

Simulation of irrigated wheat yield using DSSAT model and AgMERRA reanalysis data in Khorasan Razavi Province.

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 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 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: Irrigated wheat, DSSAT model, AGMERRA data, Razavi Khorasan

شبیه‌سازی عملکرد گندم آبی رقم پیشتاز با استفاده از داده‌های باز تحلیل AgMERRA و مدل گیاهی DSSAT در استان خراسان رضوی

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

۱. گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج

۲. گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

*. نویسنده مسئول

nghahreman@ut.ac.ir

اعلام نوع مشارکت نویسندگان

نام نویسنده	نحوه مشارکت
نویسنده اول	○ جمع‌آوری داده‌ها
	○ پردازش داده‌ها
	○ تحلیل آماری
	○ خدمات نرم‌افزاری
	○ شبیه‌سازی عددی/کامپیوتری

-
- اعتبارسنجی
 - تصویرسازی نتایج
 - استخراج و تهیه متن اولیه

- نظارت و مدیریت
- مفهوم‌سازی
- روش‌شناسی
- مشاوره فنی
- ویرایش متن

نویسنده دوم

مفهوم‌سازی

○ نویسنده سوم

○ روش‌شناسی

مشاوره فنی

چکیده

هدف از این مطالعه شبیه‌سازی عملکرد گندم آبی در هفت شهرستان استان خراسان رضوی با استفاده از داده‌های باز تحلیل AgMERRA و مدل گیاهی DSSAT است. بدین منظور از داده‌های آماری ۷ 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 ۲۰۱۰-۱۹۹۰ استفاده شد. همچنین داده‌های باز تحلیل AgMERRA در طی دوره آماری مورد بررسی 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 همبستگی و توافق خوبی بین داده‌های مشاهداتی و داده‌های AgMERRA در هر هفت ایستگاه مطالعاتی وجود دارد (ضریب همبستگی از ۰/۶۷ تا ۰/۹۸) بطوریکه 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، عملکرد شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های مشاهداتی و داده‌های AgMERRA روند تغییراتی مشابه داده‌های عملکرد واقعی دارند و بخوبی توانسته‌اند 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) هستند. لذا کاربست مدل با استفاده از این پایگاه داده‌های اقلیمی در شرایط کمبود داده‌های مشاهداتی معتبر قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: داده‌های بازتحلیل، شبیه‌سازی عملکرد، گندم آبی، مدل‌های گیاهی

مقدمه

در شرایط کنونی تأمین امنیت غذایی و حفظ آن به ویژه با توجه به تقاضای روز افزون و رشد چشمگیر جمعیت از یکسو 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. پیش‌بینی‌شده است 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 دارای اهمیت است (Arun & Ghimire, 2019). گندم یکی از مهم‌ترین تولیدات زراعی جهان است و در میان غلات از نظر سطح زیر کشت و تولید سالانه، مقام اول را دارد (Aslani, Davari, Mahmoodi, Hosseinpahani & Khaleghpanah, 2021). تغییرات آب و هوایی 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 آب و هوایی 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 درباره تولید محصولات کشاورزی و برنامه‌ریزی برای تأمین نیاز غذایی جمعیت روبه رشد نیازمند پیش‌بینی و مدل‌سازی عملکرد زراعی گیاهان است. مدل‌های زراعی، درواقع 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 & GHOBANI, 2021). درواقع، 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. به طور تقریبی همه شاخص‌های اقلیمی کشاورزی که بر اساس دو متغیر دما و بارش محاسبه می‌شوند و متاثر از تغییرات اقلیمی آینده هستند، شرایط رشد و نمو گیاهان زراعی را تحت تأثیر قرار خواهند داد (Wart Van et al, 2015). بنابراین در سال‌های اخیر، استفاده از داده‌های آب و هوایی بازتحلیل^۱ و شبکه‌بندی شده به‌عنوان داده‌های شبه مشاهداتی، به‌ویژه برای مطالعات اقلیمی، پیش‌بینی عددی وضع هوا، و درزمینه 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 بازتحلیل در مطالعات، ارزیابی عملکرد آن‌ها در هر منطقه ضروری است (Folberth, Gaiser, Abbaspour, Schulini, & Yang, 2012; Folberth, Gaiser, Abbaspour & Schulini, 2013; Javanshiri, Asadi Oskouei, Flamarzi, & Abasi, 2023). با این حال باید توجه داشت که

