کننده عملکرد گندم در شرق استان لرستان، *مجله تولید و ژنتیک گیاهی*، *۷*(۲)، ۳۴۴-۳۳۳.
https://doi.org/10.22034/plant.2026.145803.119

CC BY

مقدمه

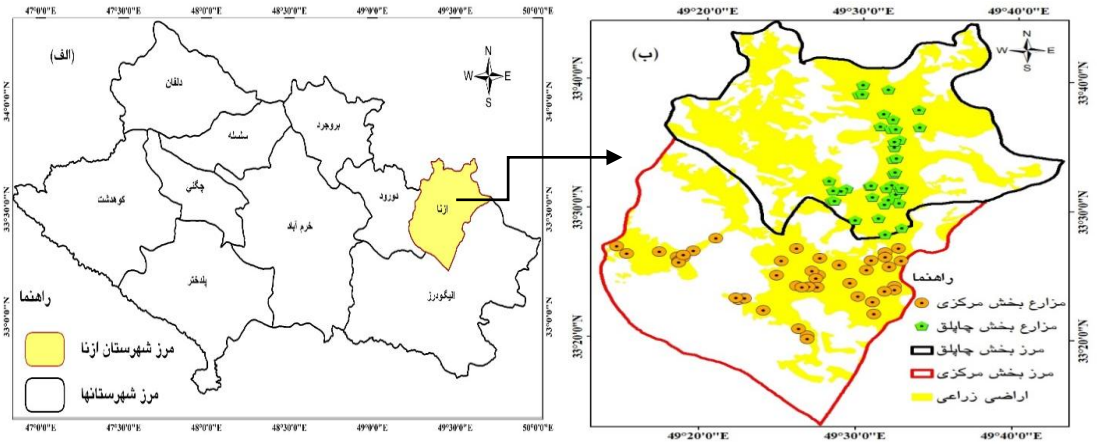
چالش‌های تغییرات اقلیمی، افزایش جمعیت و امنیت غذایی سه بحث بسیار مهم جهت توجه‌بخشی به بالفعل‌سازی پتانسیل اراضی کشاورزی می‌باشند (Tita *et al*., 2025). اولین موضوع مهم در این راستا، ارزیابی دقیق مدیریت فعلی کشاورزان در سامانه تولید است (Ahmadi *et al*., 2023). گندم به‌عنوان مهم‌ترین گیاه تأمین‌کننده کالری انسان همواره در زمینه‌های مختلف مورد پژوهش بوده است. بنابراین آگاهی از مدیریت سامانه‌های تولید آن زمینه‌ساز افزایش بهره‌وری از منابع و سرمایه‌های در اختیار کشاورز است (Devkota *et al*., 2025). با بررسی سامانه تولید، اختلاف عملکرد پتانسیل و عملکرد واقعی کشاورزان گندم‌کار در مزرعه مشخص می‌گردد و شرایط را برای مدیریت بهینه و ترویج اصول علمی نوین در جهت کارا کردن سامانه تولید مهیا می‌کند (Nayak *et al*., 2025). این مهم به‌کمک روش تحلیل مقایسه کارکرد (CPA) قابل انجام است (Nazari *et al*., 2025; Fakhfori *et al*., 2025) زیرا بررسی خلأ عملکرد به‌روش CPA ارزیابی علمی و دقیقی از تصمیم و مدیریت کشاورزان، در استفاده از سرمایه‌گذاری و منابع در دسترس آن‌هاست و همچنین ابزاری توانمند در اختیار متولیان تصمیم‌گیر و سیاست‌گذار بخش کشاورزی در راستای یاری علمی و ترویجی کشاورزان است تا کشاورزان تصمیم‌های خود را به‌روش علمی و براساس شرایط محیطی منطقه اعمال کنند و با افزایش استفاده بهینه از توانایی امکانات کشاورزی خود، خلأ عملکرد را کاهش دهند (Hajjarpour *et al*., 2017; Nobatiani *et al*., 2020). عملکرد پتانسیل به بالاترین عملکرد قابل دستیابی در شرایط ایده‌آل گفته می‌شود که از نظر فعالیت‌های کشاورزی به‌دقت مدیریت و با محدودیت مواجه نشده است. در مقابل، عملکرد واقعی میزان محصولی است که کشاورز در یک سطح مشخص و به‌روش‌های مدیریتی رایج به‌دست می‌آورد و اختلاف این دو عملکرد را خلأ عملکرد می‌نامند (Schils *et al*., 2022; Van Ittersum *et al*., 2013). البته به‌دلیل مشکلات فنی و اقتصادی و آلودگی‌های زیست محیطی معمولاً حصول عملکرد پتانسیل امکان‌پذیر نیست و از عملکرد قابل دست‌یابی که ۸۰ درصد عملکرد پتانسیل است استفاده می‌کنند (Soltani & Mirzaei, 2022).

در یک بررسی، کمی‌سازی خلأ عملکرد گندم به‌روش CPA نشان داد متغیرهای میزان بذر مصرفی، میزان مصرف کود اوره پس از کاشت، تراکم بوته در مترمربع و مصرف کود فسفره در استان کردستان عوامل اصلی خلأ عملکرد به‌میزان ۶۹۲۴ کیلوگرم در هکتار بودند (Fakhfori *et al*., 2025). مطالعه انجام شده در چهار شهرستان استان لرستان با تفاوت اقلیمی، حاکی از خلأ عملکرد گندم بین ۱۵۸۷ تا ۶۲۵۲ کیلوگرم در هکتار بود. در این مطالعه عوامل مدیریتی مانند تناوب، استفاده از رقم مناسب، تعداد آبیاری، تعداد شخم و تاریخ کاشت تأثیر بیشتری در خلأ عملکرد داشتند که با بهینه‌سازی این موارد می‌توان عملکرد گندم آبی را در شهرستان‌های مورد مطالعه افزایش داد (Nazari *et al*., 2025). نتایج پژوهشی نشان داد برای دستیابی به خودکفایی محصول گندم در کشور ازبکستان به‌میانگین عملکرد ۶۶۲۰ کیلوگرم در هکتار نیاز بوده است که مستلزم افزایش ۴۵ درصدی (۲۰۷۰ کیلوگرم در هکتار) نسبت به سطح فعلی (۴۵۵۰ کیلوگرم در هکتار) است، در حالی که خلأ عملکرد ۳۲۵۰ کیلوگرم در هکتار است. در این پژوهش، متغیرهای کوددهی نیتروژن، آبیاری، بارندگی، انتخاب رقم و تاریخ کاشت عوامل اصلی تعیین‌کننده عملکرد بودند (Devkota *et al*., 2025). پرداختن به خلأ عملکرد نیازمند مداخلات زراعی مبتنی بر اطلاعات و مکان‌محور است که بهره‌وری را افزایش و تخریب محیط زیست را کاهش دهد (Devkota *et al*., 2023). خلأ عملکرد در دو مقیاس مکانی و زمانی مورد بررسی قرار می‌گیرد (Soltani & Mirzaei, 2022). مقیاس مکانی می‌تواند شامل مزرعه خاص، محدوده مشخص، شهرستان خاص، استان خاص، کشور خاص و یا کل جهان باشد (Soltani & Mirzaei, 2022; Van Dijka *et al*., 2017). بررسی خلأ عملکرد گندم در سه شهرستان بم، نرماشیر و فهرج استان کرمان نشان از اختلاف بین عملکرد واقعی و عملکرد بالقوه این شهرستان‌ها به‌ترتیب به‌میزان ۱۷۷۰/۸، ۱۸۱۷/۶۱ و ۱۶۰۵ کیلوگرم در هکتار داشت و عوامل کمبود آب، کمبود نیتروژن، تراکم نامناسب بوته و تراکم علف‌های هرز عوامل مشترک در ایجاد خلأ عملکرد در این مناطق بودند (Bagheripour *et al*., 2024). بر اساس مطالعه انجام شده در منطقه جنوب آفریقا (کشورهای مالاوی، زامبیا و موزامبیک)، عوامل اصلی خلأ عملکرد سویا شامل رقم (۶۳/۹ درصد)، میزان بذر (۴۹/۷

