

Simulation of Irrigated Wheat (*Triticum aestivum* L. Pishtaz cultivar) Yield using DSSAT Model and AgMERRA Data in Khorasan Razavi Province

S. Kamali¹, N. Ghahreman^{1*}, M. Bannayan Aval²

1- Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

2- Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

(*- Corresponding author's Email: nghahreman@ut.ac.ir)

Received: 06 August 2024

Revised: 20 October 2024

Accepted: 23 October 2024

Available Online: 12 April 2025

How to cite this article:

Kamali, S., Ghahreman, N., & Bannayan Aval, M. (2025). Simulation of irrigated Wheat (*Triticum aestivum* L. Pishtaz cultivar) yield using DSSAT model and AgMERRA data in Khorasan Razavi province. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 23(3), 257-270. (In Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22067/jcsc.2024.89213.1344>

Introduction

Ensuring food security has significant importance to countries with arid and semiarid climates and inadequate water for irrigation, like Iran which is quite vulnerable to climate change consequences. Strategic decision-making is crucial for effective production of agricultural crops especially cereals. Wheat is a strategic crop for achieving food security in Iran which is cultivated both rain-fed and irrigated. Crop models are mathematical expressions of the plant growth and development under different environmental and management conditions. These models' performance and accuracy rely on high-quality and long-term input data especially observed or generated climatic databases. The aim of this study is to simulate the yield of irrigated Pishtaz cultivar wheat in seven cities of Razavi Khorasan province using DSSAT crop model and AgMERRA reanalysis data.

Materials and Methods

In this study, required daily weather data of seven stations located across Khorasan Razavi province namely Mashhad, Neishabour, Gonabad, Torbet-Haidaryeh, Torbet-Jam, Sabzevar, and Kashmer for the period of 1980-2010 were collected and used. The observed daily data included rainfall, maximum and minimum temperatures, wind speed, and sunshine hours. Corresponding period AgMERRA reanalysis data were also retrieved from the database to be used as an alternative input. AgMERRA is a global gridded daily weather dataset that was originally generated using NASA's MERRA model (the National Aeronautics and Space Administration, Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications). The AgMERRA global gridded climate dataset (0.25×0.25) has a horizontal resolution of approximately 25 km. It provides daily, high-resolution, and continuous meteorological datasets for the period 1980-2010. It is proven to be useful for agricultural and meteorological studies. Annual irrigated wheat yield data, soil information (including texture, depth, nitrogen content, and moisture), and management data i.e. variety, planting date, planting depth, and row spacing were obtained from agricultural stations across the province. The Crop Simulation Model (CERES-wheat module) of the DSSAT version 4.6 was used to simulate irrigated wheat yield. DSSAT (Decision Support System for



©2025 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

<https://doi.org/10.22067/jcsc.2024.89213.1344>

Agrotechnology Transfer) is a package of several dynamic simulation models for over 42 crops that has been tested and applied for more than 30 years in more than 174 countries with acceptable results. The reported genetic coefficients for selected wheat variety from previous studies in the region were used. The statistical indices, including the coefficient of determination (R^2), root mean square error (RMSE) and normalized root mean square error (NRMSE) were used for comparisons and evaluation of the model performance for both runs using observed and reanalysis weather data.

Results and Discussion

The comparison between observed and reanalysis AgMERRA climate data in all seven study stations revealed a good agreement with correlation coefficient ranging from 0.67 to 0.92 and highest correlation was observed in air temperature time series. Besides, the error indices range for AgMERRA dataset determined as MAE from 3.87 to 4.11 and RMSE from 4.93 to 7.76. The model was run for simulation of Pishtaz variety yield, which has already been calibrated and evaluated in Khorasan Razavi province, using observed and AgMERRA climatic data. According to NRMSE, RMSE, and R^2 statistical indices application of observed climatic data for simulation of the selected wheat yield is more accurate with R^2 between 0.63-0.72 in study stations compared to AgMERRA data application with R^2 ranging from 0.50 to 0.67.

Conclusion

According to statistical metrics, the use of observed data comparing to AgMERRA reanalysis provided better estimations of irrigated wheat in all study stations. Although the AgMERRA may also be used as a suitable alternate data with acceptable accuracy. Therefore, the climate datasets can be recommended as an input of crop models in regions with limited or non-reliable climate data. Further studies using another climate datasets and other crops is required for more scrutiny.

Acknowledgment

Authors would like to acknowledge the Seed and Plant Improvement Institute, Iran Ministry of Agriculture, and also Iran Meteorological Organization for their assistance and providing required data.

Keywords: Crop models, Error Index, Reanalysis data, Yield estimation

شبیه‌سازی عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) آبی رقم پیش‌تاز با استفاده از داده‌های AgMERRA و مدل DSSAT در استان خراسان رضوی

سعیده کمالی^۱، نوذر قهرمان^{۱*}، محمد بنیان اول^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۰۲

چکیده

هدف از این مطالعه، شبیه‌سازی عملکرد گندم آبی (رقم پیش‌تاز) در هفت شهرستان استان خراسان رضوی با استفاده از داده‌های باز تحلیل AgMERRA و مدل گیاهی DSSAT است. بدین منظور از داده‌های آماری هفت ایستگاه هواشناسی شامل مشهد، کاشمر، نیشابور، گناباد، تربت‌جام، تربت‌حیدریه و سبزوار و داده‌های عملکرد واقعی دریافتی از وزارت جهاد کشاورزی برای شهرستان‌های مذکور در طی دوره آماری ۱۳۶۸-۱۳۸۸ استفاده شد. همچنین داده‌های باز تحلیل AgMERRA در همین دوره برای هفت ایستگاه مورد مطالعه دریافت شد و شبیه‌سازی عملکرد گندم رقم پیش‌تاز توسط مدل DSSAT انجام گردید. نتایج بررسی کیفیت داده‌های باز تحلیل AgMERRA نشان داد که همبستگی و توافق خوبی بین داده‌های مشاهداتی و داده‌های AgMERRA در هفت ایستگاه مطالعاتی وجود دارد (ضریب همبستگی از ۰/۶۷ تا ۰/۹۸) به طوری که بیشترین همبستگی مربوط به داده‌های دما می‌باشد. همچنین در ایستگاه‌های مطالعاتی، شاخص‌های خطای این مجموعه داده دارای مقادیر MAE از ۳/۸۷ تا ۴/۱۱، RMSE از ۴/۹۳ تا ۷/۷۶ هستند. بررسی نتایج شاخص‌های آماری RMSE، NRMSE و R^2 حاصل از مقایسه عملکرد شبیه‌سازی شده توسط مدل DSSAT با استفاده از داده‌های AgMERRA و داده‌های مشاهداتی با عملکرد واقعی نشان داد که عملکرد شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های مشاهداتی و داده‌های AgMERRA روند تغییراتی مشابه داده‌های عملکرد واقعی دارند و به خوبی توانستند تخمین مناسبی از عملکرد گندم بزنند. همچنین دو مجموعه داده دارای مقادیر خطای کمی (NRMSE داده‌های AgMERRA از ۹/۲۱ تا ۱۱/۸۹ و NRMSE داده‌های مشاهداتی از ۶/۵۳ تا ۱۰/۱۲) بودند. لذا کاربرد مدل با استفاده از این پایگاه داده‌های اقلیمی در شرایط کمبود داده‌های مشاهداتی معتبر قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: تخمین عملکرد، داده‌های بازتحلیل، شاخص خطا، مدل‌های گیاهی