¹- Reanalysis Data

در تولید داده‌های آب و هوایی 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 باوجود کارایی زیاد مجموعه داده‌های آب و هوایی شبکه‌بندی شده، به‌منظور آگاهی از دقت آن‌ها باید قبل از استفاده در مناطق مختلف مورد ارزیابی قرار بگیرند. یکی از این مجموعه داده، داده‌های AgMERRA² می‌باشد.

پژوهشگران مختلفی به بررسی کیفیت داده‌های باز تحلیل پایگاه‌های داده نظیر مرکز ملی پیش‌بینی محیطی/ مرکز ملی تحقیقات جوی (NCAR/NCEP)، CRU، ECMWF در مناطق مختلف و برای متغیرهای مختلف اقلیمی پرداخته‌اند. لشکری و همکاران (Lashkari, Bannayan, Koocheki, Alizadeh, Choi & Park, 2016) به بررسی امکان‌سنجی استفاده از پایگاه داده AgMERRA برای تکمیل داده‌های ناقص و گمشده موجود در ایستگاه‌های سینوپتیک گل‌مکان و مشهد 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 آب و هوایی 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 این‌وجود 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) به‌منظور 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 شبکه‌بندی شده 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 در مورد پارامتر بارش نیاز هست 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 حوضه‌ی آبخیز کشف رود در دوره‌ی ۱۹۸۷-۲۰۱۰ شاخص‌های مختلف خشکسالی با استفاده از این دو مجموعه داده محاسبه شد. نتایج آن‌ها نشان داد شاخص‌های خشکسالی به‌دست‌آمده از داده‌های AgMERRA نسبت به ایستگاه‌های زمینی همبستگی بیشتری دارند (Salehnia, 2017). امکان استفاده از پایگاه AgMERRA از طریق مقایسه آن‌ها با داده‌های دیده‌بانی با محاسبه‌ی شاخص‌های نکویی برازش 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 شبکه‌بندی شده‌ی CRU، AgMERRA، AgCFSR و CRU-GPCC در برآورد عملکرد و نیاز آبی