درصد) و بیماری‌ها به‌ویژه زنگ سویا (۳۶/۳ درصد) بودند که می‌توان با اولویت‌بندی عوامل محدودکننده عملکرد با حداقل منابع موجود برای کشاورزان خرده‌پا خلأ عملکرد را به میزان قابل توجهی کاهش داد (Omondi *et al.*, 2024). شهرستان ازنا واقع در استان لرستان دارای دو بخش مرکزی و چاپلق می‌باشد که هر کدام از نظر موقعیت جغرافیایی، حاصل‌خیزی خاک، آب مورد نیاز آبیاری، وسعت مزرع و مدیریت و امکانات کشاورزی دارای تفاوت زیادی هستند. بنابراین این تحقیق به‌منظور برآورد میزان خلأ عملکرد و عوامل مؤثر بر آن در هر بخش به‌طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

شهرستان ازنا با واقع شدن در شرق استان لرستان و با دشت‌های حاصل‌خیز با موقعیت جغرافیایی ۴۹ درجه و ۲۷ دقیقه طول شرقی و ۳۳ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی با ارتفاع بین ۱۶۴۴ تا ۴۰۷۵ متر از دریا، یکی از قطب‌های تولید گندم است (با مساحتی حدود ۱۴۰۴/۳۳ کیلومترمربع و با اراضی زراعی به‌وسعت ۶۶۹۰۱/۱۳ هکتار). اقلیم آن نیمه‌مرطوب با تابستان معتدل و زمستان بسیار سرد بوده و دارای دو بخش مرکزی و چاپلق با شرایط متفاوت است. در این شهرستان کشت گندم بیشتر با لوبیا، سیب‌زمینی، چغندرقند، ذرت علوفه‌ای و هویج در تناوب قرار می‌گیرد. میانگین دماهای حداقل، حداکثر و متوسط طی دوره رشد گندم در سال زراعی این پژوهش به‌ترتیب ۵/۷۴، ۲۱/۴۹ و ۱۳/۶۲ درجه سانتی‌گراد و مجموع بارش ۴۲۷/۲۰ میلی‌متر، تبخیر ۱۷۴۵/۹۰ میلی‌متر و ساعات آفتابی ۲۷۶۰/۶۰ ساعت بود. برای انجام این تحقیق اطلاعات ۸۵ مزرعه (بخش مرکزی ۴۵ و چاپلق ۴۰ مزرعه) به‌روش پیمایش میدانی و به‌کمک پرسش‌نامه به‌صورت مصاحبه چهره‌به‌چهره با کشاورزان و به‌طریق تصادفی در سال ۱۳۹۷ تهیه شد (شکل ۱). این اطلاعات شامل مشخصات مزرعه، عملیات کاشت، عملیات داشت و عملیات برداشت بودند (جدول ۱). اطلاعات توپوگرافی و خاک مزارع (جدول ۱) به‌کمک نرم‌افزار GIS نسخه ۱۰/۷ و با استفاده از ابزار Extract Multi Values to Points و بر اساس موقعیت مکانی هر مزرعه استخراج شد (Pourhadian, 2025). برای تعیین مدل عملکرد (تولید) در هر بخش به‌صورت جداگانه رابطه بین تمامی متغیرهای کمی و کیفی اندازه‌گیری شده (بسته به تعداد سطح کدگذاری شدند مثال انجام کولتیواتور کد یک و عدم به‌کارگیری کولتیواتور کد صفر) و عملکرد، با روش رگرسیون گام‌به‌گام ترکیبی (Stepwise Selection (Both)) و با p-value<0.05 مورد ارزیابی قرار گرفت. در این روش متغیرها یکی‌یکی به مدل وارد اضافه می‌شوند و مشروط به معنی‌داری بر اساس سطح مورد نظر حفظ می‌گردند (Soltani, 2014). با قراردادن میانگین مشاهده شده متغیرها در مدل عملکرد، عملکرد میانگین با مدل محاسبه گردید و بعد از آن با قرار دادن میزان مطلوب متغیرها در مدل عملکرد، عملکرد پتانسیل (عملکرد قابل دستیابی) محاسبه شد. لازم به ذکر است در محاسبه عملکرد پتانسیل انتخاب میزان مطلوب متغیر بسته به ضریب متغیر انتخاب شد. بدین صورت که اگر ضریب متغیر مثبت بود حداکثر مقدار متغیر و اگر ضریب متغیر منفی بود حداقل مقدار انتخاب گردید. خلأ عملکرد از اختلاف عملکرد پتانسیل و عملکرد میانگین محاسبه شده، برآورد شد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی شهرستان‌های لرستان (الف) و موقعیت جغرافیایی اراضی زراعی، و مزارع گندم انتخابی و مرکز بخش‌های شهرستان ازنا (ب)

جدول ۱- متغیرهای مورد ارزیابی در مزارع گندم در دو بخش مرکزی و چاپلق شهرستان ازنا

شرایط	متغیر	بخش چاپلق				بخش مرکزی			
		حداکثر	حداقل	متوسط	میانه	حداکثر	حداقل	متوسط	میانه
مشخصات مزرعه	عرض جغرافیایی	۳۶۶۶۷۲	۳۵۷۶۳۴	۳۶۲۶۸/۲۰	۳۶۳۴۳۵/۵۰	۳۶۴۸۰۸	۳۳۶۵۸۷	۳۵۴۰۳۰/۵۶	۳۵۵۵۴۶۸
	طول جغرافیایی	۳۷۲۵۶۲۷	۳۷۰۴۱۷۴	۳۷۱۳۸۷۷/۴	۳۷۱۱۲۲۱/۵۰	۳۷۰۳۶۳۶	۳۶۸۹۲۷۶	۳۶۹۸۱۱۵/۳۸	۳۶۹۸۶۸
	تجربه کشاورز	۴۰	۵	۱۹/۷۸	۲۰ و بالاتر	۵۰	۷	۲۴/۰۷	۲۵ و بالاتر
	سواد کشاورز	کارشناسی ارشد	بی‌سواد	-	سیکل و بالاتر	کارشناسی	بی‌سواد	-	دیپلم و بالاتر
	مساحت مزرعه (هکتار)	۲۲	۱	۵/۴۹	۵	۲۱	۰/۵	۴/۵۴	۲/۵
مدیریت مزرعه	پیش کاشت	لوبیا	جو و شبدر	-	-	لوبیا	آیش، ذرت و خیار	-	-
	تاریخ کاشت (روز)	۶۰	۰	۲۴/۹۰	۲۵	۷۰	۵	۳۲/۱۶	۳۰
	شخم	انجام	عدم انجام	-	-	انجام	عدم انجام	-	-
	زیرشکن	انجام	عدم انجام	-	-	انجام	عدم انجام	-	-
	کولتیواتور	انجام	عدم انجام	-	-	انجام	عدم انجام	-	-
	ماله	انجام	عدم انجام	-	-	انجام	عدم انجام	-	-
	دیسک	انجام	عدم انجام	-	-	انجام	عدم انجام	-	-
	تعداد دیسک	۲	۰	۰/۴۵	۰	۳	۰	۰/۷۳	۱
	شیوه کاشت	ردیف‌کار	-	-	-	ردیف‌کار	دست‌پاش	-	-
	قارچ‌کش (گرم)	۰/۸۰	۰	۰/۳۹	۰/۴۰	۱	۰	۰/۴۴	۰/۴۰
	رقم	پیشگام	محلی	-	۹	پیشگام	آذر۲ و سیوند	-	۸
	مقدار بذر (کیلوگرم در هکتار)	۴۵۰	۲۸۰	۳۶۶/۷۳	۳۷۴	۴۵۰	۲۵۰	۳۴۷/۱۶	۳۵۰
	مقدار کل کود نیتروژن (کیلوگرم در هکتار)	۱۸۴	۴۶	۱۲۱/۷۳	۱۲۶/۵۰	۲۰۷	۰	۱۰۷/۷۳	۱۱۵
	مقدار کود پتاسیم (کیلوگرم در هکتار)	۷۵	۰	۵/۶۹	۰	۱۵۰	۰	۲۲/۲۲	۰
	شیوه پخش کود پتاسیم	ردیف‌کار	دست‌پاش	-	-	دست‌پاش	ردیف‌کار	-	-
	مقدار کود فسفر (کیلوگرم در هکتار)	۱۱۵	۰	۳۷/۱۷	۳۸	۷۶	۰	۳۰/۱۴	۲۸/۵۰
	شیوه پخش کود فسفر	سانتریفیوژ	دست‌پاش	-	-	سانتریفیوژ	ردیف‌کار	-	-
	مقدار دامی (تن در هکتار)	۴۵	۰	۲/۹۸	۰	۳۰	۰	۲/۰۲	۰