مقدمه

(Arun & Ghimire, 2019). گندم یکی از مهم‌ترین تولیدات زراعی جهان است و در بین غلات از نظر سطح زیرکشت و تولید سالانه، مقام اول را دارد (Aslani, Davari, Mahmoodi, Hosseinpanahi & Khaleghpanah, 2021). تغییرات آب‌وهوایی می‌تواند اثرات شدیدی بر منابع غذایی ایجاد کند، بنابراین یکی از چالش‌های اصلی کشاورزی مدرن برای تأمین امنیت آینده، توسعه رهیافت‌هایی برای مقابله با تأثیرات تغییرات آب‌وهوایی و اقلیمی است (Eyshi Rezaei & Lashkari, 2019; Raymundo et al., 2018). مدل‌سازی روشی است که جهت اتخاذ پیش‌بینی سیستم‌های کشت و تصمیم‌های راه‌گشا در مورد عملکرد زراعی گیاهان مورد استفاده قرار می‌گیرد. اتخاذ تصمیم‌های درست و راهبردی در تولید محصولات کشاورزی و برنامه‌ریزی برای تأمین نیاز غذایی جمعیت روبه‌رشد نیازمند پیش‌بینی و مدل‌سازی عملکرد زراعی گیاهان است. مدل‌های

در شرایط کنونی، تأمین امنیت غذایی و حفظ آن به‌ویژه با توجه به تقاضای روزافزون و رشد چشمگیر جمعیت از یک سو و بهره‌برداری شدید و ناصحیح از منابع و ذخایر محدود و تجدیدنپذیر و نیز بروز چالش‌هایی چون تغییر اقلیم از سوی دیگر، اهمیت بسیار بالایی دارد. پیش‌بینی شده است که در سال ۲۰۵۰، جمعیت جهانی به ۹/۷ میلیارد نفر برسد. در این شرایط، کاهش خسارات وارده و حفظ سطح تولید مواد غذایی، به‌اندازه افزایش تولید و بهره‌وری اهمیت دارد

۱- گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
۲- گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
(* نویسنده مسئول: nghahreman@ut.ac.ir)

پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که مجموعه داده AgMERRA قدرت خوبی در تخمین داده‌های گم‌شده حداکثر و حداقل دمای روزانه دشت مشهد دارد. همچنین داده‌های آب‌وهوایی، زیربنای طیف گسترده‌ای از برنامه‌ها و مطالعات کاربردی در علوم کشاورزی است. یعقوبی و همکاران (Yaghoubi, Bannayan Aval & Asadi, 2018) در مطالعه‌ای با هدف ارزیابی داده‌های AgMERRA در شبیه‌سازی نیاز آبی و عملکرد گندم در استان خراسان رضوی از داده‌های روزانه ایستگاه‌های سینوپتیک تربت‌جام، تربت‌حیدریه، سبزوار، سرخس، قوچان، کاشمر، گناباد، نیشابور و مشهد استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که می‌توان از داده‌های AgMERRA جهت برآورد میانگین بلندمدت نیاز آبی و عملکرد گندم در منطقه مورد مطالعه استفاده نمود. با این وجود این مجموعه داده جهت شبیه‌سازی دقیق نیاز آبی و عملکرد در یک سال خاص زیاد قابل اعتماد نیست. جهان و همکاران (Jahan, Farhadi, Bannayan Aval, Fallah & Yaghoubi, 2023) به منظور تعیین عوامل محیطی و مدیریتی بر عملکرد گندم آبی در نواحی مختلف استان خراسان شمالی، روند تغییرات عملکرد در بازه زمانی ۱۹۸۰-۲۰۱۷ را با استفاده از مجموعه داده‌های شبکه‌بندی‌شده AgMERRA و مدل DSSAT مورد بررسی قرار دادند. طبق نتایج آن‌ها، ۶۳ درصد از تغییرات عملکرد گندم آبی توسط عوامل محیطی (دما و بارندگی) و ۳۷ درصد آن توسط عوامل مدیریتی توضیح داده می‌شوند. به‌طور کلی، نتایج آن‌ها نشان داد که با به کار بستن شیوه‌های مدیریتی مؤثر، به‌ویژه انتخاب تاریخ کاشت مناسب می‌توان در جهت بهبود عملکرد گندم اقدام نمود. لشکری و همکاران (Lashkari et al., 2016) اعتبارسنجی کیفیت مجموعه داده‌های پایگاه AgMERRA را در دو ایستگاه گلمکان انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که در مورد پارامتر بارش نیاز هست که ایستگاه‌های بیشتری مطالعه شود تا بتوان در مورد اعتبار پایگاه داده AgMERRA به نتیجه قابل اعتمادی دست یافت. در مطالعه دیگری جهت تعیین همبستگی بین داده‌های پایگاه AgMERRA و ایستگاه‌های هواشناسی حوضه آبخیز کشف رود در دوره ۱۹۸۷-۲۰۱۰، شاخص‌های مختلف خشکسالی با استفاده از این دو مجموعه داده محاسبه شد. نتایج آن‌ها نشان داد که شاخص‌های خشکسالی به‌دست‌آمده از داده‌های AgMERRA نسبت به ایستگاه‌های زمینی همبستگی بیشتری دارند (Salehnia et al., 2017). امکان استفاده از پایگاه AgMERRA از طریق مقایسه آن‌ها با داده‌های دیده‌بانی با محاسبه شاخص‌های نکویی برآزش در سه ایستگاه قندهار، کابل و هرات در کشور افغانستان طی دوره ۱۹۸۷-۲۰۱۰ بررسی و تأیید شد (Razavi, Nassiri Mahallati, Koocheki & Beheshti, 2018). امکان‌سنجی استفاده از داده‌های پایگاه‌های هواشناسی شبکه‌بندی‌شده CRU، AgMERRA، AgCFSR و CRU-GPCC در برآورد عملکرد و نیاز آبی گیاه گندم (*Triticum aestivum* L.) بررسی و

زراعی، در واقع بیان ریاضی مراحل و فرآیندهای رشد گیاه هستند که امکان شبیه‌سازی پاسخ رشد، نمو و تولید عملکرد را تحت تأثیر عوامل محیطی و مدیریتی فراهم می‌آورند، و از این جهت مورد توجه هستند (Dahmardeh, Shahriari, Pahlavan Rad, Shabani & Ghoebani, 2021). در واقع، مدل‌ها با استفاده از داده‌های اقلیمی، خاک، ژنتیکی و مدیریت زراعی، رشد، نمو و عملکرد گیاهان زراعی را پیش‌بینی می‌کنند. از سوی دیگر، مدل‌های شبیه‌سازی عملکرد، نیازمند داده‌های باکیفیت روزانه هواشناسی در بازه زمانی مورد مطالعه می‌باشند. به‌طور تقریبی، همه شاخص‌های اقلیمی کشاورزی که براساس دو متغیر دما و بارش محاسبه می‌شوند و متأثر از تغییرات اقلیمی آینده هستند، شرایط رشدونمو گیاهان زراعی را تحت تأثیر قرار خواهند داد (Wart Van et al., 2015). بنابراین در سال‌های اخیر، استفاده از داده‌های آب‌وهوایی باز تحلیل^۱ و شبکه‌بندی‌شده به‌عنوان داده‌های شبه‌مشاهداتی، به‌ویژه برای مطالعات اقلیمی، پیش‌بینی عددی وضع هوا، و در زمینه کشاورزی مورد توجه قرار گرفته‌اند. این مجموعه داده نتیجه تحلیل مجدد داده‌های ماهواره‌ها CMORPH، MERRA و PERSIANN و داده‌های دیدبانی ۲۳۲۴ ایستگاه سینوپتیک واقع در مناطق مهم کشاورزی جهان است. قبل از به‌کارگیری محصولات باز تحلیل در مطالعات، ارزیابی عملکرد آن‌ها در هر منطقه ضروری است (Folberth, Gaiser, Abbaspour, Schulin, & Yang, 2012; Folberth, Gaiser, Abbaspour & Schulin, 2013; Javanshiri, Asadi, Oskouei, Flamarzi, & Abasi, 2023). با این حال باید توجه داشت که در تولید داده‌های آب‌وهوایی بلندمدت با پوشش جهانی، منابع خطا می‌تواند باعث برآوردهای کمتر یا بیشتر عملکرد محصول و تغییرات آن در طول زمان شود (Wart Van et al., 2015). لذا با وجود کارایی زیاد مجموعه داده‌های آب‌وهوایی شبکه‌بندی‌شده، به‌منظور آگاهی از دقت آن‌ها باید قبل از استفاده در مناطق مختلف مورد ارزیابی قرار بگیرند. یکی از این مجموعه داده، داده‌های AgMERRA^۲ می‌باشند.

