

**Research Paper**

**Wheat Potential Yield and Gap Estimation in Qazvin Plain of Iran**

*V. Mirbagheri*<sup>1</sup>, *S. Maleki Farahani*<sup>2</sup>, *M.H. Fotokian*<sup>3</sup>, *M.J. Taei*<sup>4</sup>

Received: 17 March, 2024

Accepted: 29 September, 2024

**Introduction:** Wheat, as the most important product in the food basket of Iranians, providing more than 40 percent of the daily energy of each person, is an irreplaceable and plays important role in cultivation pattern. Due to the position of this crop in food security, investigating the effects of various factors affecting the yield as well as estimating the potential yield and yield gap can significantly help the planning ability of agricultural sector managers.

**Material and Method:** In this research, World Food Studies (WOFOST) model was used to estimate the potential yield of irrigated wheat in Qazvin Plain of Iran. The meteorological statistics were converted into the standard unit required by the model using mathematical models, and the field observations were used to calculate yield gap, and also ARCGIS was used for yield gap and actual yield maps generation.

**Results and Discussion:** The model performance was statistically evaluated using coefficient of determination ( $R^2$ ) t-test, Root Mean Square Error (RMSE), Normalized Root Mean Square Error (NRMSE/RMSEn), Maximum Error (ME) and coefficient of Efficiency (E). The results showed that the WOFOST model had a sufficient efficiency for predicting the concerned indicators. The average potential yield of irrigated wheat in the studied area (2013-2022) was about 8.6 tons per hectare and the yield gap was 51 percent.

**Conclusion:** Finally, the WOFOST model was evaluated to be accurate and efficient for estimating the potential yield of irrigated wheat in the studied area,

- 
1. PhD Student in Agrotechnology, Shahed University, Tehran, Iran.
  2. Corresponding Author and Associate Professor, Shahed University, Tehran, Iran.
  3. Associate Professor, Shahed University, Tehran, Iran.
  4. Assistant professor, Technical and Vocational University, Tehran, Iran.

DOI: 10.30490/aead.2024.365295.1588

and among the known influencing factors on yield, annual rainfall and soil quality effect on potential yield achievement significantly, also the production gap reducing. Therefore, in the future breeding programs for wheat, focusing on cultivars with higher water use efficiency and higher fertilizer use efficiency can ensure a sustainable food security in Iran.

**Keywords:** *Irrigated Wheat, Ghazvin Plain, Potential Yield, Yield Gap, WOFOST Model.*

**JEL Classification:** Q11, Q15, Q18

## اقتصاد کشاورزی و توسعه

سال ۳۲، شماره ۱۲۶، تابستان ۱۴۰۳

### مقاله پژوهشی

## بر آورد عملکرد پتانسیل و شکاف آن برای محصول گندم در دشت قزوین

وهب میرباقری<sup>۱</sup>، سعیده ملکی فراهانی<sup>۲</sup>، محمد حسین فتوکیان<sup>۳</sup>، جواد طایی سمیرمی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۰۸

### چکیده

گندم به‌عنوان مهم‌ترین محصول در سبد غذایی هر ایرانی، با تأمین بیش از چهل درصد انرژی روزانه مصرفی، یک محصول راهبردی است و در ترکیب کشت محصولات زراعی، بیش از سایر محصولات اهمیت دارد. با توجه به جایگاه این محصول در امنیت غذایی، مطالعه و بررسی اثرات عوامل مختلف بر میزان شکاف عملکرد این محصول و همچنین، برآورد تولید پتانسیل و شکاف عملکرد می‌تواند به توان برنامه‌ریزی مدیران و متولیان بخش کشاورزی بسیار کمک کند. در تحقیق حاضر، به‌منظور برآورد میزان تولید پتانسیل گندم در دشت قزوین از مدل مطالعات مواد غذایی جهانی (WOFOST)، آمار هواشناسی و اطلاعات ثبتی مزرعه استفاده و نقشه‌های مربوط به عملکرد واقعی و شکاف عملکرد با استفاده از نرم‌افزار ARCGIS تولید شد. واسنجی مدل با داده‌های شش سال صورت گرفت و پس از آن، مدل با داده‌های چهار سال صحت‌سنجی شد. برای ارزیابی مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری‌شده، از شاخص‌های آماری جذر میانگین مربعات خطا بر حسب درصد (RMSEn)، جذر میانگین مربعات خطا بر حسب کیلوگرم در هکتار (RMSE)، ضریب کارایی (E)، شاخص

۱- دانشجوی دکتری اگروتکنولوژی- اکولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران.

۲- نویسنده مسئول و دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران. (maleki@shahed.ac.ir)

۳- دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران.

۴- استادیار گروه علوم کشاورزی، دانشگاه فنی حرفه‌ای تهران، تهران، ایران.

DOI: 10.30490/aead.2024.365295.1588

سازگاری ( $D$ )، حداکثر خطا ( $ME$ )، و آزمون‌های  $T$ ،  $T$ -paired،  $F$  و استفاده شد، که نشان‌دهنده مطابقت نتایج شبیه‌سازی شده و مشاهدات مزرعه بود. متوسط عملکرد پتانسیل گندم آبی در منطقه مورد مطالعه (در سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۴۰۱) حدود ۸/۶ تن در هکتار و شکاف عملکرد موجود در محاسبات ۵۱ درصد محاسبه شد. در مجموع، مدل پژوهش حاضر دارای دقت و کارایی مناسب برای برآورد عملکرد پتانسیل گندم آبی در منطقه مورد مطالعه ارزیابی شد؛ بدین ترتیب، در بین عوامل شناخته‌شده اثرگذار بر میزان عملکرد، دو مؤلفه بارش سالانه و کیفیت خاک بررسی شدند که بر اساس نتایج آن، مؤلفه‌های یادشده دارای ارتباط معنی‌دار با پتانسیل عملکرد و شکاف تولید بودند. از این‌رو، در برنامه‌های اصلاحی آینده برای این محصول مهم و حیاتی، تمرکز بر معرفی ارقام با کارایی بالاتر مصرف آب و ضریب کودپذیری بالاتر می‌تواند راهگشای تأمین امنیت غذایی پایدار در کشور باشد.

**کلیدواژه‌ها:** گندم آبی، دشت قزوین، عملکرد پتانسیل، شکاف عملکرد، مدل مطالعات مواد غذایی جهانی (WOFOST).

طبقه‌بندی JEL : Q11, Q15, Q18

## مقدمه

یکی از تأثیرگذارترین سیاست‌ها در بخش کشاورزی که مولد امنیت غذایی هر کشور است، استفاده بهتر از منابع موجود در راستای افزایش تولید پایدار و کارایی تولید است (Monteith, 1981; Marletto et al., 2007). تولید محصولات زراعی و برآورد عملکرد در هر منطقه اقلیمی و در سال‌های مختلف، با توجه به تأثیر بر امنیت غذایی، اثرات معنی‌دار بر اقتصاد و همچنین، شرایط اجتماعی کشورهای مختلف دارد و اثراتی مشخص و مهم در مدیریت بخش کشاورزی به‌عنوان بخش مولد غذا خواهد داشت (Kassi et al., 2014; Hayes & Decker, 1996). شناسایی عوامل تأثیرگذار بر میزان تولید و تغییرات تولید و بررسی و مطالعه آنها، با توجه به ماهیت تولید محصولات کشاورزی، بسیار پرهزینه و وقت‌گیر است (Van Keulen & Wolf, 1986; Eitzinger et al., 2004). در حال حاضر، کار برآوردهای تولید و عملکرد با استفاده از فرآیند مدل‌سازی انجام می‌شود؛ این مدل‌ها، با تکیه بر ابزار برنامه‌نویسی و بر پایه مدل‌های ریاضی، فرآیندهای مربوط به رشد زایشی و رویشی گیاه را با هزینه و زمان کمتر ارزیابی می‌کنند (Wolfram, 1991; Overman & Scholtz, 2002). همچنین، از این مدل‌های شبیه‌سازی، با توجه به خصوصیات و خروجی‌هایی که در اختیار قرار می‌دهند، می‌توان برای بهتر کردن شرایط تولید استفاده کرد (Nasiri Mahallati, 2008). این مدل‌ها تأثیر منابع تولید مانند خاک و ویژگی‌های اقلیمی، خصوصیات گیاهی و شاخص‌های مدیریتی بر میزان عملکرد و شکاف محصول و مقدار آب مورد نیاز را مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهند

برآورد عملکرد پتانسیل و شکاف آن برای.....

جهانی<sup>۱</sup> یکی از مدل‌های کاربردی شبیه‌سازی رشد گیاه است که در طول چند دهه گذشته، در پژوهش‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته است (Boogaard et al., 1998; De Wit et al., 2019).