ادامه جدول ۱

شرایط	متغیر	بخش چاپلق				بخش مرکزی			
		حداکثر	حداقل	متوسط	میانه	حداکثر	حداقل	متوسط	میانه
مدیریت مزرعه	نوع آبیاری	بارانی	غرقابی	–	–	بارانی	غرقابی	–	–
	تعداد آبیاری	۱۰	۲	۷/۷۵	۸/۵۰	۱۰	۲	۶/۰۲	۶
	تعداد آبیاری در پاییز	۲	۰	۱/۱۸	۱	۲	۰	۰/۶۴	۱
	تاریخ اولین آبیاری در بهار (روز)	۵۰	۰	۲۶/۴۵	۲۶/۵۰	۵۹	۰	۳۱/۵۸	۳۳
	تعداد آبیاری در بهار	۸	۲	۶/۵۸	۷	۹	۲	۵/۳۸	۵
	مقدار سرک نیتروژن (کیلوگرم در هکتار)	۱۸۴	۴۶	۱۰۷/۹۴	۱۱۵	۱۸۴	۱۰۱/۸۰	۰	۱۱۵
	تعداد کود سرک نیتروژن	۲	۱	۱/۶۶	۲	۴	۰	۱/۴۹	۱
	کنترل آفات	مقابله	عدم مقابله	–	–	مقابله	عدم مقابله	–	–
	کنترل علف‌های هرز	مقابله	عدم مقابله	–	–	مقابله	عدم مقابله	–	–
	تاریخ برداشت (روز)	۵۱	۰	۲۵/۳۸	۲۵/۵۰	۴۹	۱۰	۲۶/۵۶	۲۶/۰۰
	طول دوره رشد گندم	۲۹۳	۲۲۲	۲۶۷/۴۰	۲۶۸	۳۰۵	۲۱۳	۲۵۹/۴۴	۲۵۹
خصوصیات خاک	بافت	۴	۲	–	–	۴	۱	–	–
	پتاسیم قابل‌جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۳۲۴/۲۶	۲۱۹/۲۷	۲۷۸/۴۳	۲۸۱/۲۲	۳۴۶/۹۴	۲۵۳/۲۵	۳۱۰/۶۰	۳۱۲/۶۶
	فسفر قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۱۹/۱۷	۹/۶۲	۱۳/۱۹	۱۳/۱۵	۱۲/۶۴	۵/۹۸	۱۰/۰۷	۱۰/۰۶
	ماده آلی (درصد)	۰/۷۹	۰/۵۶	۰/۷۰	۰/۷۲	۱/۰۰	۰/۷۱	۰/۸۳	۰/۸۳
	نیتروژن (درصد)	۰/۰۸۳	۰/۰۶۲	۰/۰۷۶	۰/۰۷۷	۰/۰۸۹	۰/۰۶۹	۰/۰۷۹	۰/۰۸۰
	pH	۷/۹۲	۷/۷۴	۷/۸۵	۷/۸۶	۷/۸۴	۷/۶۸	۷/۷۵	۷/۷۵
توپوگرافی	جهت شیب	۴	۱	–	–	۴	۱	–	–
	شیب (درجه)	۶	۰/۶۶	۲/۸۶۶	۲/۹۶	۷/۹۶	۰/۴۰	۳/۰۲	۲/۸۷
	ارتفاع از سطح دریا (متر)	۱۹۵۲	۱۸۷۸	۱۹۰۸/۲۸	۱۹۰۳/۵۰	۱۹۶۰	۱۷۱۶	۱۸۴۳/۵۸	۱۸۵۹/۵۰

بافت خاک: کد ۱: شنی، ۲: رسی‌سیلتی، رسی‌شنی، لومی‌سیلتی، شنی‌لومی، ۳: لومی‌رسی‌شنی، لومی‌شنی و ۴: لومی‌رسی‌سیلتی، رسی، لومی‌رسی و لومی.
جهت شیب: کد ۱: غرب و شمال، ۲: شمال‌غربی و جنوب‌غربی، ۳: شرق و جنوب‌شرقی، ۴: جنوب، جنوب‌شرقی و بدون جهت.

خلأ عملکرد هر متغیر و سهم آن‌ها از کل خلأ عملکرد به‌ترتیب به کمک معادله‌های ۱ و ۲ محاسبه شدند.

معادله ۱ $YG_X= a+bX_{opt}-cX_{avg}$

معادله ۲ $RYG_X= (YG_X/YG_T)*100$

در این معادله‌ها YG_X: خلأ عملکرد هر متغیر، a: عرض از مبدأ، b و c: ضرایب مدل، X_{opt}: بهترین مقدار مشاهده شده متغیر، X_{avg}: میانگین مقدار مشاهده شده متغیر، RYG_X: نسبت خلأ عملکرد هر متغیر، YG_T خلأ عملکرد کل بودند. درنهایت، مقدار متغیرهای تک‌تک مزارع در هر بخش به‌طور جداگانه به‌مدل تولید وارد شد و عملکرد هر مزرعه برآورد شد و ضریب همبستگی بین عملکرد تعیین‌شده توسط مدل با عملکرد واقعی کشاورزان در مزارع محاسبه گردید. برای

رسم نمودارها نرم‌افزار کسل و تجزیه‌وتحلیل داده‌ها SAS ۹/۳ استفاده شد.