پژوهشگران مختلفی به بررسی کیفیت داده‌های باز تحلیل پایگاه‌های داده نظیر مرکز ملی پیش‌بینی محیطی/ مرکز ملی تحقیقات جوئی (NCAR/NCEP)، CRU، ECMWF در مناطق مختلف و برای متغیرهای مختلف اقلیمی پرداخته‌اند. لشکری و همکاران (Lashkari et al., 2016) به بررسی امکان‌سنجی استفاده از پایگاه داده AgMERRA برای تکمیل داده‌های ناقص و گم‌شده موجود در ایستگاه‌های سینوپتیک گلمکان و مشهد

1- Reanalysis data

2- Agro-Meteorological Earth Observations from Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications

داده‌های اقلیمی غیرمشاهداتی در خراسان رضوی، هدف از این مطالعه، بررسی کیفیت داده‌های باز تحلیل AgMERRA به‌عنوان ورودی مدل DSSAT جهت شبیه‌سازی عملکرد گندم آبی در استان خراسان رضوی می‌باشد.

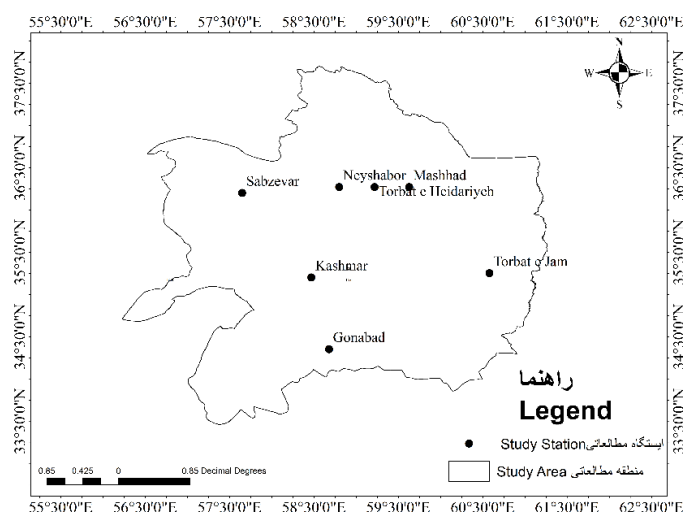
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان خراسان رضوی با مساحت حدود ۱۱۶۴۸۵ کیلومترمربع بین مدار ۵۶ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۱۶ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۳ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۴۲ دقیقه عرض جغرافیایی در شمال شرق ایران قرار دارد (شکل ۱). کشاورزی در این منطقه گسترده با بیش از شش میلیون جمعیت، نقش مهمی در اقتصاد منطقه دارد. خراسان رضوی دارای تنوع بالای آب‌وهوایی است (Bannayan, Sanjani, Alizadeh, Lotfabadi & Mohammadian, 2010). این استان هفت درصد کل مساحت ایران را در برمی‌گیرد. ۴۹/۲ درصد سطح استان را مناطق کوهستانی و ۵۰/۸ درصد آن را دشت‌ها تشکیل می‌دهند. این استان دارای ۲۸ شهرستان، ۷۳ شهر و ۷۰ بخش است. پهنه‌بندی اقلیمی استان خراسان رضوی براساس شاخص دومارتن نشان می‌دهد که حدود ۷۰ درصد از مساحت استان در گستره آب‌وهوایی خشک بیابانی سرد و نیمه‌خشک بیابانی قرار گرفته است. حدود ۲۰ درصد از مساحت استان دارای آب‌وهوای خشک بیابانی معتدل می‌باشد. طبقات آب‌وهوایی فراخشک سرد، فراخشک معتدل و نیمه‌خشک معتدل کمتر از ۱۰ درصد از مساحت استان را به خود اختصاص داده‌اند (Zandi, 2016).

نتایج با مقادیر برآوردشده داده‌های ایستگاهی قزوین مقایسه شد و نشان داد که در برآورد نیاز آبی پایگاه GPCC و در عملکرد گندم پایگاه AgMERRA بیشترین همبستگی را با داده‌های ایستگاهی داشتند (Bahroloum, Ramezani Etedali, Azizian & Ababaei, 2020). اعتبار و امکان استفاده از داده‌های شبکه‌بندی‌شده AgMERRA در مطالعات کشاورزی-اقلیمی در استان خراسان شمالی ارزیابی و تأیید شد (Farhadi, Jahan, & Bannayan Aval, 2021). در تخمین ردپای آب ذرت در دشت قزوین، داده‌های دو پایگاه AgMERRA و GPCC صحت‌سنجی شده و نتایج حاکی از اعتبار هر دو پایگاه هستند (Ramezani Etedali, Gorgin & Kakvand, 2022). روند تغییرات شاخص‌های حدی بارش در حوضه آبخیز بختگان با استفاده از داده‌های ایستگاهی و AgMERRA بررسی و اعتبار داده‌های این پایگاه در مطالعات حدی بارش در این حوضه تأیید شد (Jowkar, Panahi, Sadatinejad, & Shakiba, 2021).

با توجه به اهمیت گندم به‌عنوان یک محصول استراتژیک در امنیت غذایی، پیش‌بینی دقیق عملکرد آن امری مهم جهت برنامه‌ریزی و اتخاذ سیاست‌های مناسب در جهت مدیریت تولید آن محسوب می‌شود. از طرفی دیگر، با توجه به بررسی سابقه تحقیق پیش‌بینی عملکرد محصولات گیاهی با استفاده از مدل‌های گیاهی، نیازمند داده‌های ورودی باکیفیت و طولانی‌مدت است، بنابراین استفاده از پایگاه داده‌های مختلف اقلیمی به‌عنوان داده‌های شبه‌مشاهداتی در مطالعات اقلیمی-زراعی اهمیت دارد. با توجه به محدودیت مطالعات پیشین جهت پیش‌بینی عملکرد گندم آبی با استفاده از مدل DSSAT و امکان‌سنجی کاربست این مدل با



شکل ۱- پراکنش ایستگاه‌های مطالعاتی در محدوده استان خراسان رضوی

Figure 1- The distribution of study stations in Khorasan Razavi province

داده‌ها و ایستگاه‌های مورد مطالعه

در این مطالعه از آمار روزانه هفت ایستگاه هواشناسی مشهد، نیشابور، گناباد، تربت حیدریه، تربت جام، سبزوار و کاشمر استفاده شد که داده‌های مورد استفاده در این مطالعه در مقیاس روزانه طی دوره آماری ۱۳۶۸-۱۳۸۸ شامل داده‌های باز تحلیل آب‌وهوایی AgMERRA با قدرت تفکیک $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ ، داده‌های مشاهداتی شامل داده‌های بارش ۲۴ ساعته، دمای بیشینه و دمای کمینه روزانه،

سرعت باد، ساعات آفتابی، داده‌های عملکرد سالانه گندم آبی، اطلاعات خاک شامل بافت خاک، ساختمان خاک، عمق نفوذ، میزان نیتروژن خاک، درصد رس، سیلت، شن، رطوبت خاک و اطلاعات مدیریت زراعی شامل رقم، تاریخ کاشت، عمق کاشت و فاصله ردیف‌ها می‌باشند (جدول ۱). لازم به ذکر است که برای تبدیل داده‌های ساعات آفتابی به تابش خورشید از رابطه آنگستروم پرسکات استفاده شد.