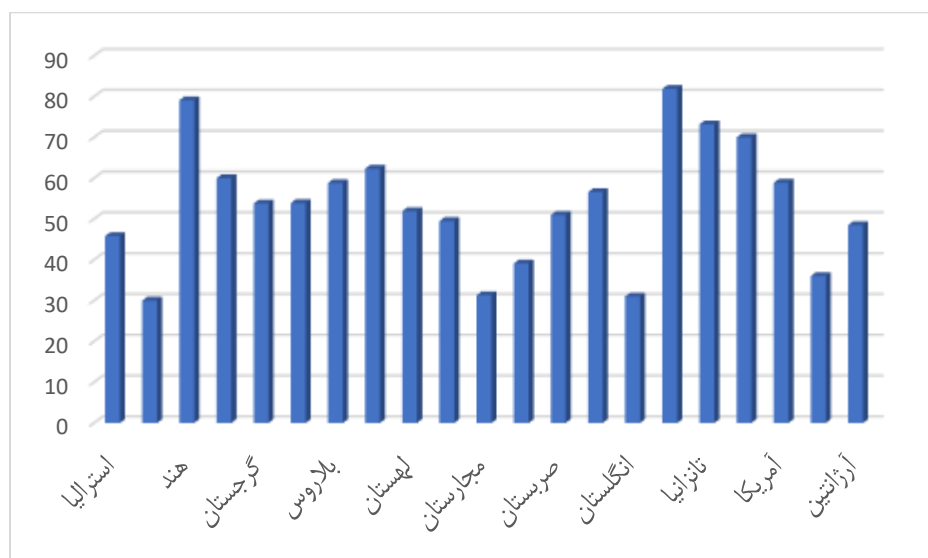
شکاف عملکرد<sup>۲</sup> به عوامل بسیار زیادی از قبیل بافت و ساختمان، شوری خاک، عوامل مرتبط با آب مانند محدودیت رطوبت، کیفیت آب و فناوری مورد استفاده و همچنین، عوامل کاهنده عملکرد (آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز) نسبت داده می‌شود (Aggarwal, 1994; Gharineh et al., 2012). استفاده از شبیه‌سازی رشد متداول‌ترین روش برای تعیین میزان شکاف عملکرد است. نصیری محلاتی و کوچکی (Nasiri Mahallati & Koocheki, 2009)، با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی، شکاف عملکرد گندم در خراسان را بررسی کردند. کامکار و همکاران (Kamkar et al., 2009) نیز با استفاده از همین مدل، مراحل رشد و نمو گیاه دارویی زیره سبز در خراسان را شبیه‌سازی کردند و به محاسبه عملکرد پتانسیل و شکاف عملکرد پرداختند. لاله و همکاران (Laleh et al., 2023) نشان دادند که شکاف عملکرد گندم در ورامین حدود ۳/۷ تن در هکتار است؛ همچنین، بر اساس نتایج مطالعه، اصلاح ژنتیکی گندم تأثیر به‌سزا در افزایش عملکرد دارد و با بهبود آن، می‌توان تا ۵۱ درصد میزان عملکرد پتانسیل را افزایش داد.

کونینگ و دِن داپین (Koning & de van Diepen, 1992) به مقایسه تولید پتانسیل و واقعی برخی محصولات زراعی در کشورهای اتحادیه اروپا و نیز برآورد شکاف عملکرد پرداختند. نتایج نشان داد که شکاف عملکرد در مورد گندم، به دلیل تنش‌های آبی، زهکشی نامناسب و نامتناسب بودن خاک، عددی در حدود ۴۵ تا ۶۵ درصد است. در مطالعه شائوژیو (Shaoxiu et al., 2016) که در سال ۲۰۱۶ در محدوده اتحادیه اروپا با استفاده از مدل مطالعات مواد غذایی جهانی (WOFOST) صورت گرفت، مشخص شد که در محدوده شرق اروپا، شکاف عملکرد عددی بیش از شش تن در هکتار بوده، اما در غرب اروپا، با توجه به انجام اقدامات اصلاحی در فرآیند تولید گندم، به دو تن در هکتار کاهش یافته است. بوگارد و همکاران (Boogaard, 2013) نیز در منطقه اروپا در سال ۲۰۱۳، با استفاده از مدل WOFOST میزان شکاف عملکرد در مناطق مختلف اروپا را بررسی کردند و به جز منطقه اسپانیا، میزان کارایی، دقت و حساسیت این مدل برای تخمین میزان شکاف عملکرد مناسب ارزیابی شد. ژانگ و لو (Zhang & Lu, 2024)، در مطالعه‌ای که با استفاده از مدل WOFOST

1. World FOod STudies (WOFOST)
2. Yield Gap (YG) or Gap of yield (Gy)

برای بررسی شکاف عملکرد ذرت انجام دادند، چنین گزارش کردند که این مدل دارای قابلیت مناسب برای برآورد عملکرد ذرت دانه‌ای است. ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2023)، در مطالعه‌ای دیگر در شمال چین، با استفاده از مدل WOFOST، ضمن تأیید این مدل برای برآورد شکاف عملکرد گندم، شکاف عملکرد این محصول در این منطقه را حدود ۵۱ درصد برآورد کردند. لاله و همکاران (Laleh et al., 2023) نشان دادند که در منطقه شمال ایران، میزان شکاف عملکرد گندم حدود ۴۲ درصد و عملکرد پتانسیل گندم ۹/۳ تن در هکتار است. بر اساس نتایج مطالعه سنپاتی و همکاران (Senapati et al., 2022) که در سال ۲۰۲۳ در سطح دنیا روی شکاف عملکرد گندم صورت گرفت، متوسط شکاف عملکرد گندم در دنیا ۵۱ درصد برآورد شد.

سیلوا و همکاران (Silva et al., 2021) در مزارع کوچک مقیاس کشور ایتالیایی با بررسی شکاف عملکرد گندم، دریافتند که بیش از پنجاه درصد از شکاف عملکرد از پایین بودن سطح فناوری استفاده شده در این مزارع تأثیر می‌پذیرد. قرینه و همکاران (Gharineh et al., 2012) نیز با به‌کارگیری مدل WOFOST، به منطقه‌بندی استان خوزستان بر اساس عملکرد پتانسیل گندم پرداختند و بدین نتیجه رسیدند که مدل استفاده شده با دقت مناسب عملکرد دانه در گندم را شبیه‌سازی می‌کند و در نهایت، بر اساس عملکرد پتانسیل، استان خوزستان را به سه منطقه تقسیم‌بندی کردند.



شکل ۱- درصد شکاف عملکرد در کشورهای مختلف ۲۰۲۰-۲۰۱۵

برآورد عملکرد پتانسیل و شکاف آن برای.....

تعیین و تخمین میزان شکاف عملکرد همواره یکی از چالش‌های مهم تولید بوده است که پژوهشگران با روش و مدل‌های مختلف کوشیده‌اند میزان و سطح آن را در نظام‌ها و الگوهای کشت مختلف ارزیابی کنند تا در راستای افزایش تولید، تصمیم‌سازی‌های بهینه صورت گیرد. دشت قزوین یکی از مناطق مهم تولید گندم در کشور است که سالانه به‌طور متوسط، بیش از ۲۵۰ هزار تن گندم تولید می‌کند. با توجه به اهمیت گندم در سبد غذایی در ایران (۴۸ درصد از کالری روزانه هر فرد با مصرف گندم و فرآورده‌های آن تأمین می‌شود)، کاهش شکاف عملکرد که نمایانگر افزایش بهره‌وری است، یکی از راهکارهای مهم برای تحقق امنیت غذایی است و تعیین شکاف عملکرد گندم به‌عنوان اطلاعات مهم مدیریتی می‌تواند در راستای بهبود شرایط تولید، به متولیان بخش کشاورزی کمک کند. در مطالعاتی که تاکنون برای محاسبه شکاف عملکرد صورت گرفته، صرفاً مقدار عددی محاسبه شده است، اما پژوهش حاضر، با توجه به ارزش اطلاعات مکان‌محور، به ارائه نتایج در قالب نقشه و در بستر سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) پرداخته است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

دشت قزوین از شمال به رشته‌کوه البرز، از غرب به کوه‌های چهارگر و از جنوب به کوه‌های رامند محدود شده و تمام اراضی کشاورزی و ۹۵ درصد از مساحت این دشت در استان قزوین واقع شده است و بخش شرقی دشت قزوین به جلگه تهران می‌رسد. این دشت یکی از مراکز تولیدکننده گندم پاییزه است که در آن، سالانه حدود ۲۵۰ هزار تن گندم تولید می‌شود و متوسط عملکرد گندم حدود ۳/۲ تن در هکتار برآورد می‌شود (MAJ, 2022). ایستگاه هواشناسی قزوین که یک ایستگاه سینوپتیک است، در بیست سال اخیر، متوسط دمای سالانه چهارده درجه سانتی‌گراد و میزان بارش ۲۳۱ میلی‌متر را به ثبت رسانده است. سایر شاخص‌ها در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- شاخص‌های اصلی هواشناسی ایستگاه هواشناسی قزوین

نام ایستگاه	متوسط دمای سالانه (درجه سانتی‌گراد)	متوسط حداقل دمای سالانه (درجه سانتی‌گراد)	متوسط حداکثر دمای سالانه (درجه سانتی‌گراد)	متوسط بارش (میلی‌متر)	متوسط رطوبت نسبی (درصد)
قزوین	۱۴/۸۳	۹/۶۳	۲۱/۱۲	۲۳۱/۶	۴۸/۵

مأخذ: سازمان هواشناسی کشور (IRIMO, 2022)

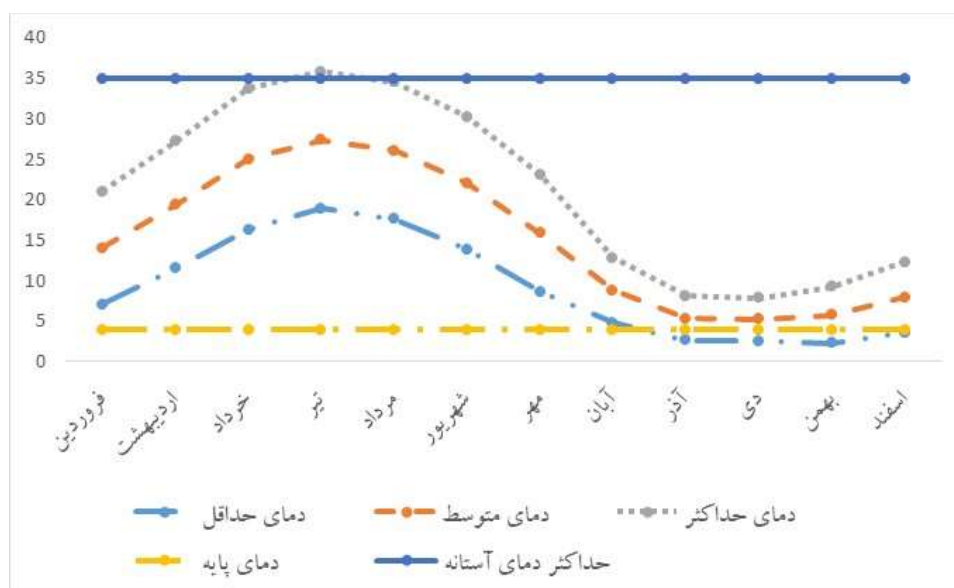
برای مطالعه طول دوره رشد گندم، از چارچوب ارائه شده توسط سازمان خواربار و کشاورزی (فائو) استفاده شد (FAO, 1996)؛ و با استفاده از آمار هواشناسی، الگوی دوره رشد گندم پاییزه در منطقه دشت قزوین برای دهساله منتهی به سال ۱۴۰۰ محاسبه و در شکل ۳ ارائه شده است. سقف دمای رشد گندم ۳۵ درجه سانتی‌گراد و حداقل دما یا صفر فیزیولوژیک آن چهار درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد (Porter & Gawith, 1999). بر اساس اطلاعات هواشناسی و با استناد به محدوده دمایی قابل تحمل این محصول راهبردی، به‌جز ماه‌های آذر، دی، تیر و بهمن، در صورت در اختیار قرار گرفتن منابع پایه تولید، گندم می‌تواند رشدی مناسب داشته باشد.