نتایج و بحث

تحلیل خلأ عملکرد گندم در بخش مرکزی

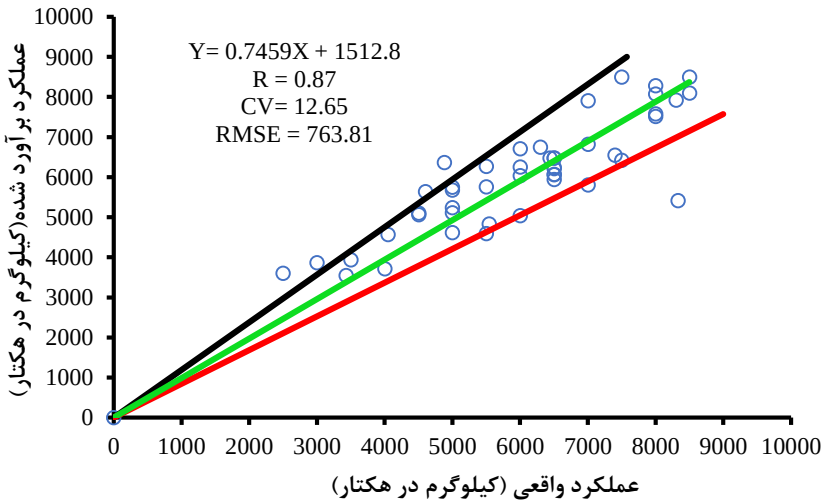
براساس معادله ۳ بررسی مدل تولید خلأ عملکرد در بخش مرکزی شهرستان ازنا به‌کمک روش CPA نشان از مؤثر بودن پنج متغیر داشت.

معادله ۳

$$Y= -1820.73764+ 17.13283X_1+ 1680.14627X_2+ 27.324454X_3+ 379.84517X_4-30.093364X_5$$

در این معادله Y: عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)، X_1: پتاسیم قابل‌جذب خاک (میلی‌گرم در کیلوگرم)، X_2: پیش‌کاشت سیب‌زمینی، X_3: کود فسفر (کیلوگرم در هکتار)، X_4: تعداد دفعات آبیاری و X_5: تاریخ برداشت (روز) بودند.

براساس شکل ۲، ضریب همبستگی بین عملکرد برآورد شده و عملکرد واقعی کشاورزان ۰/۸۷ و جذر میانگین مربعات (RMSE) ۷۶۳/۸۱ کیلوگرم در هکتار و ضریب تغییرات مدل (CV) ۱۲/۶۵ درصد محاسبه شدند که نشان از دقت مناسب مدل تولید در برآورد خلأ عملکرد و تعیین سهم هر یک از متغیرهای مؤثر در عملکرد دارد. در مطالعه‌های دیگر توانایی روش CPA در برآورد مناسب خلأ عملکرد و عوامل مؤثر بر آن در مکان‌های مختلف به اثبات رسیده است (Nazari *et al*., 2025; Matourian *et al*., 2021).



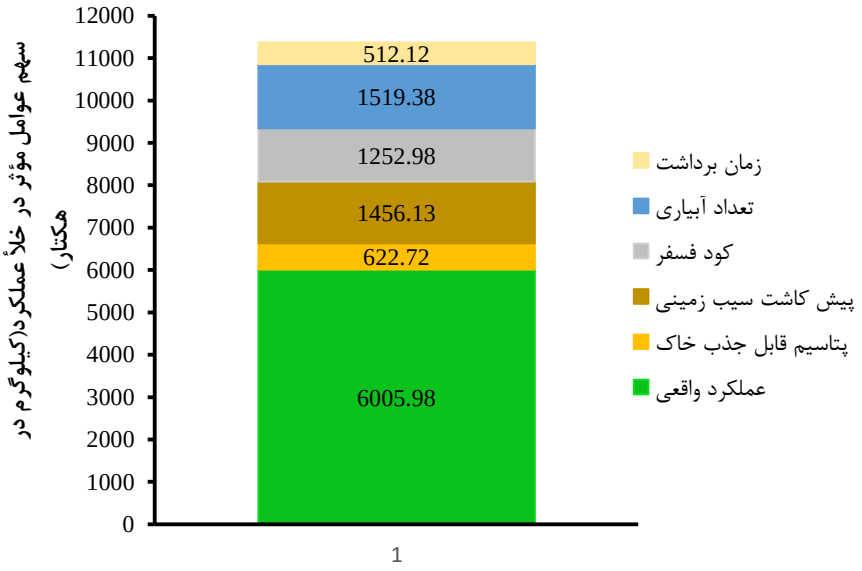
شکل ۲- رابطه بین عملکرد برآورد شده و عملکرد واقعی

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

براساس جدول ۲، حداکثر، حداقل و متوسط عملکرد برآورده شده توسط مدل به‌ترتیب ۱۱۳۶۹/۳۰، ۳۵۱۷/۹۳ و ۶۰۰۵/۹۸ کیلوگرم در هکتار بود و خلأ عملکرد ۵۳۶۳/۳۳ کیلوگرم در هکتار معادل ۴۷/۱۷ درصد به‌دست آمد. پنج متغیر پتاسیم قابل‌جذب خاک، پیش‌کاشت سیب‌زمینی، کود فسفر، تعداد دفعات آبیاری و تاریخ برداشت عامل اصلی ایجاد خلأ عملکرد بودند.

پتاسیم قابل‌جذب خاک بر عملکرد اثر مثبت داشت و به میزان ۶۲۲/۷۲ کیلوگرم در هکتار معادل ۱۱/۶۱ درصد خلأ عملکرد را کاهش داد. دامنه تغییرات این متغیر بین ۲۵۳/۲۵ تا ۳۴۶/۹۴ با میانگین ۳۱۰/۶۰ و میانه (آماره‌ای که ۵۰ درصد داده‌ها بالاتر از آن و ۵۰ درصد پایین‌تر از آن است) ۳۱۲/۶۶ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۱ و ۲ و شکل ۳). تأمین عنصر پتاسیم به‌صورت کوددهی یا موجودی خاک برای به‌دست آوردن عملکرد مطلوب گندم ضروری است. چرا که پتاسیم با ایفای نقش در فرآیندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی گیاه، انتقال مواد فتوسنتزی و افزایش کارایی مصرف آب و عناصر نیتروژن و فسفر باعث بهبود عملکرد محصول می‌گردد (Kamkar *et al*., 2011). در مطالعه انجام‌شده در شهرستان کلاله استان گلستان میزان پتاسیم قابل‌جذب خاک نقش ۱۱/۷ درصدی در خلأ عملکرد گندم مؤثر بود (Nobatiani *et al*., 2020).

پیش‌کاشت سیب‌زمینی با اثر مثبت بر خلأ عملکرد گندم، عملکرد را به‌مقدار ۱۴۵۶/۱۳ کیلوگرم در هکتار معادل ۲۷/۱۵ درصد بهبود بخشید (جدول ۲ و شکل ۳). پیش‌کاشت سیب‌زمینی احتمالاً به‌دلیل پوک کردن خاک، تهیه راحت‌تر بستر کشت و به‌جا گذاری رطوبت، نقش مهمی در سبز شدن مناسب گندم و به‌تبع آن بهبود عملکرد آن دارد. میانگین تأخیر کاشت گندم بعد پیش‌کاشت سیب‌زمینی ۲۶/۸۳ روز و دیگر پیش‌کاشت‌ها ۳۲/۹۷ روز بود. پیش‌کاشت چغندرقند در شهرستان خرم‌آباد ۵۵ درصد خلأ عملکرد گندم بهبود بخشید (Nazari *et al*., 2025).