جدول ۱- اطلاعات مربوط به داده‌های مورد استفاده در تحقیق به همراه منبع دریافت آن‌ها
Table 1- Information used in the research along with the source of its receipt

شماره Number	داده مورد استفاده Data used	پارامترهای جمع‌آوری شده Parameters collected	منبع دریافت داده Source of data
1	داده‌های باز تحلیل آب‌وهوایی AgMERRA reanalysis data	داده‌های بارش ۲۴ ساعته، دمای بیشینه و دمای کمینه روزانه، سرعت باد، تابش خورشید Precipitation data, daily maximum and minimum temperatures, wind speed, solar radiation	http://data.giss.nasa.gov/impacts/agmipcf/AgMERRA
2	داده‌های مشاهداتی Observational data	داده‌های بارش ۲۴ ساعته، دمای بیشینه و دمای کمینه روزانه، سرعت باد، ساعات آفتابی Precipitation data, daily maximum and minimum temperatures, wind speed, sunshine hours	سازمان هواشناسی کشور (www.irimo.ir) Iranian Meteorological Organization (www.irimo.ir)
3	عملکرد سالانه گندم آبی Annual yield of irrigated wheat		وزارت جهاد کشاورزی (https://maj.ir/) Ministry of Agricultural Jihad (https://maj.ir/)
4	اطلاعات خاک Soil information	بافت خاک، ساختمان خاک، عمق نفوذ، میزان نیتروژن خاک، درصد رس، سیلت، شن، رطوبت خاک Soil texture, soil structure, penetration depth, soil nitrogen content, percentage of clay, silt, sand, soil moisture	نمونه‌های جمع‌آوری شده توسط مراکز تحقیقات جهاد کشاورزی و مطالعات قبلی Samples collected by Jihad Keshavarzi Research Centers and previous studies
5	اطلاعات مدیریت زراعی Crop management information	رقم، تاریخ کاشت، عمق کاشت، فاصله ردیف‌ها Cultivar, planting date, planting depth, row spacing	مؤسسه اصلاح و نهال بذر کرج به آدرس (http://spii.ir/) وزارت جهاد کشاورزی کشور به آدرس (https://maj.ir/) Seed and Plant Improvement Institute (http://spii.ir/) Ministry of Agricultural Jihad (https://maj.ir/)

مدل گیاهی مورد مطالعه

مدل DSSAT^۱ (سیستم پشتیبانی تصمیم برای انتقال فناوری کشاورزی)، در سال ۱۹۸۹ توسط یک شبکه بین‌المللی از دانشمندان^۲، به‌منظور تسهیل استفاده از مدل‌های زراعی توسعه یافت و به‌صورت موفقیت‌آمیزی در سراسر جهان و برای شرایط و مکان‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. مدل DSSAT به اطلاعات هواشناسی، خاک، مدیریت زراعی و رقم زراعی به‌عنوان ورودی جهت

شبیه‌سازی نیاز دارد. این مدل با دریافت ورودی‌ها، محاسبات را از زمان کاشت تا رسیدگی انجام داده و مراحل فنولوژی، تجمع ماده خشک، شاخص سطح برگ، رشد ریشه، ساقه، برگ و دانه گیاه و همچنین توازن رطوبت و نیتروژن خاک، میزان مصرف آب و نیتروژن گیاه و تأثیر تنش‌های آب و نیتروژن را بر رشدونمو شبیه‌سازی می‌کند. ارقام مختلف گیاهان از نظر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و ریخت‌شناختی با یکدیگر تفاوت دارند که این اختلاف در رشدونمو گیاهان تأثیر می‌گذارد و باید به‌نوعی در مدل‌های شبیه‌سازی در نظر گرفته شود. این مشخصات توسط هفت پارامتر به‌نام ضرایب ژنتیک شامل تأثیر بهاره‌سازی (PIV) و فتوپریود (PID) بر نمو، مدت زمان پرشدن دانه (P5)، فیلوکورن (PHINT) و پارامترهای مربوط به رشد

- 1- Decision Support System for Agrotechnology Transfer
- 2- International Benchmark Sites Network for Agro Technology Transfer

شده‌اند استفاده گردید (Fallah, Nezami, Khazaie, & Nassiri, 2020). همچنین در ادامه، اطلاعات کلی مربوط به رقم پیشتاز (جدول ۳) و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در ایستگاه‌های مطالعاتی (جدول ۴) که برای اجرا و ارزیابی مدل در شهرستان‌های مورد نظر استفاده گردید، ارائه شده است.

دانه که شامل تعداد دانه در هر واحد وزن تاج‌پوشش در گرده‌افشانی برحسب تعداد در گرم در مترمربع (G1)، سرعت بالقوه رشد دانه برحسب میلی‌گرم در روز (G2) و وزن خشک ساقه در شرایط مطلوب رشد برحسب گرم (G3) است. لازم به ذکر است که در این مطالعه از ضرایب ژنتیکی گندم آبی رقم پیشتاز (جدول ۲) که کالیبره و ارزیابی

جدول ۲- ضرایب ژنتیکی گندم آبی رقم پیشتاز در استان خراسان رضوی

Table 2- Genetic coefficients of Pishtaz irrigated wheat in Khorasan Razavi province

مدل	فایل	پارامتر	رقم پیشتاز
Model	File	Parameter	Pishtaz variety
CERES-Wheat	رقم Cultivar	PIV	0
		PID	116
		P5	870
		G1	19
		G2	39
		G3	3.8
		PHINT	83
		P1	280
		P2	200
	اکوتیپ Ecotype	P3	135
		P4	240
		LARS ¹	2
		LAFV ²	0.05
		SLAS ³	350
		LSPHS ⁴	5.3
		LSPHE ⁵	6.5
		TIL#S ⁶	5.5
		TIPHE ⁷	2
		TIFAC ⁸	0.5
TDFAC ⁹	20		

جدول ۳- اطلاعات کلی مربوط به رقم پیشتاز

Table 3- General information related to Pishtaz Cultivar

رقم Cultivar	تاریخ کاشت Planting date	زمان برداشت Harvest time	طول دوره رشد Length of growing period (day)	مقدار آب مصرفی در هر دور آبیاری Amount of water used per irrigation period (m ³ ha ⁻¹)	کود نیتروژن Nitrogen fertilizer (kg ha ⁻¹)	کود فسفر Phosphorus fertilizer (kg ha ⁻¹)	کود پتاس Potash fertilizer (kg ha ⁻¹)	دور آبیاری Irrigation period (day)
پشتاز Pishtaz	اواسط آبان تا اوایل آذر Leading Mid-November to early December Late June to early July	اواخر خرداد تا اوایل تیر Late June to early July	210-220	512-837	130	90	0-10	8

- 1- Area of standard reproductive phase leaf
- 2- Increase in potential area of leaves, vegetative phase (fr leaf⁻¹)
- 3- Specific leaf area, standard (cm² g⁻¹)
- 4- Final leaf senescence starts (GrowthStage)
- 5- Final leaf senescence ends (GrowthStage)
- 6- Tiller production starts (leaf #)
- 7- Tillering phase end stage (GrowthStage)
- 8- Tiller initiation (rate) factor (fr of phyllochron based)
- 9- Tiller death factor (%/st.day when tiller wt 2xstandard wt)

جدول ۴- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در ایستگاه‌های مطالعاتی
Table 4- Physical and chemical characteristics of soil in Study Stations