شکل ۲- موقعیت مکانی دشت قزوین

### داده‌های گیاهی و خاک

برای تهیه داده‌های گیاهی شامل میزان تولید ماده خشک، عملکرد در شرایط بهینه، مراحل فنولوژیک، از آمار و اطلاعات یک پروژه پژوهشی که در مزرعه نمونه سازمان جهاد کشاورزی استان قزوین واقع در دو کیلومتری جنوب شرقی ایستگاه سینوپتیک این استان انجام شده، استفاده شده است (MAJ, 2014). اطلاعات مربوط به عملکرد واقعی گندم از گزارش‌های ثبت‌شده در آمارنامه‌های وزارت جهاد کشاورزی استخراج شده است.



شکل ۳- الگوی دوره رشد گندم پاییزه در منطقه دشت قزوین

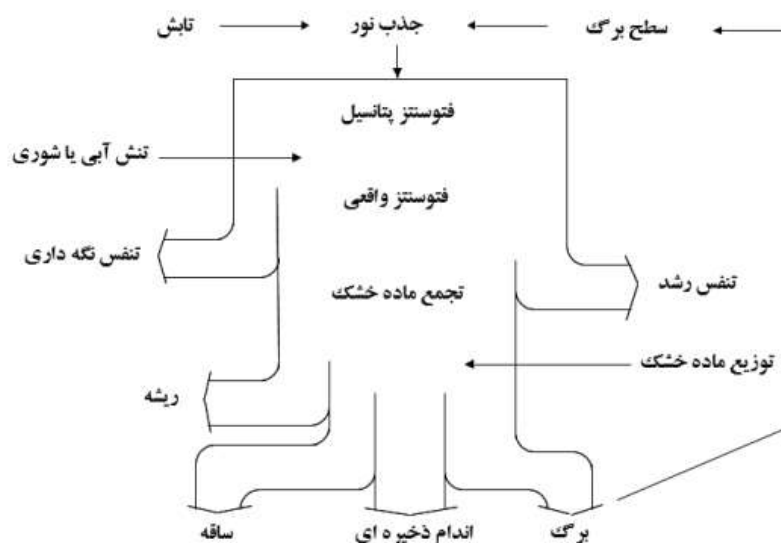
عملکرد دارای سه سطح است: عملکرد پتانسیل ژنتیکی که در فضای کنترل‌شده مانند گلخانه حاصل می‌شود؛ تولید پتانسیل مزرعه که در آن، تمام نهاده‌های مورد نیاز گیاه از قبیل آب، مواد غذایی و خاک به اندازه کافی در اختیار گیاه قرار می‌گیرد و همچنین، مدیریت مزرعه در حالت بهینه قرار دارد؛ و بالاترین میزان عملکرد در شرایط مزرعه حاصل می‌شود (van Ittersum & Rabbinge, 1997). تولید واقعی تولیدی است که در شرایط مدیریت متداول مزرعه به انجام رسد و در مناطق مختلف دشت، تولید انجام شود (Lu & Fan, 2013).

در تحقیق حاضر، شکاف عملکرد (Gy) از تفاضل تولید پتانسیل مزرعه و عملکرد واقعی گندم پاییزه محاسبه و واحد آن تن در هکتار در نظر گرفته شده ( $Gy=Yp-Ya$ ) و درصد تغییرات آن از رابطه  $Gy/Yp \times 100$  محاسبه شده است (Lu & Fan, 2013). هر دو پارامتر وزن تراز بوده و بر اساس اطلاعات ترازنامه غذایی ایران، هر واحد وزن ۸۷ درصد دارای ماده خشک است. برای محاسبه شکاف عملکرد، از تفاوت عملکرد پتانسیل مزرعه منتج از مدل WOFOST و برای محاسبه عملکرد واقعی، از آمار رسمی اعلام شده توسط وزارت جهاد کشاورزی استفاده شده است.

### مدل مطالعات مواد غذایی جهانی (WOFOST)

برای محاسبه عملکرد پتانسیل در منطقه مورد مطالعه، از مدل مطالعات مواد غذایی جهانی (WOFOST) استفاده شد. در این مدل، رشد گیاهان یکساله بر اساس اطلاعات روزانه در شرایط پتانسیل، محدودیت آبیاری و مواد غذایی (نیترژن) بر مبنای خصوصیات گیاهی، شاخص‌های روزانه هواشناسی و خصوصیات بافت خاک شبیه‌سازی می‌شود (Boogaard et al., 1998). این مدل رشد و میزان تجمع ماده خشک گیاه را بر اساس میزان سرعت روزانه فتوسنتز کانوپی مدل‌سازی و از مجموعه مدل‌های دویت است که از مدل SUCROS مشتق شده است. این شبیه‌ساز از شاخص‌ها و توابعی خاص برای بررسی و ارزیابی اثر درجه حرارت، تشعشع و تنش آبی بر سازوکارهای اصلی مؤثر بر رشد استفاده می‌کند. خروجی‌های این شبیه‌ساز شامل عملکرد نهایی، شاخص سطح برگ، میزان تجمع ماده خشک و سرعت رشد محصول در هر کدام از اندام‌ها و مراحل نمو با فاصله‌های یک‌روزه است. در این مدل، سرعت فرآیند فتوسنتز روزانه کانوپی بر اساس مقدار تشعشع خورشید و ارتباط بین فتوسنتز تک‌برگ و مقدار شدت نور پس از انتگرال‌گیری بر اساس شاخص سطح برگ (LAI) و مقدار طول روز محاسبه می‌شود. محاسبه میزان سرعت رشد برای ماده خشک بر مبنای سرعت فتوسنتز کانوپی و پس از کسر میزان تلفات تنفس نگهداری و رشد صورت می‌گیرد. ماده خشک تولیدی از طریق رابطه‌های بین اندام‌های متفاوت مثل برگ، ریشه و ساقه و اندام‌های ذخیره‌ای (دانه) تخصیص می‌یابد. ماده خشک تخصیصی به برگ گیاه مبنای محاسبه مقدار شاخص سطح برگ و توسعه کانوپی گیاه در طول دوره رشد است (De Wit et al., 2019).

برآورد عملکرد پتانسیل و شکاف آن برای.....



مأخذ: دویت و همکاران (De Wit et al., 2019)

#### شکل ۴- طرح کلی مدل WOFOST

کاربرد مدل WOFOST، گرچه در ظاهر نسبتاً ساده به نظر می‌رسد، دارای حساسیت‌ها و ظرافت‌هایی خاص است که مهم‌ترین آن آماده‌سازی اطلاعات ورودی به مدل است، که باید در مقیاس و واحدهایی معین و مشخص، آماده‌سازی شود. داده‌های اصلی هواشناسی ورودی این مدل شدت تشعشع، حداقل دما، حداکثر دما، سرعت باد، رطوبت نسبی و میزان بارش است که اطلاعات مربوط به شاخص‌های یادشده باید بر اساس واحدهای استاندارد (جدول ۳) مدل WOFOST تبدیل و برای محاسبه عملکرد پتانسیل در این مدل استفاده شود.

## جدول ۳- روش آماده‌سازی اطلاعات هواشناسی برای مدل WOFOST

	منبع	واحد
$\bar{H}$	میانگین تابش کل روزانه	
$\bar{H}_0$	تابش در خارج از جو	
$\frac{a}{352}$	ضریب آنگستروم	$\frac{\bar{H}}{\bar{H}_0} = a + b \left( \frac{\bar{n}}{\bar{N}} \right)$
$\frac{b}{372}$	ضریب آنگستروم	
$G_{sc} = 1373$	ثابت تشعشعی خراج از جو (وات بر مترمربع)	$\frac{\bar{H}}{H_0} = \frac{24 \times 360 \cdot G_{sc}}{\pi} \left( 1 + \dots \cos \frac{24 \cdot n}{365} \right) \times \left[ \cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{\pi \omega_s}{180} \sin \phi \sin \delta \right]$
$\phi$	عرض جغرافیایی (درجه)	
$\omega_s$	ساعت غروب آفتاب	$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta)$
$\delta$	زاویه میل خورشیدی (زادبان)	
$\bar{N}$	حداکثر طول روز (ساعت)	$\bar{N} = \frac{2}{15} \omega_s$
$n$	روز ژولینوسی	
PSW	میانگین رطوبت روزانه (کیلوپاسکال)	$PSW = \frac{\phi}{100} * \frac{\exp(16.8 * Tm)}{(Tm + 237.3)}$
$Tm$	متوسط دمای روزانه (درجه سانتی‌گراد)	
$\phi$	رطوبت نسبی روزانه (درصد)	

مأخذ: یافته‌های پژوهش

## ارزیابی مدل

برای ارزیابی اعتبار برآوردهای این مدل، از شاخص‌های جذر میانگین مربعات خطا بر حسب درصد (RMSEn)، جذر میانگین مربعات خطا بر حسب کیلوگرم در هکتار (RMSE)، ضریب کارایی (E)، شاخص سازگاری (D)، حداکثر خطا (ME)، و آزمون‌های T، Tpaired و F استفاده شد (Walpole et al., 1998; Willmott, 1984; Rinaldy et al., 2003; Singh et al., 2008).