شکل ۳- سهم عوامل اصلی مؤثر خلأ عملکرد گندم آبی بخش مرکزی شهرستان ازنا

جدول ۲- کمی‌سازی خلأ عملکرد در اراضی گندم بخش مرکزی شهرستان ازنا

متغیر	ضریب	مقادیر متغیر				عملکرد محاسبه‌شده با مدل		خلأ عملکرد	
		حداقل	حداکثر	بهینه	میانگین	بهینه	میانگین	مقدار	درصد
عرض از مبدأ	-۱۸۲۰/۷۴	-	-	۱	۱	-۱۸۲۰/۷۴	-۱۸۲۰/۷۴	-	-
پتاسیم قابل‌جذب خاک	۱۷/۱۳	۲۵۳/۲۵	۳۴۶/۹۴	۳۴۶/۹۴	۳۱۰/۶۰	۴۱۲۳/۳۸	۳۵۰۰/۶۶	۶۲۲/۷۲	۱۱/۶۱
پیش‌کاست سیب‌زمینی	۱۶۸۰/۱۵	۰	۱	۱	۰/۱۳	-۱۴۰/۵۹	-۱۵۹۶/۷۲	۱۴۵۶/۱۳	۲۷/۱۵
کود فسفر	۲۷/۳۲	۰	۷۶	۷۶	۳۰/۱۴	۲۵۵/۹۳	-۹۹۷/۰۵	۱۲۵۲/۹۸	۲۳/۳۶
تعداد دفعات آبیاری	۳۷۹/۸۶	۲	۱۰	۱۰	۶/۰۰	۱۹۷۷/۹۹۱۴	۴۵۸/۳۳	۱۵۱۹/۳۸	۲۸/۳۳
زمان برداشت	-۳۰/۹۳	۱۰	۴۹	۴۹	۲۶/۵۵	-۲۱۳۰/۰۷	-۲۶۴۲/۲۰۱۸	۵۱۲/۱۲	۹/۵۵
عملکرد	-	۲۵۰۰	۸۵۰۰	-	۶۰۰۵/۹۸	۱۱۳۶۹/۳۰	۶۰۰۵/۹۸	۵۳۶۳/۳۳	۴۷/۱۷

مصرف کود پایه فسفر خالص در کشت گندم بر خلأ عملکرد تأثیر داشت و باعث افزایش ۱۲۵۲/۹۸ کیلوگرم در هکتار معادل ۲۳/۳۶ درصد گردید. دامنه تغییرات کود فسفر خالص مصرفی بین صفر تا ۷۶ با میانگین ۳۰/۱۴ و میانه ۲۸/۵۰ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۱ و ۲ و شکل ۳). فسفر برای رشد و توسعه ریشه و اندام هوایی به‌خصوص در مراحل اولیه رشد ضروری است. این عنصر در تمام فرایندهای بیوشیمیایی، در ترکیبات انرژی‌زا و در مکانیسم‌های انتقال انرژی دخیل است. همچنین فسفر جزئی از پروتئین سلول و دیگر اجزاء آن به‌شمار می‌رود و نقش ویژه‌ای در کیفیت و کمیت محصول دارد (Kamkar *et al*., 2011). مقدار کود مصرفی فسفر در مزارع گندم شهرستان نورآباد لرستان تأثیر ۶۳ درصدی بر خلأ عملکرد داشت (Nazari *et al*., 2025). در دیگر مطالعه‌ها فسفر قابل‌جذب خاک مزارع گندم در شهرستان بم و فهرج استان کرمان به‌ترتیب ۱۰/۱۴ و ۴۶/ ۸ درصد (Bagheripour *et al*., 2024) و شهرستان کلاله استان گلستان ۱۴/۹ درصد بر خلأ عملکرد مؤثر بود (Nobatiani *et al*., 2020).

اثر تعداد دفعات آبیاری بر عملکرد گندم به مانند بخش چاپلق مثبت بود و خلأ عملکرد ۱۴۸۶/۳۵ کیلوگرم در هکتار معادل ۲۸/۳۳ درصد گردید. دامنه تغییرات تعداد آبیاری بین ۲ تا ۱۰ با میانگین ۶ و میانه آن ۶ نوبت بود (جدول ۱ و ۲ و شکل ۳). آب به‌عنوان مهم‌ترین عنصر مورد نیاز گیاه با نقش‌آفرینی در تمام فعالیت‌های بیوشیمیایی و بیوفیزیکی گیاه موجب استفاده بهینه گیاه از سایر منابع برای رشد و نمو شده و باعث بهبود کیف و کمی عملکرد و کاهش خلأ آن می‌گردد (Khajehpour, 2013). آبیاری گندم در استان گلستان ۲۷/۰۵ درصد خلأ عملکرد گندم بهبود بخشید (Hajjarpour *et al*., 2017).

زمان برداشت با اثر منفی بر عملکرد گندم، خلأ عملکرد آن را به‌میزان ۵۱۲/۱۲ کیلوگرم در هکتار معادل ۹/۵۵ درصد را افزایش داد. دامنه تغییرات تاریخ برداشت از اولین تاریخ برداشت در بخش مرکزی شهرستان ازنا بین ۱۰ تا ۴۹ روز با میانگین ۲۶/۵۶ و با میانه ۲۶ روز بود (جدول ۱ و ۲ و شکل ۳). تاریخ برداشت گندم متأثر از شرایط اقلیم منطقه، رقم، مدیریت زراعی و به‌ویژه فراهم بودن وسایل برداشت از جمله کمباین است (Khajehpour, 2013). تأخیر در برداشت باعث افزایش خسارت آفات و پرندگان و ریزش دانه شده و افزایش خلأ عملکرد گندم را در پی دارد. تأخیر در برداشت در شهرستان نورآباد لرستان خلأ عملکرد را ۱۳ درصد (Nazari *et al*., 2025) و در شهرستان گمیشان استان گلستان ۳/۲ درصد (Jafarnodeh *et al*., 2025) افزایش داد.

تحلیل خلأ عملکرد گندم در بخش چاپلق

براساس معادله ۴، ارزیابی مدل تولید خلأ عملکرد در بخش چاپلق شهرستان ازنا به کمک روش CPA نشان داد پنج متغیر مؤثرین نقش را داشتند.

معادله ۴:

$$Y=-7080.0917+78574X_1-3126.71534X_2 +1313.23853X_3+ 522.71518X_4+ 15.76731X_5$$

در این معادله Y: عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)، X_1: نیتروژن خاک (درصد)، X_2: پیش‌کاشت هویج، X_3: کولتیواتور،

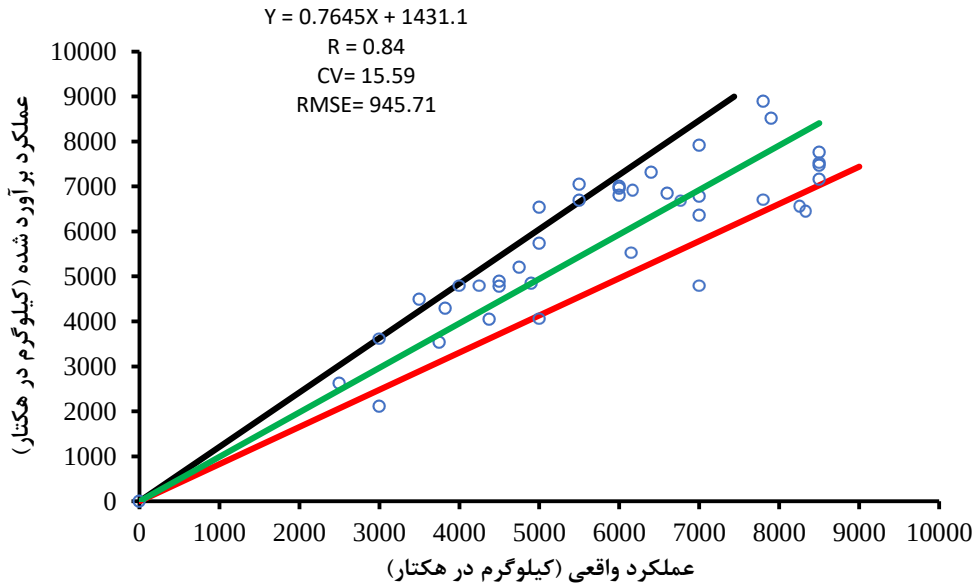
X_4: تعداد دفعات آبیاری و X_5: کل کود نیتروژن خالص (کیلوگرم در هکتار) بودند.