ایستگاه Station	نیترژن Nitrogen (%)	فسفر Phosphorus (ppm)	پتاسیم Potassium (ppm)	اسیدیته Acidity	شوری Salinity (dS m ⁻¹)	کربن الی Organic Carbon (%)	نقطه ظرفیت زراعی Field Capacity (%)	نقطه پژمردگی دائم Permanent Wilting Point (%)	بافت خاک Soil Texture	شن Sand	سیلت Silt	رسی Clay
تربت جام Torbat E Jam	0.03	8.80	180.00	7.87	9.80	0.47	31.77	14.01	لومی رسی Clay loam	27.28	38.00	34.72
تربت حیدریه Torbat E Heidariyeh	0.05	9.00	210	7.80	7.80	0.58	20.01	9.34	لومی Loam	44.34	44.34	21.66
کاشمر Kashmar	0.03	7.40	225	7.90	7.60	0.17	18.23	8.28	لومی Loam	47.33	36.50	16.16
مشهد Mashhad	0.04	7.80	205	7.70	9.00	0.16	24.03	10.65	لومی Loam	41.33	33.34	25.33
نیشابور Neyshabor	0.05	7.60	187	7.61	4.50	0.57	22.01	0.12	لومی Loam	43.6	36.00	20.4
گناباد Gonabad	0.07	7.30	200	7.31	7.31	0.63	25.03	9.80	لومی Loam	44.2	37.26	18.42
سبزوار Sabzevar	0.04	7.80	185	7.80	7.80	0.72	19.80	9.10	لومی Loam	43.21	40.22	20.4

مثبت بی‌نهایت تغییر می‌کند. هرچه میزان خطای مقادیر شبیه‌سازی شده کمتر باشد، مقدار این شاخص به صفر نزدیک‌تر و دقت مدل بیش‌تر است. NRMSE نرمال شده RMSE است (رابطه ۳). اگر درصد این معیار بین صفر تا ۱۰ باشد، شبیه‌سازی عالی، بین ۱۰ تا ۲۰ متوسط، بین ۲۰ تا ۳۰ قابل قبول و بیشتر از ۳۰ ضعیف خواهد بود (lotfi et al., 2021).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2} \quad (2)$$

$$NRMSE = \frac{RMSE}{\bar{O}_i} \times 100 \quad (3)$$

که در آن، O_i : مقادیر مشاهده شده و S_i : مقادیر شبیه‌سازی شده و \bar{O}_i : مقدار متوسط مقادیر مشاهده شده است. مقدار خطای به دست آمده از سنج‌های ۲ و ۳ به واحد متغیر مورد اندازه‌گیری بیان می‌شود. سنج RMSE اطلاعاتی را درباره کارایی کوتاه‌مدت مدل از طریق مقایسه جمله به جمله مقادیر شبیه‌سازی شده و واقعی می‌دهد. هرچه مقدار RMSE کمتر باشد، عملکرد مدل بهتر است (Badescu, 2008).

نتایج و بحث

بررسی عملکرد ثبت شده گندم آبی در استان خراسان

سنج‌های ارزیابی داده‌ها

مهم‌ترین مرحله در سنجش کارایی مدل، اعتبارسنجی نتایج آن مدل نسبت به داده‌های مشاهداتی مستقلی است که در مرحله واسنجی استفاده نشده‌اند (Lotfi, Kamali, Meshkatee & Varshavian, 2021). در این مطالعه، از شاخص‌های آماری ضریب تبیین R^2 ، جذر میانگین مربعات خطا $(RMSE)$ ، جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده $(NRMSE)$ ، مورد استفاده قرار گرفتند. ضریب تبیین (R^2) قدرت توضیح‌دهندگی مدل را نشان می‌دهد. مقدار R^2 بین صفر تا ۱۰۰ تغییر می‌کند. مقدار ۱۰۰، نشان‌دهنده همبستگی کامل بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده است. در به‌کارگیری مدل‌ها برای پیش‌بینی عملکرد گفته شده است که مقدار R^2 باید بیش‌تر از ۶۰ درصد باشد (Ozili, 2023; Moriasi et al., 2007).

$$R^2 = \left(\frac{n(\sum O_i S_i) - (\sum O_i)(\sum S_i)}{\sqrt{[n \sum O_i^2 - (\sum O_i)^2][n \sum S_i^2 - (\sum S_i)^2]}} \right)^2 \times 100 \quad (1)$$

که در آن، O_i : مقادیر مشاهده شده و S_i : مقادیر شبیه‌سازی شده است. جذر میانگین مربعات خطا $(\sqrt{2})$ اختلاف نسبی بین مشاهدات و داده‌های شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد. مقدار این شاخص از صفر تا

1- Coefficient of determination

2- Root Mean Square Error

3- Normalized Root Mean Square Error

مطالعه از این مجموعه داده به‌عنوان ورودی مدل گیاهی DSSAT جهت شبیه‌سازی عملکرد گندم آبی رقم پیش‌تاز در هفت شهرستان استان خراسان رضوی استفاده گردید. در ادامه، نتایج ضریب تعیین R^2 و دو سنج RMSE و NRMSE داده‌های مشاهداتی و داده‌های AGMERRA با عملکرد واقعی در جدول ۵ ارائه شده است.

مطابق جدول ۵ همان‌طور که مشاهده می‌شود، سنج NRMSE بین عملکرد محاسباتی با استفاده از داده‌های مشاهداتی و داده‌های واقعی تغییراتی بین ۶/۵۳ تا ۱۰/۱۲ داشت که کمترین مقدار آن مربوط به ایستگاه تربت‌حیدریه و بیشترین مقدار آن مربوط به کاشمر بود. سنج RMSE داده‌های مشاهداتی در مقابل عملکرد واقعی، تغییراتی بین ۳۲۱ تا ۸۰۴ داشتند که بیشترین مقادیر آن مربوط به ایستگاه کاشمر و کمترین مقدار آن مربوط به نیشابور بود. ضریب R^2 تغییراتی بین ۰/۶۳ تا ۰/۷۲ داشت که بیشترین R^2 مربوط به مشهد بود.