برآورد عملکرد پتانسیل و شکاف آن برای.....

$$RMSE_n = \left( \sum_{i=1}^n (S_i - M_i)^r / n \right)^{-.a} / \bar{M}_{avr} \quad (۱)$$

$$RMSE = \left( \sum_{i=1}^n (S_i - M_i)^2 / n \right)^{p.5} \quad (۲)$$

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (M_i - S_i)}{\sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M})^2} \quad (۳)$$

$$D = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - M_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|S_i - \bar{M}| + |M - \bar{M}|)^2} \quad (۴)$$

$$ME = \text{Max} \frac{100}{\bar{M}} \cdot |S_i - M_i| \quad (۵)$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^n m_i - \sum_{i=1}^n S_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad (۶)$$

$$t = \frac{m - \mu}{s/\sqrt{n}} \quad (۷)$$

$$t = \frac{m}{s/\sqrt{n}} \quad (۸)$$

$$F_{\text{calculated}} = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad (۹)$$

که در روابط بالا،  $M_i$  و  $S_i$ ، به ترتیب، مقدار شبیه‌سازی و مشاهده‌شده عملکرد گندم در سال‌های مورد بررسی،  $n$  تعداد مشاهدات (سال‌ها)،  $M$  میانگین مقادیر  $M_i$  و  $\mu$  ارزش میانگین جامعه است. شاخص RMSE یا جذر میانگین مربعات خطا (رابطه اول)، موید میانگین انحراف مقادیر شبیه‌سازی‌شده از مقادیر اندازه‌گیری‌شده است و بر اساس درصد بیان می‌شود. چنانچه مقدار

عددی RMSEn کمتر از ده درصد باشد، شبیه‌سازی عالی است، بین ده تا بیست درصد خوب است، بین بیست تا سی درصد متوسط و بیش از سی درصد ضعیف است (Rinaldy et al., 2003). همچنین، می‌توان این شاخص را بر حسب کیلوگرم در هکتار محاسبه کرد (رابطه دوم). شاخص E (رابطه سوم) انحراف میزان عددی شبیه‌سازی شده از اندازه‌گیری شده نسبت به انحراف مقدار اندازه‌گیری شده از مقادیر میانگین است و مقدار آن در دامنه  $-\infty$  تا  $+\infty$  متغیر است. هرچه مقدار E به یک نزدیک‌تر باشد، مدل کارایی بیشتری خواهد داشت و مقادیر شبیه‌سازی شده قابل اطمینان‌ترند (Singh et al., 2008). شاخص D (رابطه چهارم) یک شاخص توصیفی بوده که مقدار آن در دامنه  $-\infty$  تا  $+\infty$  تغییر می‌کند. هرچه مقدار عددی آن به یک نزدیک‌تر باشد، مدل کارآتر و مقادیر شبیه‌سازی شده از اطمینان بیشتری برخوردار است (Willmott, 1984). شاخص ME (رابطه پنجم) بیانگر حداکثر میزان خطا بین مقدار شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده است و هرچه مقدار آن کمتر باشد، مدل کارایی مناسب‌تری دارد. شاخص CRM (رابطه ششم) بیانگر برآورد بیشتر از حد یا کمتر از حد مدل در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده یا مشاهدات است. در حالت ایده‌آل که مقدار شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده با هم برابر باشند، مقدار عددی هر کدام از شاخص‌های RMSE، ME و CRM برابر با صفر و مقادیر E و D برابر با یک خواهد بود (Walpole et al., 1998). آزمون‌های F و T هم بر اساس جدول درجه آزادی تفسیر و در سطوح مختلف آماری بررسی خواهند شد.

### نتایج ارزیابی مدل

واسنجی پارامترهای مدل: در پژوهش حاضر، پارامترهای مدل WOFOST بر اساس آزمایش تحقیقاتی انجام شده در سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۸۹ واسنجی (کالیبراسیون) شده و نتایج نهایی شاخص‌های ورودی و واسنجی مدل در جدول ۴ آمده است. همچنین، عملکرد شبیه‌سازی شده گندم در شرایط پتانسیل با استفاده از شاخص‌های آماری ارزیابی شده و نتایج آن در جدول ۵ ارائه شده است.

برآورد عملکرد پتانسیل و شکاف آن برای.....

**جدول ۴- نتایج واسنجی (کالیبراسیون) شاخص‌های مدل WOFOST برای برآورد میزان تولید پتانسیل گندم آبی در دشت قزوین**

عنوان شاخص	شرح	واحد	مقدار در نظر گرفته شده	محدوده مجاز
Tbase	دمای پایه یا صفر فیزیولوژیک	°C	۴	-۱۰-۱۰
Tsumem	درجه روز رشد از زمان کاشت تا جوانه‌زنی	°C•d -1	۶۶	۰-۱۷۰
TSUM1	درجه روز رشد از زمان جوانه‌زنی تا گل‌دهی	°C•d -1	۸۴۰	۱۵۰-۱۰۵۰
TSUM2	درجه روز رشد از زمان گل‌دهی تا رسیدگی فیزیولوژیک	°C•d -1	۱۱۵۰	۶۰۰-۱۵۵
CVL	CO <sub>2</sub>	kg•kg-1	۰/۷	۰/۶-۰/۷۶
CVO	CO <sub>2</sub>	kg•kg-1	۰/۸۳۹	۰/۴۵-۰/۸۵
CVR	CO <sub>2</sub>	kg•kg-1	۰/۶۹۴	۰/۶۵-۰/۷۶
CVS	CO <sub>2</sub>	kg•kg-1	۰/۶۸	۰/۶۳-۰/۷۶

مأخذ: یافته‌های پژوهش

**جدول ۵- شاخص‌های آماری محاسبه شده برای اطلاعات واسنجی و صحت‌سنجی مدل WOFOST**

شاخص	صحت‌سنجی	واسنجی
intercept	۱۳۰۹	۲۶۰۱
slop	۰/۷۶	۰/۵۵
Rsquare	۰/۹۲	۰/۸
F	۰/۶۲	۰/۴۵
tp	۰/۹۹	۰/۹۹
t	۰/۰۵	۰/۰۰۶
E	۰/۹۹	۰/۹۸
RMSE	۶۰۴	۸۵۶
RMSEn	۸	۱۲

مأخذ: یافته‌های پژوهش

بر اساس شاخص‌های آماری محاسبه شده میزان جذر میانگین مربعات خطا هشت درصد برآورد شد، که دقت مدل در مرحله واسنجی در محدوده عالی برآورد می‌شود؛ همچنین، با توجه به ضریب تبیین ۰/۹۲ بین مقادیر واقعی و شبیه‌سازی شده، کارایی این مدل برای برآورد عملکرد مناسب ارزیابی می‌شود.

با استناد به روش رینالدی و همکاران (Rinaldy et al., 2003)، اگر RMSEn محاسبه شده کمتر از ده باشد، قدرت برآورد مدل عالی در نظر گرفته می‌شود؛ اگر این شاخص در محدوده ده تا بیست باشد، این مدل در برآوردها حائز رتبه خوب خواهد بود؛ و اعداد بالاتر از بیست متوسط و بالاتر از سی ضعیف تلقی خواهند شد. شاخص E یا ضریب کارایی ۰/۹۸ تخمین زده شد، که حاکی از مناسب بودن کارایی این مدل برای تخمین عملکرد این محصول است. بررسی ضریب تبیین یا Rsquare نیز نشان از ارتباط معنی‌دار مقدار شبیه‌سازی شده با مقادیر واقعی دارد. بنابراین، مدل WOFOST دارای قابلیت لازم و کافی برای برآورد عملکرد پتانسیل برای گندم است.

### محاسبه میزان شکاف عملکرد دانه گندم آبی

پیش‌بینی‌های حاصل از مدل WOFOST که منتج به محاسبه عملکرد پتانسیل برای سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۴۰۱ گندم شده، در جدول ۶ آمده است.

جدول ۶- پیش‌بینی مدل WOFOST برای عملکرد گندم آبی در ایستگاه قزوین از سال ۱۳۹۲ تا ۱۴۰۱

سال	عملکرد پتانسیل پیش‌بینی مدل (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد واقعی (کیلوگرم در هکتار)
۱۳۹۲	۸۹۰۵	۲۹۰۳
۱۳۹۳	۷۷۲۰	۳۷۲۷
۱۳۹۴	۸۴۷۵	۳۸۱۶
۱۳۹۵	۸۶۴۵	۳۸۳۳
۱۳۹۶	۸۵۷۳	۳۷۷۴
۱۳۹۷	۹۱۲۴	۴۰۲۶
۱۳۹۸	۹۱۵۱	۴۵۱۶
۱۳۹۹	۹۴۱۵	۴۶۳۶
۱۴۰۰	۸۳۷۱	۴۱۱۵
۱۴۰۱	۸۰۸۶	۴۱۷۷
متوسط	۸۶۴۶	۳۹۵۲

مأخذ: یافته‌های پژوهش

بر اساس محاسبات انجام شده، میزان عملکرد پتانسیل گندم آبی در ده سال منتهی به سال ۱۴۰۱ بیش از ۸/۶ تن در هکتار است که به تناسب شرایط اقلیمی و مدیریتی، در سال‌های مختلف متفاوت است.