براساس شکل ۴، ضریب همبستگی بین عملکرد برآورد شده و عملکرد واقعی کشاورزان ۰/۸۴ و جذر میانگین مربعات (RMSE) ۹۴۵/۷۱ کیلوگرم در هکتار و ضریب تغییرات مدل (CV) ۱۵/۵۹ درصد تعیین گردیدند که حاکی از دقت مناسب مدل تولید در برآورد خلأ عملکرد و تعیین سهم هر یک از متغیرهای مؤثر در عملکرد داشتند. در مطالعه‌های دیگر توانایی روش CPA در برآورد مناسب خلأ عملکرد و عوامل مؤثر بر آن در گیاهان مختلف به اثبات رسیده است (Ahmadi et al., 2023; Nobatianiet al., 2020).

براساس جدول ۳، حداکثر، حداقل و متوسط عملکرد برآورده شده توسط مدل در این بخش به‌ترتیب ۸۸۸۴/۴۳، ۲۱۰۵/۲۷ و ۵۹۵۱/۵۳ کیلوگرم در هکتار بود و خلأ عملکرد ۲۹۳۲/۹۰ کیلوگرم در هکتار معادل ۳۳/۰۱ درصد به‌دست آمد. پنج متغیر نیتروژن خاک، پیش‌کاشت هویج، کولتیواتور، تعداد دفعات آبیاری و کل کود نیتروژن خالص عامل اصلی ایجاد خلأ عملکرد بودند.

نیتروژن خاک بر عملکرد گندم در بخش چاپلق اثر مثبت داشت و باعث افزایش عملکرد و کاهش خلأ آن را به‌میزان ۵۳۲/۶۵ کیلوگرم در هکتار معادل ۱۸/۱۶ درصد شد. دامنه تغییرات این متغیر بین ۰/۰۶۲ تا ۰/۰۸۳ با میانگین ۰/۰۷۶ و میانه ۰/۰۷۷ درصد بود (جدول ۱ و ۳ و شکل ۵). نیاز گندم به‌نیتروژن بیش از هر عنصر دیگری است و یکی از منابع آن نیتروژن در خاک است که با تأثیر بر رشد رویشی و زایشی و میزان پروتئین گیاه گندم عملکرد کمی و کیفی را افزایش می‌دهد (Khajehpour, 2013). مطالعه انجام شده در شهرستان شوشتر استان خوزستان نشان داد درصد نیتروژن خاک خلأ عملکرد به‌میزان ۲۷/۰۹ درصد بهبود بخشید (Ahmadi *et al.*, 2023).

پیش‌کاشت هویج بر عملکرد گندم اثر منفی داشت و خلأ عملکرد به میزان ۷۸/۱۷ کیلوگرم در هکتار معادل ۲/۶۷ درصد افزایش داد (جدول ۳ و شکل ۵). پیش‌کاشت هویج باعث تأخیر ۴۰ روزه در کاشت گندم در این بخش شد و موجب عدم تهیه بستر در زمان مناسب گردید و جوانه‌زنی و سبزشدن گندم از لحاظ شرایط مطلوب دچار مشکل کرد و خلأ عملکرد را افزایش داد. گیاه پیش‌کاشت بسته به تأثیر بر زمان کاشت، تخلیه حاصل‌خیزی خاک و گسترش آفات و بیماری بر عملکرد گیاه بعد از خود مؤثر است (Khajehpour, 2013).



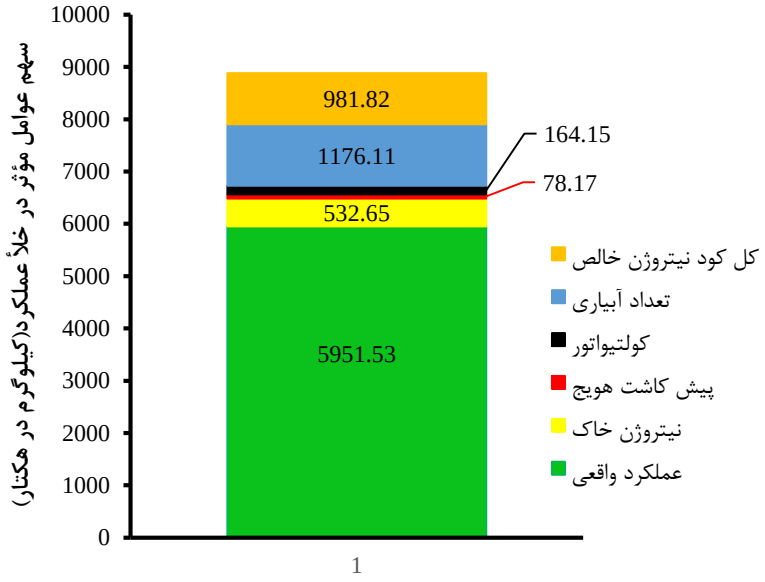
شکل ۴- رابطه بین عملکرد برآورد شده و عملکرد واقعی

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

به‌کارگیری کولتیواتور در تهیه بستر گندم بر عملکرد اثر مثبت داشت و به‌میزان ۱۶۴/۱۵ کیلوگرم در هکتار معادل ۵/۶۰ درصد خلأ عملکرد را بهبود بخشید (جدول ۳ و شکل ۵). عملیات مورد نیاز تهیه بستر و کیفیت بستر حاصل از عملیات انجام شده، تابع عواملی چون بافت و ساختمان خاک، اقلیم و دسترسی به آب آبیاری طی دوره آیش فصلی، محصول قبلی و دوران تهیه بستر است. کولتیواتور برای جایگزین گاوآهن یک‌طرفه، افزایش عمق شخم برای نفوذ ریشه، خورد کردن کلوخه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد و شرایط را برای رشد و نمو گیاه و توسعه ریشه آن مهیا می‌کند که فراهم‌ساز شرایط برای جذب آب و عناصر موجود در خاک شده و افزایش عملکرد را سبب می‌گردد (Khajehpour, 2013). عملیات زیرشکنی در شرایط دیم پرمحصول و در شرایط آبی در استان گلستان خلأ عملکرد گندم را به‌ترتیب به‌میزان ۱۰/۳۱ و ۹/۳۶ درصد کاهش داد (Hajjarpour *et al*., 2017). مدیریت تهیه بستر در شهرستان ابرکوه یزد موجب بهبود خلأ عملکرد به‌میزان ۱۲/۵۱ درصد گردید (Aghili *et al*., 2023).

اثر تعداد دفعات آبیاری بر عملکرد گندم به مانند بخش مرکزی مثبت بود و موجب کاهش خلأ عملکرد به‌میزان ۱۱۷۶/۱۱ کیلوگرم در هکتار معادل ۴۰/۱۰ درصد شد. دامنه تغییرات تعداد آبیاری بین ۲ تا ۱۰ با میانگین ۷/۷۵ و میانه آن ۸/۵۰ نوبت بود (جدول ۱ و ۳ و شکل ۵). میزان میانگین تعداد آبیاری در این بخش بیشتر از بخش مرکزی بود که بیشتر ناشی از نوع بافت خاک سبک‌تر و مقدار ماده آلی کم‌تر بود (جدول ۱). آب علاوه بر نقش مستقیم خود در رشد و نمو گیاه سایر مواد مورد نیاز گیاه از جمله تغذیه آن را تأثیر قرار می‌دهد. کاهش خلأ عملکرد گندم در استان گلستان با به‌کارگیری آبیاری به‌میزان ۲۷/۰۵ درصد گزارش شده است (Hajjarpour *et al*., 2017).