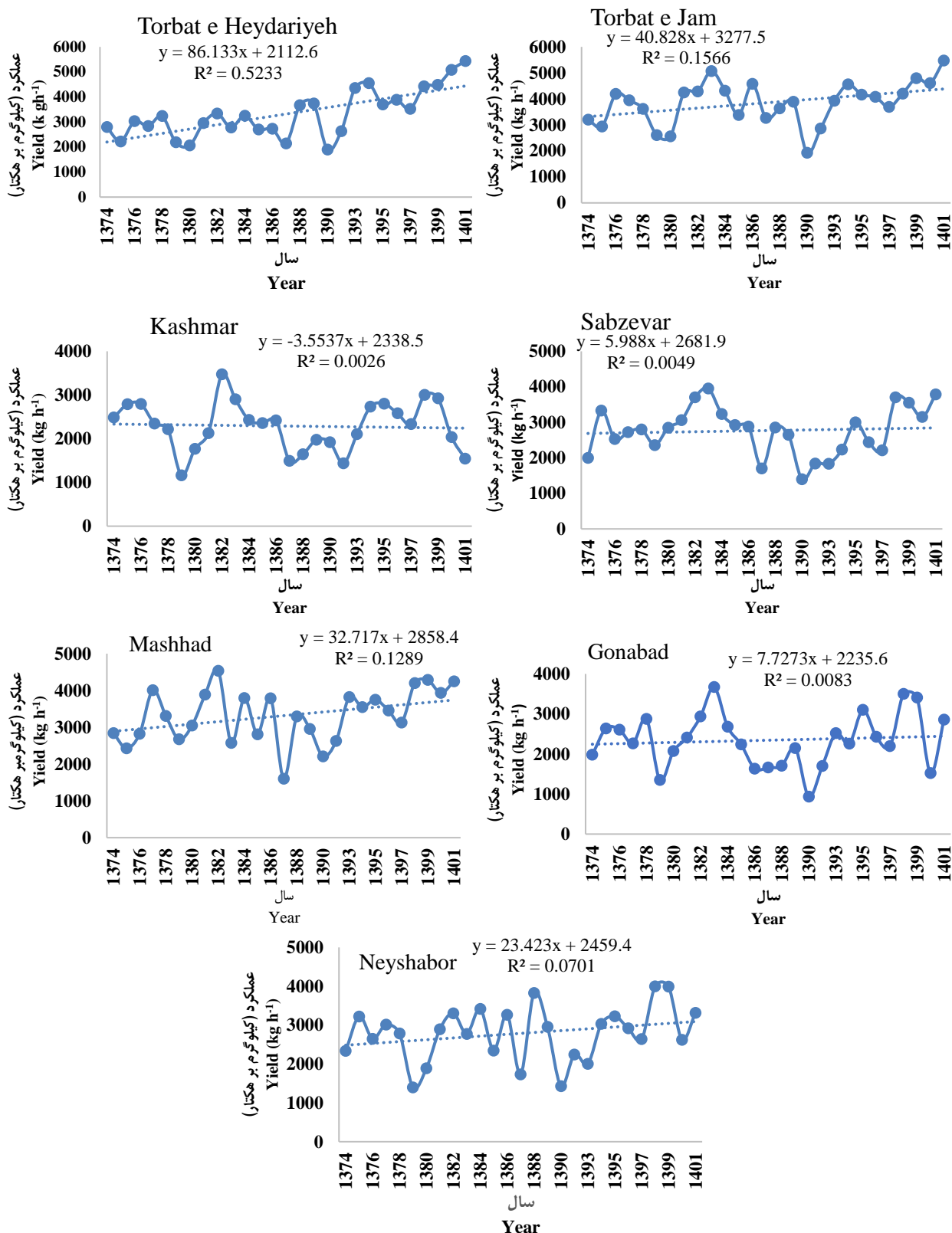
همچنین مقادیر دو سنج RMSE و NRMSE عملکرد محاسباتی با استفاده از داده‌های AGMERRA در مقابل عملکرد واقعی نشان می‌دهد که این دو سنج دارای مقادیر بیشتری نسبت به سنج‌های NRMSE و RMSE داده‌های مشاهداتی دارند و ضریب R^2 داده‌های AGMERRA دارای مقادیر کمتری نسبت به R^2 داده‌های مشاهداتی است، بنابراین مشخص است که داده‌های مشاهداتی با مقادیر خطای کمتر و R^2 بیشتر نسبت به داده‌های AGMERRA، عملکرد گیاهی را در هفت شهرستان مورد مطالعه شبیه‌سازی کردند. از طرفی چون سنج‌های خطا در هر مجموعه داده دارای مقادیر کم هستند، بنابراین هر دو این مجموعه به‌عنوان جایگزینی مناسب برای داده ورودی در مناطقی که داده هواشناسی در دسترس نیست، می‌باشند. این موضوع توسط محققان مختلف از جمله لشکری و همکاران (Lashkari et al., 2016)، یعقوبی و همکاران (Yaghoubi et al., 2018) و جهان و همکاران (Jahan et al., 2023) نیز ثابت شده است.

علاوه بر این نمودار عملکرد محاسباتی با استفاده از داده‌های مشاهداتی و داده‌های AGMERRA در کنار داده‌های واقعی دریافتی از وزارت جهاد کشاورزی ترسیم شد (شکل ۳). همان‌طور که مشاهده می‌شود، در هر هفت ایستگاه مورد بررسی سری زمانی هر سه مجموعه داده دارای روند تغییرات یکسانی بود و هر دو گروه داده مشاهداتی و AGMERRA به‌خوبی توانستند

به‌منظور بررسی اثر عوامل اقلیمی بر عملکرد گندم آبی در استان خراسان رضوی، نمودار روند عملکرد واقعی هفت شهرستان مورد مطالعه در دوره آماری در دسترس طبق شکل ۲ ترسیم شد. نتایج نشان داد که شهرستان تربت حیدریه، شیب افزایشی تندتری نسبت به سایر شهرستان‌ها در طول دوره آماری مورد بررسی داشت و پس از آن شهرستان تربت جام و تربت حیدریه بیشترین روند افزایش را داشتند. علاوه بر این معادله رگرسیون و ضریب تبیین (R^2) نشان‌دهنده این است که شهرستان تربت جام با $R^2=0/16$ روند افزایشی در طی دوره مورد بررسی داشت، شهرستان نیشابور با $R^2=0/07$ روندی افزایشی، شهرستان تربت حیدریه با $R^2=0/52$ روندی افزایشی، شهرستان مشهد با $R^2=0/13$ روندی افزایشی، گناباد با $R^2=0/008$ روندی افزایشی، سبزوار با $R^2=0/0049$ روندی افزایشی، کاشمر با $R^2=0/0029$ با روندی افزایشی، داشتند که در بین هفت شهرستان مورد بررسی در طی دوره آماری مورد نظر، تربت حیدریه با $R^2=0/52$ و تربت جام با $R^2=0/16$ بیشترین روند افزایشی تولید گندم آبی در استان خراسان رضوی را داشت و در این بین، شهرستان‌های گناباد، سبزوار و کاشمر کمترین تولید را در سطح استان داشتند که شهرستان کاشمر روند کاهشی در طول دوره داشت.

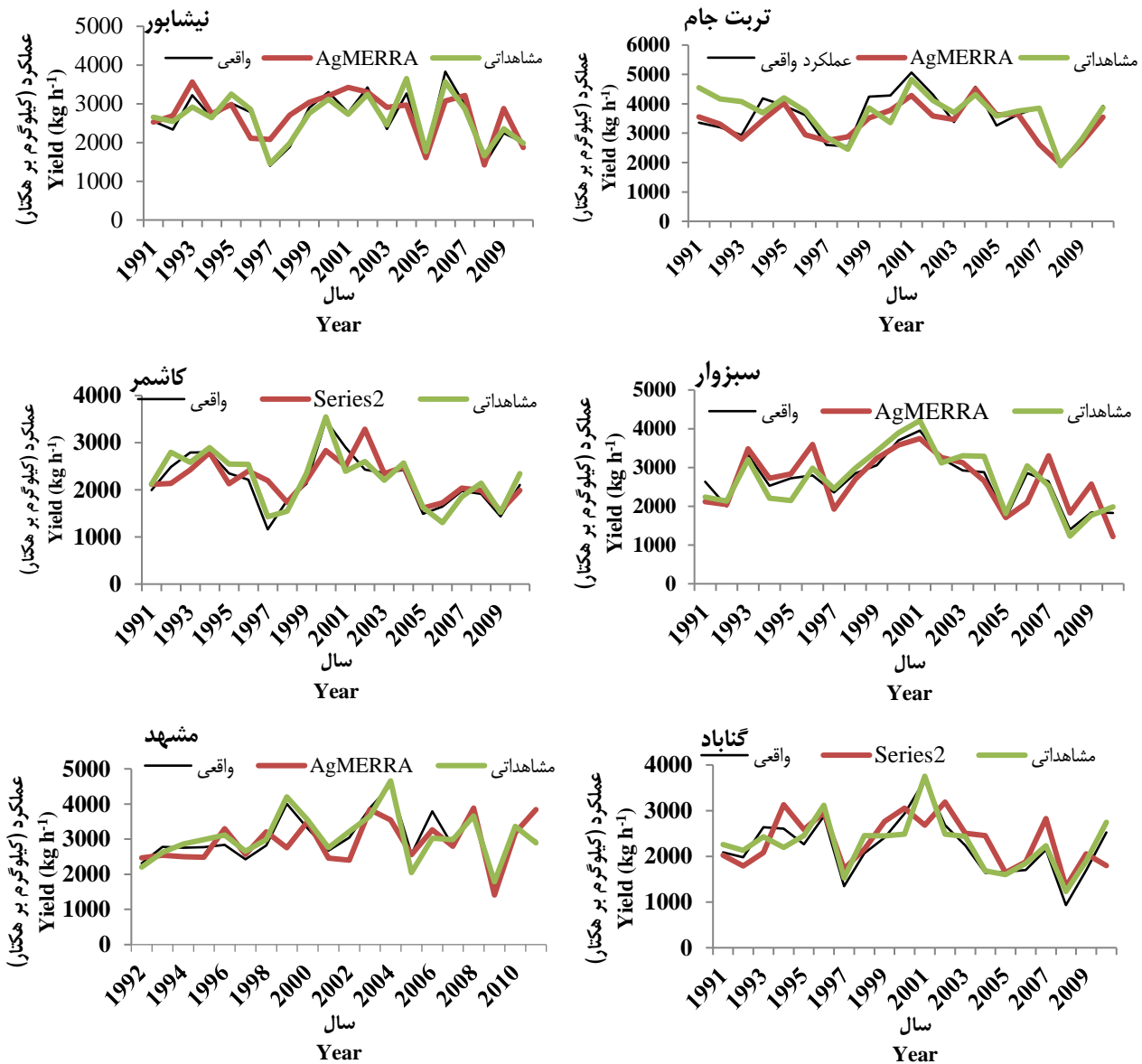
ارزیابی عملکرد داده‌های اقلیمی مشاهداتی و AGMERRA