نتایج حاصل از تحقیق حاضر حاکی از آن است که عملکرد واقعی ده سال اخیر منتهی به سال ۱۴۰۱ در استان قزوین حدود ۳/۹ تن در هکتار بوده و متوسط عملکرد پتانسیل پیش‌بینی شده در این استان برابر با ۸/۶ تن در هکتار است. شایان یادآوری است که این شاخص توسط جناب و نظری (Jenab & Nazari, 2016) ۸/۷ تن در هکتار گزارش شده است. همچنین، در تحقیق حاضر، میزان شکاف عملکرد به‌طور متوسط در استان قزوین حدود ۴/۷ تن در هکتار پیش‌بینی شده است و نکاحی و سلطانی (Nekahi & Soltani, 2014) این شاخص را در محدوده جغرافیایی بندر گز ۳/۲ تن در هکتار پیش‌بینی کرده‌اند. بر اساس مطالعات لوبل و همکاران (Lobell et al., 2009) و فان باسل و همکاران (Van Bussel et al., 2015)، میزان شکاف عملکرد در سراسر جهان بین بیست تا هشتاد درصد در تغییر است که بر اساس اطلاعات به‌دست‌آمده در مطالعه حاضر، این عدد به ۵۴ درصد می‌رسد و نشان می‌دهد که از لحاظ حصول تولید مطلوب در این استان، وضعیت مناسب نیست، که منتج از عوامل ثابت مثل خاک و عوامل متغیر مثل اقلیم و مدیریت نهاده‌های تولید است. بر اساس بررسی‌های به‌عمل‌آمده در بخش‌های مختلف استان قزوین، میزان شکاف عملکرد به‌دلایل مختلف متفاوت است؛ از دلایل آن نیز می‌توان تأثیرپذیری از عوامل مدیریتی و یا منابع تولید را یادآور اشد که میزان اختلاف بین شرایط مطلوب و واقعی را تعیین می‌کند. شرایط مطلوب شرایطی بدون محدودیت آب و مواد غذایی و عوامل بیماری‌زا، آفات، علف‌های هرز و شوری است؛ با این همه، مقابله با تنش‌های اقلیمی به‌راحتی با مدیریت قابل کنترل نیست، شبیه‌سازی شرایط مطلوب با فرض وجود محدودیت‌های مزرعه‌ای انجام شده است و به معنی پتانسیل‌های ژنتیکی عملکرد گندم نیست.

در محدوده دشت قزوین، با توجه به متفاوت بودن شرایط مدیریتی و منابع پایه در دسترس، مانند میزان و کیفیت آب آبیاری، مدیریت مزرعه و خاک، میزان شکاف عملکرد متفاوت بوده و در برخی از مناطق، این اختلاف معنی‌دار است (Jenab & Nazari, 2016). همان‌گونه که در جدول ۷ مشاهده می‌شود، میزان شکاف عملکرد در شهرستان‌های مختلف استان قزوین متفاوت است، که چه‌بسا با تأثیرپذیری از عوامل مختلف باشد؛ اما به گفته اسمیت (Smith, 2005)، حاصل‌خیزی خاک و تناسب آن برای کشت و زرع و قابلیت آن برای تأمین شرایط مناسب تولید از مهم‌ترین ارکان تولید است.

در دهه‌های اخیر، با پیشرفت نرم‌افزارها و سخت‌افزارهای رایانه‌ای و سامانه اطلاعات جغرافیایی، پردازش و مدل‌سازی داده‌های مکانی افزایش یافته و امکان استفاده از اطلاعات مکان‌دار برای بررسی‌های دقیق‌تر را فراهم کرده است (Asadzadeh et al., 2012). نقشه عملکرد واقعی و

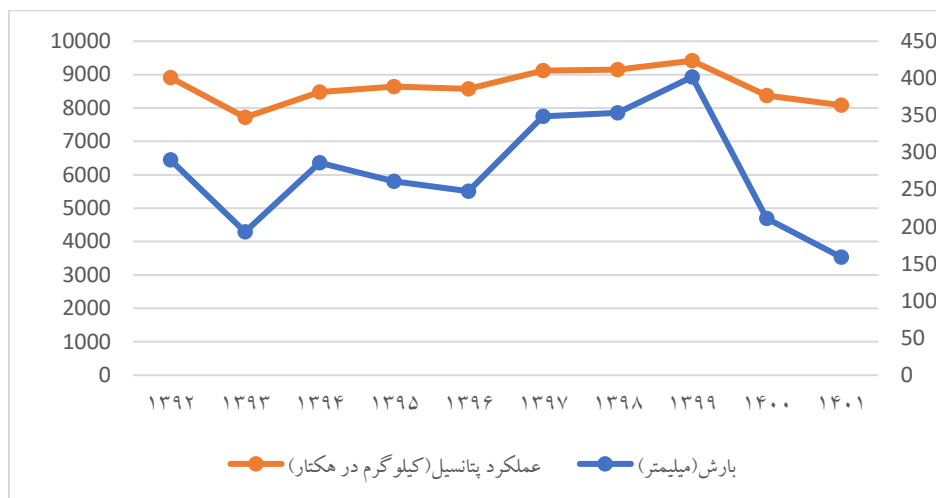
شکاف عملکرد گندم آبی در دشت قزوین با استفاده از لایه سطح زیر کشت گندم تولیدشده در وزارت جهاد کشاورزی با استفاده از نرم‌افزار ARCGIS و اطلاعات به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر تولید شد. آمار میزان عملکرد گندم آبی در بخش‌های مختلف دشت قزوین در سال ۱۴۰۱ اخذ و نقشه تولید واقعی عملکرد گندم تولید شد و با استفاده از پتانسیل عملکرد پیش‌بینی‌شده منتج از مدل WOFOST، میزان شکاف عملکرد و درصد آن محاسبه و نقشه آن تولید شد (شکل ۱۰). مقایسه نقشه‌های تولیدشده شکاف عملکرد در سال ۱۴۰۱ با استفاده از نرم‌افزار ARCGIS با نقشه خاک تولیدشده در وزارت جهاد کشاورزی نشان می‌دهد که ارتباط معنی‌دار و البته، معکوس بین نوع و تناسب خاک در دشت قزوین و شکاف عملکرد وجود دارد. بر اساس اطلاعات منتشرشده از سوی وزارت جهاد کشاورزی، نقشه خاک تولیدی دارای شش طبقه (کلاس) است که به ترتیب، هرچه شماره طبقه بالاتر می‌رود، میزان تناسب خاک برای کشت آبی کم می‌شود. بر اساس بررسی‌های به عمل آمده در بخش‌های مختلف این دشت، هرچه فراوانی طبقات یا همان کلاس‌های باکیفیت خاک افزایش می‌یابد، میزان شکاف تولید با کاهش نسبی همراه می‌شود (Hosseini, 2006).

جدول ۷- عملکرد واقعی و شکاف عملکرد گندم آبی در استان قزوین و شهرستان‌های واقع در دشت قزوین (واحد: کیلوگرم)

شرح	۱۳۹۲	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۴۰۰	۱۴۰۱
<b>آبیک</b>										
شکاف عملکرد	۴۵۹۳	۲۹۵۸	۳۶۱۴	۳۶۱۵	۳۵۸۸	۴۰۱۹	۳۶۷۹	۳۶۸۷	۴۰۳۸	۳۴۲۲
درصد شکاف عملکرد	۵۱/۶	۳۸/۳	۴۲/۶	۴۱/۸	۴۱/۹	۴۴	۴۰/۲	۳۹/۲	۴۸/۲	۴۲/۳
<b>البرز</b>										
شکاف عملکرد	۴۸۶۹	۱۷۵۹	۳۳۶۱	۲۵۴۵	۲۹۳۴	۳۲۹۶	۳۱۷۷	۳۷۵۶	۲۹۳۳	۳۲۶۶
درصد شکاف عملکرد	۵۴/۷	۲۲/۸	۳۹/۷	۲۹/۴	۳۴/۲	۳۶/۱	۳۴/۷	۳۹/۹	۳۵	۴۰/۴
<b>آوج</b>										
شکاف عملکرد	۵۴۱۸	۳۳۱۴	۴۸۲۴	۳۹۴۵	۴۶۰۵	۴۹۴۳	۳۹۸۲	۴۰۹۲	۲۸۲۵	۳۳۴۹
درصد شکاف عملکرد	۶۴/۱	۴۸	۴۸/۸	۴۵/۶	۴۸/۴	۴۹/۷	۳۸/۹	۴۰/۵	۴۴/۲	۳۹/۳
<b>بوئین‌زهرا</b>										
شکاف عملکرد	۵۷۱۱	۳۷۰۹	۴۱۳۵	۳۹۴۵	۴۱۴۷	۴۵۳۸	۳۵۵۶	۳۸۱۴	۳۶۹۸	۳۱۹۷
درصد شکاف عملکرد	۳۵/۹	۵۲	۵۱/۲	۵۴/۴	۵۱/۶	۵۰/۳	۶۱/۱	۵۹/۵	۵۵/۸	۶۰/۷
<b>تاکستان</b>										
شکاف عملکرد	۶۱۴۱	۳۳۷۶	۴۱۴۵	۳۸۷۵	۴۰۴۴	۴۴۴۳	۴۰۱۲	۳۹۷۰	۳۷۰۸	۳۶۳۵
درصد شکاف عملکرد	۶۹	۴۳/۷	۴۸/۹	۴۴/۸	۴۷/۲	۴۸/۷	۴۳/۸	۴۲/۲	۴۴/۴	۴۵
<b>قزوین</b>										
شکاف عملکرد	۵۶۶۱	۴۰۰۲	۴۵۹۴	۲۵۹۵	۳۸۸۹	۴۱۲۳	۳۴۷۹	۲۵۱۲	۲۸۲۱	۲۴۲۹
درصد شکاف عملکرد	۶۳/۶	۵۱/۸	۵۴/۲	۳۰	۴۵/۴	۴۵/۲	۳۸	۳۷/۳	۴۵/۳	۳۰
<b>استان</b>										
شکاف عملکرد	۶۰۰۲	۳۹۹۳	۴۶۵۹	۴۸۱۲	۴۷۹۹	۵۰۹۸	۴۶۳۵	۴۷۷۹	۴۲۵۶	۳۹۰۹
درصد شکاف عملکرد	۶۷/۴	۵۱/۷	۵۵	۵۵/۷	۵۶	۵۵/۹	۵۰/۷	۵۰/۸	۵۰/۸	۴۸/۳