مقدار کل کود نیتروژن خالص بر عملکرد تأثیر مثبت داشت و باعث کاهش خلأ عملکرد به‌میزان ۹۸۱/۸۲ کیلوگرم در هکتار معادل ۳۳/۴۸ درصد گردید. دامنه تغییرات این متغیر در بخش بین ۴۶ تا ۱۸۴ با میانگین ۱۲۱/۷۳ و میانه ۱۲۶/۵۰ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۱ و ۳ و شکل ۵). نیتروژن یکی از مهمترین عناصر غذایی محدودکننده عملکرد برای تولید گیاهان زراعی در دنیا است و به‌مقادیر زیاد برای اکثر گیاهان یک‌ساله مصرف می‌شود و نقش بسیار مهمی در رشد و نمو غلات و افزایش کمی و کیفی عملکرد آن‌ها دارد (Kamkar *et al*., 2011). بنابراین مصرف مقدار مناسب و در زمان لازم با توجه به مراحل رشد و نمو گیاه گندم و نوع کود نیتروژن باعث بهبود کارایی این کود و در نهایت افزایش عملکرد گندم می‌شود (Office of the Wheat Project Executor, 2024; Khajehpour, 2013). کاهش خلأ عملکرد در مزارع گندم در استان گلستان (Hajjarpour *et al*., 2017) و در استان کردستان (Fakhfori *et al*., 2025) به‌ترتیب به‌میزان ۲۵ و ۳۰/۰۱ درصد با مصرف بهینه کود نیتروژن حاصل شده است.



شکل ۵- سهم عوامل اصلی مؤثر خلأ عملکرد گندم آبی بخش چاپلق شهرستان ازنا

جدول ۳- کمی‌سازی خلأ عملکرد در اراضی گندم بخش چاپلق شهرستان ازنا

متغیر	ضریب	مقادیر متغیر				عملکرد محاسبه‌شده با مدل		خلأ عملکرد	
		حداقل	حداکثر	بهینه	میانگین	بهینه	میانگین	مقدار	درصد
عرض از مبدأ	-۷۰۸۰/۰۹	-	-	۱	۱	-۷۰۸۰/۰۹	-۷۰۸۰/۰۹	-	-
نیتروژن خاک	۷۸۵۷	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۷	-۵۵۷/۱۶	-۱۰۸۹/۸۰	۵۳۲/۶۵	۱۸/۱۶
پیش‌کاشت هویج	-۳۱۲۶/۷۲	۰	۱	۱	۰/۰۳	-۷۰۸۰/۰۹	-۷۱۵۸/۲۶	۷۸/۱۷	۲/۶۷
کولتیواتور	۱۳۱۳/۲۴	۰	۱	۱	۰/۸۸	-۵۷۶۶/۸۵	-۵۹۳۱/۰۱	۱۶۴۸/۱۵	۵/۶۰
تعداد دفعات آبیاری	۵۲۲/۷۲	۲	۱۰	۱۰	۷/۷۵	-۱۸۵۲/۹۴	-۳۰۲۹/۰۵	۱۱۷۶/۱۱	۴۰/۱۰
کل کود نیتروژن خالص	۱۵/۷۷	۴۶	۱۸۴	۱۸۴	۱۲۱/۷۳	-۴۱۷۸/۹۱	-۵۱۶۰/۷۳	۹۸۱/۸۲	۳۳/۴۸
عملکرد	-	۲۵۰۰	۸۵۰۰	-	۵۹۱۳	۸۸۸۴/۴۳	۵۹۵۱/۵۳	۲۱۰۵/۲۷	۳۳/۰۱

مقایسه خلأ عملکرد در دو بخش مرکزی و چاپلق

مقایسه خلأ عملکرد گندم در دو بخش شهرستان ازنا نشان داد اختلاف میانگین خلأ عملکرد به‌میزان ۲۴۳۰/۴۲ کیلوگرم در هکتار، معادل ۴۵/۳۲ درصد بود؛ به‌طوری که مقدار خلأ عملکرد در بخش مرکزی بیش از بخش چاپلق گزارش شد. همجواری بخش مرکزی با اشترانکوه و بالا بودن حاصل‌خیزی خاک آن نسبت به‌بخش چاپلق (جدول ۱)، سبب افزایش پتانسیل عملکرد بالقوه گندم در این منطقه شده و درنتیجه، میزان فاصله‌ی عملکرد واقعی از عملکرد بالقوه (خلأ عملکرد) افزایش یافت. همچنین، وسعت کمتر مزارع در بخش مرکزی موجب استفاده‌ی ناکارآمد از نهاده‌ها، محدودیت در سرمایه‌گذاری‌های زراعی و کاربرد فناوری‌های نوین شده که خود به افزایش خلأ عملکرد در این بخش منجر گردیده است. گزارش شده خلأ عملکرد در مناطق با عملکرد پتانسیل بالاتر، بیشتر است (Nazari *et al*., 2025; Bagheripour *et al*., 2024). تحلیل سهم عوامل مؤثر بر خلأ عملکرد در دو بخش مورد مطالعه نشان داد کلیه عوامل، به‌استثنای تعداد دفعات آبیاری، متفاوت بودند. با وجود این، ضریب اثر دفعات آبیاری نیز در دو بخش فرق داشت؛ به‌گونه‌ای که در بخش چاپلق سهم دفعات آبیاری در خلأ عملکرد برابر ۴۰/۰۱ درصد و در بخش مرکزی ۲۸/۳۳ درصد برآورد شد (جدول ۲ و ۳). این تفاوت عمدتاً ناشی از ویژگی‌های جغرافیایی، سبک‌تر بودن بافت خاک و میزان کمتر ماده آلی در چاپلق است که نیاز به دفعات آبیاری بیشتری را برای دستیابی به عملکرد بهینه ایجاب می‌کند. پس از مدیریت آبیاری، تغذیه‌ی گیاهی دومین عامل کلیدی مؤثر بر خلأ عملکرد در هر دو بخش محسوب می‌شود. در بخش مرکزی، کودهای پایه شامل پتاسیم (پتاسیم قابل‌جذب خاک) و فسفر با سهم اثر ۳۴/۹۷ درصد نقش تعیین‌کننده‌ای در بهبود عملکرد داشتند، در حالی‌که در بخش چاپلق، مدیریت نیتروژن (اعم از موجودی خاک و کل کود نیتروژن) با سهم ۵۱/۶۴ درصد بیشترین اهمیت را دارا بود.

نتایج مدل‌سازی نشان داد که با بهینه‌سازی مدیریت آبیاری بر اساس مراحل رشد و نمو گیاه و استفاده از سامانه‌های نوین آبیاری به منظور ارتقای کارایی مصرف آب و نیز بهبود مدیریت تغذیه‌ای بر پایه انتخاب صحیح نوع، مقدار، زمان و روش مصرف کودها، می‌توان خلأ عملکرد گندم را در بخش مرکزی و چاپلق به‌ترتیب ۶۳/۳۰ و ۹۱/۷۴ درصد بهبود بخشید. همچنین توجه به برهم‌کنش بین تعداد نوبت آبیاری و عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم بسیار مهم است. چون که کارایی جذب و بهره‌وری عناصر مغذی به‌طور مستقیم تحت تأثیر رطوبت خاک قرار دارد؛ به‌گونه‌ای که در سطوح پایین آبیاری، محدودیت در انتقال عناصر در محلول خاک، مانع از پاسخ مؤثر عملکرد به افزودن کود می‌شود. اما افزایش تعداد نوبت آبیاری می‌تواند با بهبود محیط ریشه، اثر افزایشی عناصر بر عملکرد را تقویت کند و موجب کاهش خلأ عملکرد گردد.