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

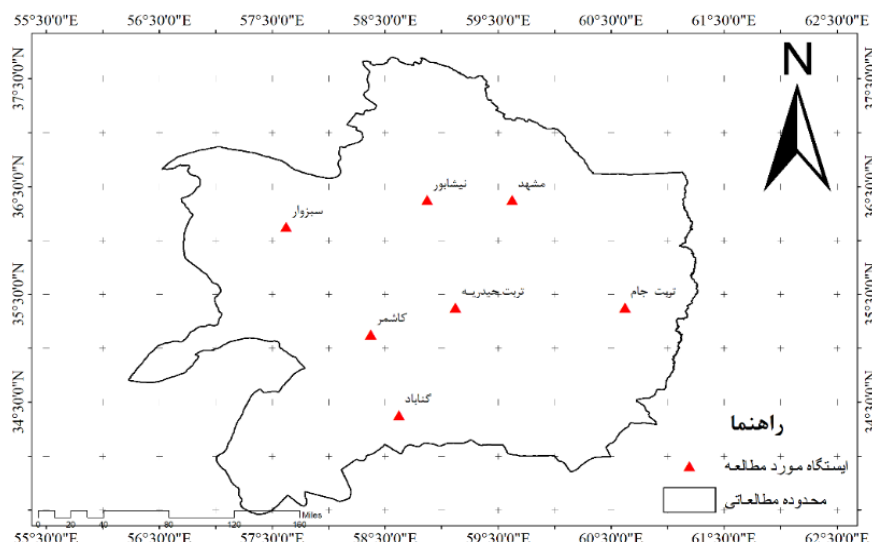
گیاه گندم بررسی و نتایج با مقادیر برآوردشده داده‌های ایستگاهی قزوین مقایسه شد و نشان داد که در برآورد نیاز آبی پایگاه GPCC و در عملکرد گندم پایگاه AgMERRA بیشترین همبستگی را با داده‌های ایستگاهی داشتند (Bahroloum, Ramezani Etedali, Azizian & Ababaei, 2020). اعتبار و امکان استفاده از داده‌های شبکه‌بندی شده AgMERRA در مطالعات کشاورزی-اقلیمی در استان خراسان شمالی ارزیابی و تأیید کردند (Farhadi, Jahan & Bannayan Aval, 2021). در تخمین ردپای آب ذرت در دشت قزوین داده‌های دو پایگاه AgMERRA و GPCC صحت سنجی شده و نتایج و حاکمی از اعتبار هر دو پایگاه هستند (Ramezani Etedali, Gorgin & Kakvand, 2022). روند تغییرات شاخص‌های حدی بارش در حوضه‌ی آبخیز بختگان با استفاده از داده‌های ایستگاهی و AgMERRA بررسی شد 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 شبه مشاهداتی در مطالعات اقلیمی-زراعی اهمیت دارد. با توجه به محدودیت مطالعات پیشین جهت پیش‌بینی عملکرد گندم آبی با استفاده از مدل DSSAT و امکان سنجی کاربست این مدل با داده‌های اقلیمی غیر مشاهداتی 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 ۶ میلیون جمعیت، نقش مهمی در اقتصاد منطقه دارد. خراسان رضوی دارای تنوع بالای آب و هوایی است (Bannayan, Sanjani, Alizadeh, Lotfabadi & Mohammadian, 2010). این استان ۷٪ کل مساحت ایران را در برمی‌گیرد. ۴۹/۲٪ سطح استان را مناطق کوهستانی و ۵۰/۸٪ آن را دشت‌ها تشکیل می‌دهند. این استان دارای ۲۸ شهرستان، ۷۳ شهر و ۷۰ بخش است. پهنه‌بندی اقلیمی استان خراسان رضوی بر اساس شاخص دومارتن نشان می‌دهد که حدود ۷۰ درصد از مساحت استان در گستره‌ی آب و هوایی خشک بیابانی سرد و نیمه‌خشک بیابانی قرار گرفته است. حدود ۲۰ درصد از مساحت استان دارای آب‌وهوای خشک بیابانی معتدل می‌باشد. طبقات آب و هوایی فراخشک سرد، فراخشک معتدل و نیمه‌خشک معتدل کمتر از ۱۰ درصد از مساحت استان را به خود اختصاص داده‌اند (Zandi, 2016).



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، تربت‌حیدریه، تربت‌جام، سبزوار و کاشمر استفاده شد که داده‌های مورد استفاده در این مطالعه در مقیاس روزانه طی دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۹۰ شامل داده‌های باز تحلیل آب و هوایی 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 نیترژن خاک، درصد رس، سیلت، شن، رطوبت خاک و اطلاعات مدیریت زراعی شامل رقم، تاریخ کاشت، عمق کاشت، فاصله ردیف‌ها می باشد (جدول ۱). لازم به ذکر است 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	داده مورد استفاده	پارامترهای جمع‌آوری شده	منبع دریافت داده
۱	داده‌های باز تحلیل آب و	داده‌های بارش ۲۴ ساعته، دمای بیشینه و دمای کمینه روزانه، سرعت باد، تابش خورشید	http://data.giss.nasa.gov/impacts/agmipcf/AgMERRA
۲	داده‌های مشاهداتی	داده‌های بارش ۲۴ ساعته، دمای بیشینه و دمای کمینه روزانه، سرعت باد، ساعات آفتابی	سازمان هواشناسی کشور (www.irimo.ir)
۳	عملکرد سالانه گندم آبی		وزارت جهاد کشاورزی (https://maj.ir/)