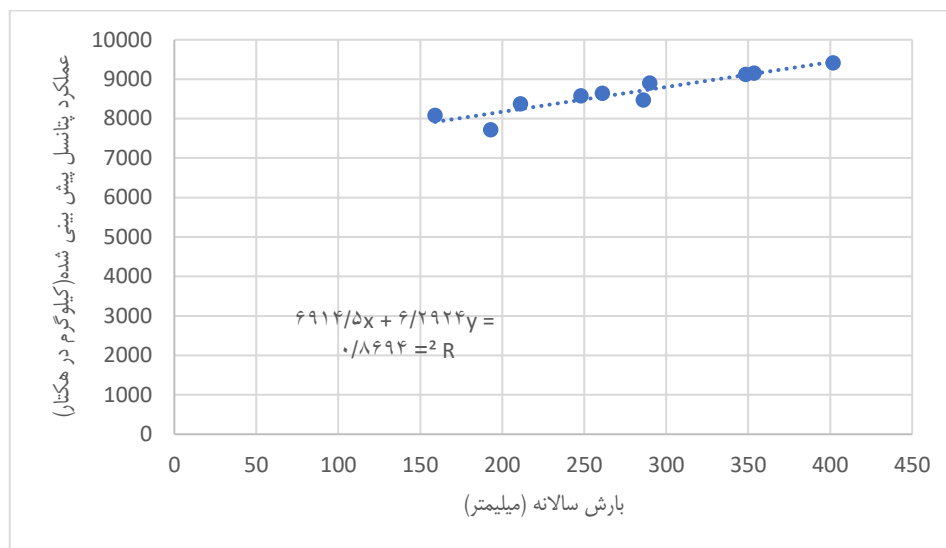
مأخذ: یافته‌های پژوهش

برآورد عملکرد پتانسیل و شکاف آن برای.....



شکل ۵- تغییرات میزان عملکرد پتانسیل پیش‌بینی‌شده و بارش در دشت قزوین

بررسی اطلاعات حاصل از پیش‌بینی مدل و آمار میزان بارش در ایستگاه قزوین نشان می‌دهد که روند میزان عملکرد پیش‌بینی‌شده تا حد معنی‌دار با میزان بارش سالانه در ایستگاه قزوین همخوانی دارد، بدین معنی که بر افزایش یا کاهش بارش میزان تولید پتانسیل تأثیر می‌گذارد، مؤید آنکه میزان آب آبیاری در دسترس مزارع گندم آبی در دشت قزوین با محدودیت مواجه است و نمی‌تواند نیاز آبی گندم را به‌طور کامل برآورده کند؛ از این‌رو، تغییرات بارش به‌عنوان یکی از منابع تأمین نیاز آبی گندم بر میزان تولید پتانسیل بسیار تأثیرگذار است (Pirttioja et al., 2015).



شکل ۶- رابطه خطی بین عملکرد پتانسیل پیش‌بینی شده با بارش سالانه در دشت قزوین

بر اساس برآوردهای صورت‌گرفته، رگرسیون خطی بین بارش سالانه و مقدار عملکرد پتانسیل با ضریب تبیین ۰/۸۵ نشان از معنی‌دار بودن و تأثیر این مؤلفه بر میزان عملکرد پتانسیل گندم در دشت قزوین دارد (شکل ۶).

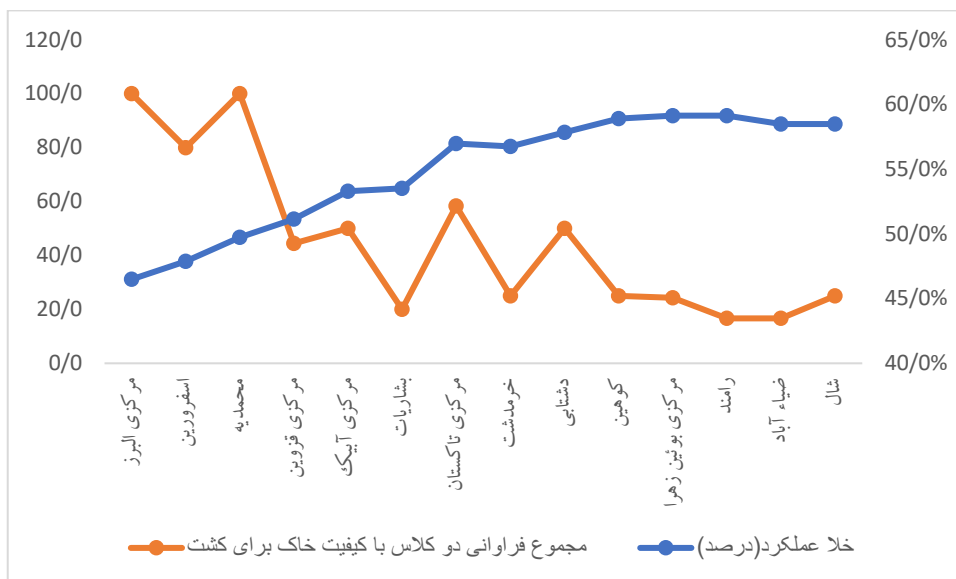
برآورد عملکرد پتانسیل و شکاف آن برای.....

**جدول ۸- شکاف عملکرد و فراوانی طبقات یا کلاس‌های مختلف تناسب خاک برای کشت آبی در دشت قزوین در محدوده بخش‌های مختلف دشت**

نام بخش	طبقه (کلاس) تناسب خاک برای کشت						شکاف عملکرد (درصد)
	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
مرکزی البرز	۰	۰	۰	۰	۲۰	۸۰	۴۶/۵
اسفرورین	۲۰	۰	۰	۰	۴۰	۴۰	۴۷/۹
محمدیه	۰	۰	۰	۰	۶۶/۷	۳۳/۳	۴۹/۷
مرکزی قزوین	۱۱/۱	۱۱/۱	۲۲/۲	۱۱/۱	۲۲/۲	۲۲/۲	۵۱/۱
مرکزی آبیگ	۱۶/۶	۰	۰	۳۳/۳	۳۳/۳	۱۶/۷	۵۳/۳
بشاریات	۳۳/۳	۱۳/۳	۰	۶/۷	۶/۷	۱۳/۳	۵۳/۵
مرکزی تاکستان	۰	۰	۰	۴۱/۷	۵۰	۸/۳	۵۷
خرمدشت	۰	۰	۱۶/۷	۵۸/۳	۱۶/۷	۸/۳	۵۶/۸
دشتابی	۱۲/۵	۲۵	۰	۱۲/۵	۵۰	۰	۵۷/۸
کوهین	۰	۰	۰	۷۵	۲۵	۰	۵۸/۹
مرکزی بوئین‌زهرا	۳۶/۴	۰	۹/۱	۲۷/۳	۲۴/۲	۰	۵۹/۱
رامند	۰	۱۶/۷	۰	۶۶/۷	۱۶/۷	۰	۵۹/۱
ضیاء‌آباد	۰	۰	۱۶/۷	۶۶/۷	۱۶/۶	۰	۵۸/۵
شال	۵۰	۰	۰	۲۵	۲۵	۰	۵۸/۵

مأخذ: یافته‌های پژوهش

همان‌گونه که در جدول ۸ ملاحظه می‌شود، در بیشتر موارد، با افزایش فراوانی طبقات یا کلاس‌های باکیفیت خاک، میزان شکاف عملکرد کاهش می‌یابد؛ به دیگر سخن، افزایش کیفیت خاک موجب نزدیک‌تر شدن تولید واقعی به تولید پتانسیل می‌شود. بر اساس این آمار، بخش البرز مرکزی دارای بیشترین فراوانی خاک باکیفیت و بخش شال دارای پایین‌ترین کیفیت خاک است (شکل‌های ۶، ۷ و ۸).

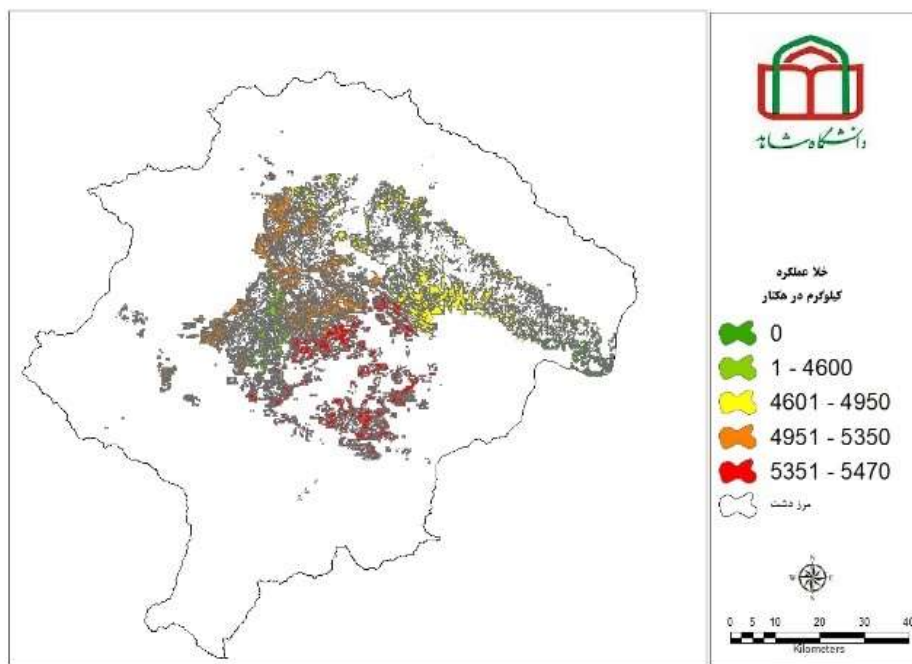


شکل ۷- شکاف عملکرد و مجموع فراوانی دو کلاس با کیفیت خاک برای کشت

همان گونه که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، در بیشتر موقعیت‌ها، میزان شکاف عملکرد دارای ارتباط مستقیم و معکوس با مجموع فراوانی دو کلاس با کیفیت خاک برای کشت آبی است. با توجه به رابطه رگرسیونی خطی بین درصد شکاف عملکرد و مجموع سه‌م طبقات یک و دو خاک (خاک‌های با کیفیت برای کشت آبی)، مشخص شد که تغییرات شکاف عملکرد دارای رابطه مستقیم و منفی با کیفیت خاک با ضریب تبیین ۰/۷۵ است.