استعداد ذاتی کشاورزی هر منطقه از شرایط آب و هوایی، وضعیت توپوگرافی و خصوصیات خاک آن ناشی می‌شود که به‌کمک مدیریت کشاورزی بالفعل می‌گردد (Pourhadian, 2025). در صورت عدم مدیریت بهینه و هدفمند از پتانسیل بالقوه آن استفاده نشده و خلأ عملکرد افزایش می‌یابد. منطقه بخش مرکزی شهرستان ازنا به‌دلیل استعداد خاکی بهتر نسبت به‌بخش چاپلق و از نظر آب و هوایی به‌دلیل همجواری با اشترانکوه استعداد کشاورزی بالاتری دارد. اما مدیریت کشاورزی در آن نسبت به‌بخش چاپلق نامناسب‌تر است. به‌طوری تمام عملیات کاشت، داشت و برداشت گندم در سطح پایین‌تری اعمال شده است.

نتیجه‌گیری کلی

هدف این تحقیق، مقایسه مکانی خلأ عملکرد در بخش‌های مرکزی و چاپلق شهرستان ازنا بود. نتایج نشان داد که اختلاف حداکثر، حداقل و متوسط عملکرد برآورد شده بین دو بخش مرکزی و چاپلق به‌ترتیب ۲۴۸۴/۸۷، ۱۴۱۲/۷۰ و ۵۴/۴۵ کیلوگرم در هکتار و خلأ عملکرد ۲۴۳۰/۴۲ کیلوگرم در هکتار بود. با توجه به نقش تعیین‌کننده مدیریت دفعات آبیاری در هر دو بخش در ایجاد خلأ عملکرد، پیشنهاد می‌شود سیاست‌های حمایتی از رویکرد آبیاری سنتی به سمت آبیاری دقیق و فنولوژیک سوق داده شوند. این امر از طریق تسهیلات مالی جهت ارتقای تجهیزات، اصلاح فواصل آبیاری بر اساس ویژگی‌های فیزیکی خاک و پارامترهای تبخیر-تعرق و همچنین آموزش‌های ترویجی محقق خواهد شد. از نظر مدیریت عناصر غذایی، به‌دلیل تفاوت نیازهای منطقه‌ای، اتخاذ سیاست‌های مکان‌محور ضروری است؛ بدین ترتیب که در بخش مرکزی، تمرکز بر تغذیه هدفمند با تأکید بر پتاسیم قابل‌جذب و تأمین کودهای پایه فسفره باشد، و در بخش چاپلق، مدیریت نیتروژن بر پایه نتایج آزمون خاک و

استراتژی تقسیط کود براساس نیاز مراحل رشدی گیاه و آبشویی احتمالی صورت گیرد. همچنین، با توجه به اثرات پیش‌کاشت‌های سیب‌زمینی و هویج بر عملکرد محصول اصلی در مناطق مرکزی و چاپلق، ضرورت بازنگری در تناوب زراعی، تدوین نقشه‌های تناوب علمی و افزایش تنوع محصولاتی برای کاهش وابستگی به پیش‌کاشت‌های خاص احساس می‌شود. در کنار این اقدامات، رعایت زمان برداشت بهینه در بخش مرکزی و بهره‌گیری از کولتیواتور در بخش چاپلق، از دیگر راهکارهای کلیدی در جهت کاهش خلأ عملکرد و جلوگیری از اتلاف منابع در قالب مدیریت منطقه‌ای است.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از تمامی کشاورزان محترم منطقه که در طول دوره انجام این تحقیق، همکاری‌های ارزشمند خود را با نویسنده داشتند، قدردانی می‌گردد.

منابع

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

Ahmadi, I., Gharineh, M. H., & Abdali Mashhadi, A. (2023). Modelling of the factors creating the yield gap of wheat in the Shushtar area. *International Journal of Applied Agricultural Sciences, 9*(3), 86-91. https://doi.org 10.11648/j.ijaas.20230903.14

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. https://doi.org 10.18805/LRF-777

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

Devkota, M., Devkota, K. P., Karrou, M., & Nangia, V. (2023). Genotype and agronomic management interaction to enhance wheat yield and water use efficiency in the mediterranean rainfed environment of Morocco: I. Field data analysis. *European Journal of Agronomy*, *151*, 126972. https://doi.org/10.1016/j.eja.2023.126972

Fakhfori, F., Khaliliaqdam, N., Mirmahmoodi, T., & Yazdan sta, S. (2025). Documenting and identification of factors reducing the yield of some crops in Kurdistan province by CPA method. *Crop Production Journal*, *18*(3), 103-128. (In Persian). https://doi.org 10.22069/ejcp.2025.23924.2701

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). https://doi.org/20.1001.1.15625540.1396.19.2.1.9

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). URL: http://agrobreedjournal.ir/article-1-1398-fa.html.

Kamkar, B., Safahani Langroudi, A., & Mohammdi, R. (2011). The use of nutrients in crop plants. Mashhad University Jihad Publication. 500p. (In Persian).

Khajehpour, M. R. (2013). Cereal Crop. Jahad University, Isfahan University of Technology Publication. 764p. (In Persian).

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). https://doi.org20.1001.1.15625540.1400.23.3.1.9

Nayak, H. S., Silva, J. V., Parihar, Ch. M., Jat, M. L., Singh, R., Kumar, R., Sena, D. R., Jat, H. S., Sidhu, H. S., Krupnik, T. J., & Sapkota, T. B., (2025). Ensuring sustainable crop production when yield gaps are small: A data-driven integrated assessment for wheat farms in Northwest India. *European Journal of Agronomy*, *164*, 127492. https://doi.org /10.1016/j.eja.2024.127492

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). https://doi.org/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). https://doi.org 10.22059/jci.2020.284310.2237

Office of the Wheat Project Executor. (2024). Guidelines for the implementation of the sustainable wheat production project for the 2024-2025 agricultural year. Deputy of Crop Production Affairs, Ministry of Agriculture Jihad. 131p. (In Persian).

Omondi, J. O., Chiduwa, M. Sh., Kyei-Boahen, S., Masikati, P., & Nyagumbo, I. (2024). Yield gap decomposition: quantifying factors limiting soybean yield in Southern Africa. *Sustainable Agriculture*, *2*(32), 1-11. https://doi.org/10.1038/s44264-024-00039-9

Pourhadian, H. (2025). Investigating the possibility of developing rainfed cultivation of camelina (*Camelina sativa* L.) in Lorestan province using fuzzy Logic. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *35*(2), 101-119. (In Persian). https://doi.org/10.22034/saps.2023.57532.3077

Schils, R. L. M., van Voorn, G. A. K., Grassini, P., van Ittersum, M. K. (2022). Uncertainty is more than a number or colour: involving experts in uncertainty assessments of yield gaps. *Agricultural Systems*, *195*, 103311. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103311

Shirinzadeh, A., Heidari Sharif Abad, H., Nourmohammadi, Gh., Majidi Haravan, E., & 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/ 49-65. 10.47176/jcpp.10.2.35211

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

Soltani, A., & Mirzaei, A. R. (2022). Analysis of potential yield and yield gap in plant production systems. Gorgan, Sirang vocabulary. 45p. (In Persian).

Tita, D., Mahdi, K., Devkota, K. P., & Devkota, M. (2025). Climate change and agronomic management: Addressing wheat yield gap and sustainability challenges in the Mediterranean and MENA regions. *Agricultural Systems*, *224*, 104242. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2024.10424

Van Dijka, M., Morleya, T., Jongeneel, R., Van Ittersum, M., Reidsma, P., & Ruben, R. (2017). Disentangling agronomic and economic yield gaps: An integrated framework and application. *Agricultural Systems*, *154*, 90-99. http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2017.03.004

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