در شبیه‌سازی عملکرد گندم آبی در استان خراسان رضوی پس از دریافت مجموعه داده‌های AGMERRA بررسی کیفیت آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت و مشاهده شد که همبستگی و توافق خوبی بین داده‌های مشاهداتی و AGMERRA در داده‌های تابش خورشید، دمای بیشینه، دمای کمینه و سرعت باد در هر هفت ایستگاه مورد مطالعه وجود داشت و اما در مورد بارش همبستگی‌های ضعیفی به دست آمد، به‌طوری‌که در ایستگاه‌های مطالعاتی سنج‌های خطا دارای مقادیر MAE از ۳/۸۷ تا ۴/۱۱، RMSE از ۴/۹۳ تا ۷/۷۶ و r ۰/۶۷ تا ۰/۹۸ بودند. در این چهار کمیت دمای بیشینه، دمای کمینه، تابش خورشید و بارش، بیشترین همبستگی مربوط به داده‌های دما بود که مقادیر همبستگی دمای بیشینه معمولاً بیشتر از همبستگی داده‌های دمای کمینه بود و کمترین همبستگی‌ها مربوط به داده‌های بارش بود که همبستگی بین ۰/۱۶ تا ۰/۵۷ داشت. این موضوع در پژوهش‌های دیگر توسط محققان نیز گزارش شده است (Lashkari et al., 2016; Yaghoubi et al., 2018). به همین منظور، در این



شکل ۲- روند تغییرات عملکرد واقعی گندم آبی در هفت شهرستان مورد مطالعه در دوره ۱۳۷۴ تا ۱۴۰۱

Figure 2- The trend of changes in the actual yield of irrigated wheat in the seven studied cities during the period from 1994 to 2022



شکل ۳- نمودار عملکرد محاسباتی با استفاده از داده‌های مشاهداتی و AgMERRA به‌عنوان ورودی مدل DSSAT و عملکرد واقعی در هفت شهرستان مورد بررسی

Figure 3- Chart of computational performance using observation and AgMERRA data as input to the DSSAT model and actual performance in the seven investigated cities

آبی در هفت شهرستان خراسان رضوی است. بنابراین از آمار هواشناسی هفت ایستگاه هواشناسی شامل مشهد، کاشمر، نیشابور، گناباد، تربت‌جام، تربت‌حیدریه و سبزوار در طی دوره آماری ۱۳۸۸-۱۳۶۸ استفاده گردید. همچنین داده‌های باز تحلیل AGMERRA در طی دوره آماری مورد بررسی برای هفت ایستگاه مورد مطالعه دریافت شد. بررسی نمودار تغییرات تاریخی عملکرد واقعی گندم آبی در هفت شهرستان مورد مطالعه نشان‌دهنده این است که از هفت شهرستان مورد بررسی، شهرستان‌های کاشمر، سبزوار و گناباد کمترین تولید گندم آبی در سطح استان را داشتند و شهرستان کاشمر

نتیجه‌گیری

اتخاذ تصمیم‌های درست و راهبردی درباره تولید محصولات کشاورزی و برنامه‌ریزی برای تأمین نیاز غذایی جمعیت روبه‌رشد نیازمند پیش‌بینی و تخمین عملکرد گیاهان است. تخمین دقیق رشد و عملکرد گیاه توسط مدل‌های گیاهی بستگی به کیفیت داده‌های ورودی به مدل‌ها از جمله داده‌های اقلیمی، خاک، ژنتیک و مدیریت زراعی دارد. به همین منظور، هدف از این مطالعه بررسی کارایی داده‌های بازتحلیل AgMERRA برای شبیه‌سازی عملکرد گندم

مشاهداتی با سنج‌های خطای کمتر و R^2 بین $0/63 - 0/72$ در همه ایستگاه‌ها نسبت به داده‌های AGMERRA با R^2 بین $0/67 - 0/50$ عملکرد بهتری در شبیه‌سازی عملکرد گندم آبی داشتند. با توجه به اینکه داده‌های AGMERRA دارای مقادیر خطای کمی (NRMSE بین $9/21$ تا $11/89$) هستند، بنابراین این دو مجموعه داده در مناطقی که داده کافی در دسترس نیست، پایگاه داده مناسبی به‌عنوان ورودی مدل‌های گیاهی هستند.

روند کاهشی در طی دوره $1374-1401$ داشت. بیشترین تولید گندم آبی در سطح استان مربوط به شهرستان تربت‌حیدریه و سپس تربت‌جام و مشهد می‌باشد. پس از بررسی کنترل‌های کیفی لازم بر داده‌ها، عملکرد گیاهی گندم آبی رقم پیش‌تاز که این رقم در منطقه خراسان رضوی قبلاً کالیبره و ارزیابی شده است برای هفت شهرستان مورد نظر با استفاده از داده‌های مشاهداتی و داده‌های AGMERRA با استفاده از مدل DSSAT محاسبه شد. نتایج شاخص‌های آماری NRMSE، RMSE و R^2 نشان داد که داده‌های

جدول ۵- نتایج سنج‌های ارزیابی خطای داده‌های مشاهداتی و AGMERRA در مقابل داده‌های واقعی در شبیه‌سازی عملکرد گندم آبی با استفاده از

مدل DSSAT-CSM-CERES-WEATH

Table 5- Results of error evaluation metrics comparing observational data and AGMERRA in simulating irrigated wheat performance using the DSSAT-CSM-CERES-WEATH model

ایستگاه Station	NRMSE داده‌های مشاهداتی و واقعی NRMSE Observational and actual data	RMSE داده‌های مشاهداتی و واقعی RMSE Observational and actual data	R^2 داده‌های مشاهداتی و واقعی R^2 Observational and actual data	NRMSE داده‌های و واقعی AGMERRA NRMSE AGMERRA and actual data	RMSE داده‌های و AGMERRA واقعی RMSE AGMERRA and actual data	R^2 داده‌های و AGMERRA واقعی R^2 AGMERRA and actual data
کناپاد Gonabad	8.27	372	0.68	9.32	561	0.64
سبزوار Sabzevar	8.2	421	0.67	9.21	627	0.54
مشهد Mashhad	9.87	563	0.72	10.12	836	0.51
تربت‌حیدریه Torbat E Heidariyeh	6.53	351	0.72	10.11	924	0.67
تربت‌جام Torbat E Jam	7.71	498	0.67	11.12	760	0.59
نیشابور Neyshabor	9.8	321	0.72	10.1	639	0.46
کاشمر Kashmar	10.12	804	0.63	11.89	987	0.56

سپاسگزاری

بدینوسیله از همکاری سازمان هواشناسی کشور در تأمین داده‌های هواشناسی و همچنین وزارت جهاد کشاورزی و مؤسسه اصلاح نژاد و بذر کرج به‌دلیل همکاری در تهیه داده‌های زراعی و عملکرد، مورد نیاز تحقیق تشکر و قدردانی می‌گردد.