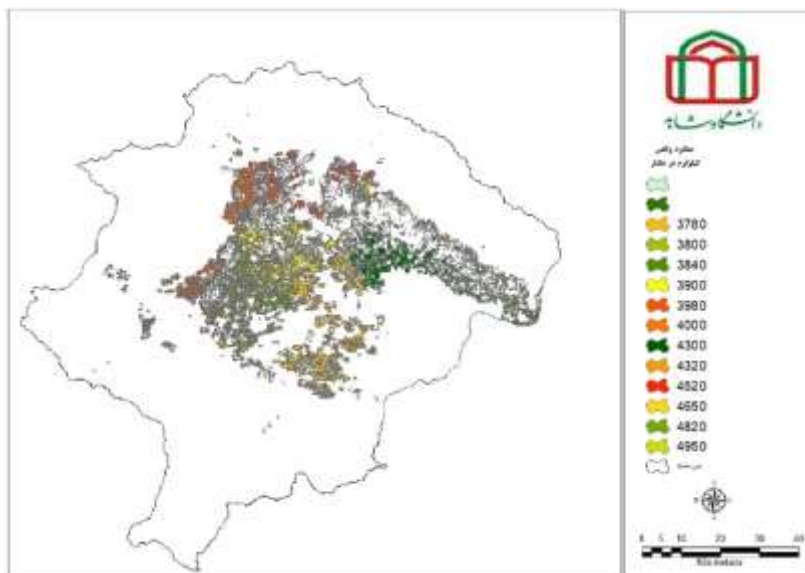


طبقات ۱ و ۲ خاک، این تأثیر معنی‌دار نشان از اهمیت کیفیت خاک و همچنین، اهمیت مدیریت تغذیه گندم آبی در منطقه دارد که با مدیریت نهاده‌هایی مانند کود شیمیایی و حیوانی، می‌توان بخشی از کیفیت پایین خاک در مناطق یادشده را مرتفع کرد.

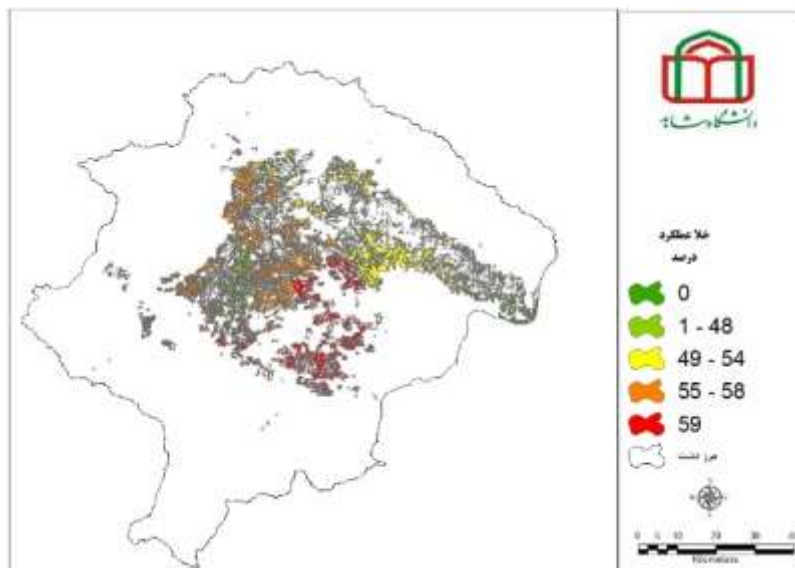


شکل ۹- تغییرات مکانی شکاف عملکرد گندم آبی در دشت قزوین

برآورد عملکرد پتانسیل و شکاف آن برای.....



شکل ۱۰- نقشه عملکرد واقعی گندم آبی در دشت قزوین



شکل ۱۱- تغییرات مکانی درصد شکاف عملکرد گندم آبی در دشت قزوین

## نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج تحقیق حاضر حاکی از شکاف بالای عملکرد در گندم آبی دشت قزوین است. در این منطقه، حدود پنجاه درصد از عملکرد پتانسیل گندم محقق نمی‌شود و از این‌رو، در هر هکتار، میزان عملکرد حدود ۳/۷ تن در هکتار کمتر از عملکرد در شرایط مطلوب است. با توجه به سطح زیر کشت این محصول در دشت قزوین، در هر سال، بیش از ۱۶۰ هزار تن شکاف تولید در این دشت وجود دارد. نتایج نشان داد که اولین عامل ایجاد شکاف عملکرد میزان بارش در منطقه مورد مطالعه است که دارای تأثیر روشن بر میزان عملکرد پتانسیل گندم آبی است، که نشان از محدودیت منابع آب در دسترس در منطقه مورد مطالعه دارد و می‌توان آن را یک نقطه هدف برای اصلاح ارقام با نیاز آبی کمتر در برنامه‌های اصلاحی آینده مد نظر قرار داد. دومین عامل تأثیر کیفیت خاک هم بر میزان شکاف عملکرد ارزیابی شد و برای جبران آن، باید از برنامه‌های مدیریت تغذیه‌ای گندم «به تناسب خاک زراعی» استفاده کرد. بالا بودن شکاف عملکرد هم یک نقطه ضعف و هم یک فرصت تلقی می‌شود، بالا بودن شکاف عملکرد در حال حاضر نمایانگر پایین بودن کارایی استفاده از نهاده‌هاست، اما این فرصت را در اختیار قرار می‌دهد که در آینده، می‌توان با بهره‌گیری از راهکارهای اصلاحی گندم و همچنین، افزایش کاربرد دانش فنی در خصوص افزایش بهره‌وری در مصرف آب در مزارع، میزان عملکرد گندم را به گونه‌ای چشمگیر افزایش داد. نتایج حاصل از تعیین تغییرات مکانی شکاف عملکرد گندم در دشت قزوین نشان داد که توجه به تناسب خاک برای کشت آبی عاملی تأثیرگذار است و باید مورد توجه قرار گیرد و می‌تواند به افزایش دقت مطالعات و شناخت عوامل تأثیرگذار بر کاهش عملکرد کمک کند و همچنین، می‌تواند به یک چارچوب مناسب برای نظام‌های تصمیم‌سازی مدیریتی دقیق در حوزه‌های جغرافیایی مشخص منجر شود. تعیین سهم دقیق هر کدام از عوامل اقلیمی و مدیریتی نیازمند انجام مطالعات دقیق در مزرعه و نیز تعیین و تفکیک اثر نهاده‌ها و عوامل اقلیمی است که از رهگذر آن، در مطالعات آینده، می‌توان به صورت کمی سهم هر کدام از عوامل را در شکاف عملکرد مشخص کرد.

## منابع

1. Aggarwal, P. K. (1994). Constraints in wheat productivity in India. In: . P. K. Aggarwal & N. Kalra (Eds) Simulating the effect of climatic factors, genotype and management on productivity of wheat in India, pp. 1-11. Agricultural Research Institute, New Delhi, India.

2. Asadzadeh, F., Akbarzadeh, A., Zolfaghari, A. A., Taghizadeh Mehrjerdi, R., Mehrabani, M., Rahimi Lake, H., & Sabeti, M. A. (2012). Study and comparison of some geostatistical methods for mapping cation exchange capacity in soils of northern Iran. *Annals of Faculty Engineering Hunedoara–International Journal of Engineering*, 1, 59-66. Available at <https://annals.fih.upt.ro/pdf-full/2012/ANNALS-2012-1-08.pdf>.
3. Binayak, P. M., Scott, W. T., Tian-Chyi, J. Y., Robert, S. T., Brian, R. H., & Russ, M. (2008). Independent review of simulation of net infiltration for present-day and potential future climates. Available at <https://www.osti.gov/servlets/purl/935765-1THYuV/>; doi 10.2172/935765.
4. Boogaard, H. L., vanDiepen, C. A., Rötter, R. P., Cabrera, J. M. C. A., & Van Laar, H. H. (1998). User's guide for the WOFOST 7.1 crop growth simulation model and WOFOST Control Center1.5. Technical Document 52, DLO Winand Staring Centre, Wageningen, The Netherlands. Calif., Addison-Wesley Publishing Company, USA.
5. Boogaard, H., Wolf, J., Supit, I., Niemeyer, S., & van Ittersum, M. (2013). A regional implementation of WOFOST for calculating yield gaps of autumn-sown wheat across the European Union. *Field Crops Research*, 143, 130-142.
6. De Wit, A., Boogaard, H., Fumagalli, D., Janssen, S., Knapen, R., van Kraalingen, D., ..., & van Diepen, K. (2019). 25 years of the WOFOST cropping systems model. *Agricultural systems*, 168, 154-167.
7. Dua, V. K., Govindakrishnan. P. M., & Singh, B. P. (2014). Calibration of WOFOST model for potato in India. *Potato Journal*, 41(2), 105-112.
8. Eitzinger, J., Trnka, M., Hosch, J., Zalud, Z., & Dubrovsky, M. (2004). Comparison of CERES, WOFOST and SWAP models in simulating soil water content during growing season under different soil conditions. *Journal of Ecological Modeling*, 171: 223-246.
9. FAO (1996). Guidelines: agroecological zoning. Food and Agriculture Organization (FAO). Soils Bultin 73, FAO, Rome.