همچنین نمودارهای عملکرد شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های مشاهداتی و داده‌های AGMERRA در کنار داده‌های عملکرد واقعی نشان‌دهنده این است که هر دو مجموعه داده دارای روندی مشابه داده‌های واقعی بودند. و هر دو گروه داده مشاهداتی و AGMERRA به‌خوبی توانستند تخمین مناسبی از عملکرد گیاهی را بزنند که از این دو مجموعه داده، داده‌های مشاهداتی نسبت به داده‌های AGMERRA بهتر توانستند عملکرد گندم آبی را شبیه‌سازی کنند.

References

- Arun, G., & Ghimire, K. (2019). Estimating post-harvest loss at the farm level to enhance food security: A case of Nepal. *International Journal of Agriculture, Environment and Food Sciences*, 3(September), 127-136. <https://doi.org/10.31015/jaefs.2019.3.3>
- Aslani, P., Davari, M., Mahmoodi, M. A., Hosseinpanahi, F., & Khaleghpanah, N. (2021). Effect of zeolite and nitrogen on some basic soil properties and wheat yield in potato-wheat rotation. *Agricultural Engineering*, 44(1), 97-119. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22055/agen.2021.37397.1603>

3. Badescu, V. (2008). Modeling solar radiation at the earth's surface. SpringerVerlag, Berlin/Heidelberg.
4. Bahroloum, R., Ramezani Etedali, H., Azizian, A., & Ababaei, B. (2020). Use of gridded weather datasets in simulation of wheat yield and irrigated requirement (Case study: Iran's Qazvin plain). *Iranian Journal of Ecohydrology*, 7(3), 691-706. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/ije.2020.303567.1339>
5. Bannayan, M., Sanjani, S., Alizadeh, A., Lotfabadi, S. S., & Mohamadian, A. (2010). Association between climate indices, aridity index, and rainfed crop yield in northeast of Iran. *Field Crops Research*, 118(2), 105-114. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.04.011>
6. Dahmardeh, A., Shahriari, A., Pahlavan Rad, M. R., Shabani, A., & Ghoebani, M. (2021). Modeling wheat yield using some soil properties at the field scale (Case study: Sistan dam research farm, university of Zabol). *Agricultural Engineering*, 44(1), 81-95. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22055/agen.2021.35343.1588>
7. Eyshi Rezaei, E., & Lashkari, A. (2019). The consequences of change in management practices on maize yield under climate warming in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 137, 1001-1013. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2637-8>
8. Fallah, M. H., Nezami, A., Khazaie, H. R., & Nassiri Mahallati, M. (2020). Evaluation of DSSAT-Nwheat model across a wide range of climate conditions in Iran. *Journal of Agroecology*, 12(4), 561-580. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v12i4.77250>
9. Farhadi, M., Jahan, M., & Bannayan Aval, M. (2021). Investigation of validity and possibility of using AgMERRA networked dataset in North Khorasan province. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 19(2), 201-217. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jcesc.2021.69532.1044>
10. Folberth, C., Gaiser, T., Abbaspour, K. C., Schulin, R., & Yang, H. (2012). Regionalization of a large-scale crop growth model for sub-Saharan Africa: Model setup, evaluation, and estimation of maize yields. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 151, 21-33. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.01.026>
11. Folberth, C., Yang, H., Gaiser, T., Abbaspour, K. C., & Schulin, R. (2013). Modeling maize yield responses to improvement in nutrient, irrigated and cultivar inputs in sub-Saharan Africa. *Agricultural Systems*, 119, 22-34. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2013.04.002>
12. Jahan, M., Farhadi, M., Bannayan Aval, M., Fallah, M. H., & Yaghoubi, F. (2023). Study of changes in long-term wheat production trend and factors affecting it in North Khorasan province: I- irrigated wheat. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 21(3), 265-284. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.78172.1192>
13. Javanshiri, Z., Asadi Oskouei, E., Flamarzi, Y., & Abasi, F. (2023). Accuracy assessment of CFS-v2, MERRA-2, ERA-5 temperature over the different regions of Iran. *Iranian Journal of Geophysics*, 17(4), 1-24. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.30499/ijg.2022.360882.1452>
14. Jowkar, L., Panahi, F., Sadatinejad, S. J., & Shakiba, A. (2021). Precipitation extremes variability trend in Bakhtegan Catchment using AgMERRA and stations data. *Irrigation and Irrigated Engineering*, 12(1), 364-381. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22125/iwe.2021.138351>
15. Lashkari, A., Bannayan Aval, M., Koocheki, A., Alizadeh, A., Choi, Y. S., & Park, S. (2016). Applicability of AgMERRA forcing dataset for gap-filling of *in-situ* meteorological observation, case study: Mashhad plain. *Irrigated and Soil*, 29(6), 1749-1758. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jsw.v29i6.41686>
16. lotfi, M., Kamali, G., Meshkatee, A., Varshavian, V. (2021). Evaluation of yield changes and length of dryland wheat phenological stages under RCP scenario using DSSAT and AquaCrop models in Western Iran. *Iranian Journal of Soil and Irrigated Research*, 52(10), 2665-2677. (in Persian). <https://doi.org/10.22059/ijswr.2021.321307.668925>
17. Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885-900.
18. Ozili, P. K. (2023). *The acceptable R-square in empirical modelling for social science research*. In social research methodology and publishing results: A guide to non-native english speakers. pp. 134-143. IGI global.
19. Ramezani Etedali, H., Gorgin, F., & Kakvand, P. (2022). Study of the performance of two meteorological datasets in estimating the maize irrigated footprint, a case study: Qazvin Plain. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 15(6), 1394-1403. (in Persian with English abstract). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20087942.1400.15.6.1.1>
20. Raymundo, R., Asseng, S., Robertson, R., Petsakos, A., Hoogenboom, G., Quiroz, R., Hareau, G., & Wolf, J. (2018). Climate change impact on global potato production. *European Journal of Agronomy*, 100(November 2016), 87-98. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.11.008>
21. Razavi, A. R., Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., & Beheshti, A. (2018). Applicability of AgMERRA for gap-filling of Afghanistan *in-situ* temperature and precipitation data. *Irrigated and Soil*, 32(3), 601-616. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jsw.v32i3.68501>

22. Salehnia, N., Alizadeh, A., Sanaeinejad, H., Bannayan, M., Zarrin, A., & Hoogenboom, G. (2017). Estimation of meteorological drought indices based on AgMERRA precipitation data and station-observed precipitation data. *Journal of Arid Land*, 9, 797-809.
23. Van Wart, J., Grassini, P., Yang, H., Claessens, L., Jarvis, A., & Cassman, K. G. (2015). Creating long-term weather data from thin air for crop simulation modeling. *Agricultural and Forest Meteorology*, 209, 49-58. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.02.020>
24. Yaghoubi, F., Bannayan Aval, M., & Asadi, G. A. (2018). Evaluation of grided AgMERRA weather data for simulation of irrigated requirement and yield of rainfed wheat in Khorasan Razavi province. *Irrigated and Soil*, 32(2), 415-431. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jsw.v32i2.68948>
25. Zandi, R. (2016). Climate classification of Khorasan-Razavi province by the Dumartin method using geographic information system. *Geographical Sciences, Architecture and Urban Planning Research Quarterly*, 1(10). (in Persian with English abstract).