10. Gharineh, M., Bakhshandeh, A., Andrzyan, B., & Favezizadeh, N. (2012). Agroclimatic zoning of Khuzestan province for potential yield wheat using WOFOST model. *Journal of Agroecology*, 4(3), 255-264. [In Persian]
11. Hammer, G. L., Carberry, P. S., & Muchow, R. C. (1993). Modeling genotype and environmental control of leaf area dynamics in Grain Sorghum I: whole plant level. *Field Crops Research*, 33, 293-310.
12. Hayes, M. J., & Decker, W. L. (1996). Using NOAA AVHRR data to estimate maize production in the United States Corn Belt. *International Journal of Remote Sensing*, 17, 3189-3200.
13. Hosseini, M. (2006). Soil. Agricultural Planning, Economics, Rural Development Research Institute (APERDRI), Tehran, Iran. [In Persian]
14. IRIMO (2022). The main meteorological indicators of Qazvin meteorological station. I.R. of Iran Meteorological Organization (IRIMO), Iran. Available at <https://www.irimo.ir>. [In Persian]
15. Jenab, M., & Nazari, B. (2018). Estimating the wheat yield and water productivity gap using GYGA protocol in Qazvin province. *Journal of Water Research in Agriculture*, 32(1), 41-54. DOI: 10.22092/jwra.2018.116599. [In Persian]
16. Kalra, N., Chander, S., Pathak, H., Aggarwal, P. K., Gupta, N. C., Sehgal, M., & Chakarborty, D. (2008). Impact of climate change on agriculture. *Outlook on Agriculture*, 36, 109-118.
17. Kamkar, B., Koocheki, A., Nasiri Mahallati, M., & Rezvani Moghaddam, P. (2007). Gap yield analysis of cumin in nine regions of North Khorasan, Razavi Khorasan and South Khorasan provinces using modelling approaches. *Iranian Field Crop Researches*, 5, 333-341 [In Persian]
18. Kassi, B. T., Van Ittersum, M. K., Hengsdijk, H., Asseng, S., Wolf, J., & Rötter, R. P. (2014). Climate-induced yield variability and yield gaps of maize (*Zea mays L.*) in the Central Rift Valley of Ethiopia. *Field Crops Research*, 160, 41-53.
19. Koning, G. H. J., & de van Diepen, C. A. (1992). Crop production potential of rural areas within the European Communities. IV: Potential, water limited

- and actual crop production. Working Document 68. Netherlands Scientific Council for Government Policy, The Hague.
20. Laleh, K. M., Ghorbani Javid, M., Alahdadi, I., Soltani, E., Soufizadeh, S., & González-Andújar, J. L. (2023). Wheat yield gap assessment in using the Comparative Performance Analysis (CPA). *Agronomy*, 13(3), 705. DOI: 10.3390/agronomy13030705.
  21. Lobell, D. B., Cassman, K. G., & Field, C. B. (2009). Crop yield gaps: their importance, magnitudes and causes. *Annual Review of Environment and Resources*, 34, 179-204.
  22. Lu, C., & Fan, L. (2013). Winter wheat yield potentials and yield gaps in the North China Plain. *Field Crops Research*, 143, 98-105.
  23. Luis, M. A., Felipe, D. R., & Pilar, N. R. (2009). Estimation of global solar radiation by means of sunshine duration. The Proceedings of ISES World Congress 2007 (Vol. I-Vol. V), Solar Energy and Human Settlement, pp. 2627-2631. Springer Berlin Heidelberg.
  24. MAJ (2022). Statistics of fall wheat production in Iran. Ministry of Agriculture-Jahad (MAJ), Iran. Available at <https://www.maj.ir>. [In Persian]
  25. MAJ (2014). Investigating the yield of Pishgam variety wheat under optimal conditions in Qazvin Plain. Ghazvin, Iran. [In Persian]
  26. Marletto, V., Ventura, F., Fontana, G., & Tomei, F. (2007). wheat growth simulation and yield prediction with seasonal forecasts and numerical model. *Agriculture and Forest Meteorology*, 147(1), 71-79.
  27. Nasiri Mahallati, M. (2008). Modeling potential crop growth process. Mashhad University, pp. 280. [In Persian]
  28. Nasiri Mahallati, M., & Koocheki, A. (2009). Agroecological zoning of wheat in Khorasan provinces: Estimating yield potential and yield gap. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 7(2), 695-709. Available at [https://jcesc.um.ac.ir/article\\_39710\\_8dd294619a8f56fdce4854febdf3ae2e.pdf?lang=en](https://jcesc.um.ac.ir/article_39710_8dd294619a8f56fdce4854febdf3ae2e.pdf?lang=en). [In Persian]

29. Nekahi, M., & Soltani, A. (2014). Yield gap of crop and weed management in wheat: a case study of Golestan province, Bandar Gaz. *Crop Production*, 7(2), 135-156. [In Persian]
30. Overman, A. R., & Scholtz, R. V. III (2002). Mathematical models of crop growth and yield. University of Florida, Gainesville, Florida, USA, Marcel Dekker.
31. Paltineanu, C. M. I. F., Mihailescu, I. F., Torica, V., & Albu, A. N. (2002). Correlation between sunshine duration and global solar radiation in south-eastern Romania. *International Agrophysics*, 16(2).
32. Pashiardis, S., Pelengaris, A., & Kalogirou, S. A. (2023). Geographical distribution of global radiation and sunshine duration over the island of Cyprus. *Applied Sciences*, 13(9), 5422.
33. Pirttioja, N., Carter, T. R., Fronzek, S., Bindi, M., Hoffmann, H., Palosuo, T., ..., & Rötter, R. P. (2015). Temperature and precipitation effects on wheat yield across a European transect: a crop model ensemble analysis using impact response surfaces. *Climate Research*, 65, 87-105.
34. Porter, J. R., & Gawith, M. (1999). Temperatures and the growth and development of wheat: a review. *European Journal of Agronomy*, 10(1), 23-36.
35. Rinaldy, M., Losavio, N., & G. Flagella, Z. (2003). Evaluation of OILCROP-SUN model for sunflower in southern Italy. *Agricultural System*, 78, 17-30.
36. Senapati, N., Semenov, M. A., Halford, N. G., Hawkesford, M. J., Asseng, S., Cooper, M., ..., & Webber, H. (2022). Global wheat production could benefit from closing the genetic yield gap. *Nature Food*, 3(7), 532-541. DOI: 10.1038/s43016-022-00540-9.
37. Shahabifar, J. (2018). Study of soil fertility of wheat farms in Qazvin Plain: some extension guidelines. *Land Managment*, 8(1), 27-46. [In Persian]
38. Shaoxiu, M. S., Churkina, G., Gessler, A., Wieland, R., & Bellocchi, G. (2016). Yield gap of winter wheat in Europe and sensitivity of potential yield to climate factors. *Climate Research*, 67(3), 179-190. DOI: 10.3354/cr01367.

39. Silva, J. V., Reidsma, P., Baudron, F., Jaleta, M., Tesfaye, K., & van Ittersum, M. K. (2021). Wheat yield gaps across smallholder farming systems in Ethiopia. *Agronomy for Sustainable Development*, 41, 1-16.
40. Singh, A. K., Tripathy, R., & Chopra, U. K. (2008). Evaluation of CERES-Wheat and CropSyst models for water-nitrogen interactions in wheat crop. *Agricultural Water Management*, 95, 776-786.
41. Smith, P. (2005). An overview of the permanence of soil organic carbon stocks: influence of 1429 direct human-induced, indirect and natural effects. *European Journal of Soil Science*, 56, 673-680.
42. Suehrcke, H., Bowden, R. S., & Hollands, K. G. T. (2013). Relationship between sunshine duration and solar radiation. *Solar Energy*, 92, 160-171.
43. Van Bussel, L. G., Grassini, P., Van Wart, J., Wolf, J., Claessens, L., Yang, H., Boogaard, H., de Groot, H., Saito, K., Cassman, K. G., & van Ittersum, M. K., (2015). From field to atlas: upscaling of location-specific yield gap estimates. *Field Crops Research*, 177, 98-108.
44. van Ittersum, M. K., & Rabbinge, R. (1997). Concepts in production ecology for the analysis and quantification of agricultural input-output combinations. *Field Crops Research*. 52, 197-208.
45. Van Keulen, H., & Wolf, J. (Eds) (1986). Modelling of agricultural production: weather, soils and crops. PUDOC, Wageningen, The Netherlands.
46. Walpole, R. E., Myers, R. M., & Myers, S. L. (1998). Probability and Statistics for Engineers and Scientists. (6th ed) Prentice Hall International, New Jersey.
47. Willmott C. J. (1982). Some comments on the evaluation of model performance. *American Meteorology Society*, 63, 1309-1313.
48. Wolfram, S. (1991). Mathematica: a system for doing mathematics by computer (2<sup>nd</sup> ed.). Addison Wesley Longman Publishing Co. Redwood City, CA, USA.
49. Zhang, Z., & Lu, C. (2024). Assessing changes in potential yields and yield gaps of summer maize in the North China Plain. *Food and Energy Security*, 13(1), e489.

50. Zhang, Z., Lu, C., & Guan, X. (2023). Spatial distributions of yield gaps and production increase potentials of spring wheat and highland barley in the Qinghai-Tibet plateau. *Land*, 12(8), 1555. DOI: 10.3390/land12081555.