مدل گیاهی مورد مطالعه

مدل DSSAT^۳ (سیستم پشتیبانی تصمیم برای انتقال فناوری کشاورزی)، در سال ۱۹۸۹ توسط یک شبکه بین‌المللی از دانشمندان^۴، به منظور تسهیل استفاده از مدل‌های زراعی توسعه یافت و به صورت 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 به عنوان 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 نیترژن خاک، میزان مصرف آب و نیترژن گیاه و تأثیر تنش‌های آب و نیترژن را بر رشد و نمو شبیه‌سازی می‌کند. ارقام مختلف گیاهان از نظر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی با یکدیگر تفاوت دارند که این اختلاف در رشد و نمو گیاهان تأثیر می‌گذارد و باید به نوعی در مدل‌های شبیه‌سازی در نظر گرفته شود. این مشخصات توسط هفت پارامتر به نام ضرایب ژنتیک شامل تأثیر بهاره سازی (P1V) و فتوپریود (P1D) بر نمو، مدت‌زمان پرشدن دانه (P5)، فیلوکورن (PHINT) و پارامترهای مربوط به رشد دانه که شامل تعداد دانه در هر واحد وزن کانوی در گرده‌افشانی برحسب تعداد در گرم در مترمربع (G1)، سرعت بالقوه رشد دانه برحسب میلی گرم در روز (G2) و وزن خشک ساقه در شرایط مطلوب رشد برحسب گرم (G3) است. لازم به ذکر است در این مطالعه از ضرایب ژنتیکی گندم آبی رقم پیش‌تاز (جدول ۲) که کالیبره و ارزیابی شده‌اند استفاده شد (Fallah, Nezami, Khazaie & Nassiri Mahallati, 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 شد ارائه شده است.

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

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

رقم پیش‌تاز	پارامتر	فایل	مدل
0	PIV	Cultivar	CERES-Wheat
116	PID		
870	P5		
19	G1		
39	G2		
3.8	G3		
83	PHINT		
280	P1	Ecotype	
200	P2		

³ Decision Support System for Agrotechnology Transfer

⁴ International Benchmark Sites Network for Agro Technology Transfer

135	P3		
240	P4		
2	LARS ⁵		
0.05	LAFV ⁶		
350	SLAS ⁷		
5.3	LSPHS ⁸		
6.5	LSPHE ⁹		
5.5	TIL#S ¹⁰		
2	TIPHE ¹¹		
0.5	TIFAC ¹²		
20	TDFAC ¹³		

جدول ۳- اطلاعات کلی مربوط به رقم پیشتاز

Table 3 - General Information Related to Pishtaz Variety

رقم	تاریخ کاشت	زمان برداشت	طول دوره رشد (روز)	مقدار آب مصرفی در هر دور آبیاری (m3/h)	کود نیتروژن (kg/h)	کود فسفر (kg/h)	کود پتاس (kg/h)	دور آبیاری (روز)
پیشتاز	اواسط آبان تا اوایل آذر	اواخر خرداد تا اوایل تیر	۲۲۰-۲۱۰	۸۳۷-۵۱۲	۱۳۰	۹۰	۰-۱۰	۸

جدول ۴- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در ایستگاه‌های مطالعاتی

Table 4 - Physical and Chemical Characteristics of Soil in Study Stations

ایستگاه	رس	سیلت	شن	بافت خاک	نقطه پژمردگی دائم (%)	نقطه ظرفیت زراعی (%)	کربن آلی (%)	شوری (ds/m)	اسیدیته	پتاس (ppm)	فسفر (ppm)	نیتروژن (%)
تربت جام Torbat E Jam	34.72	38.00	27.28	لومی رسی	14.01	31.77	0.47	9.80	7.87	180.00	8.80	0.03
تربت حیدریه Torbat E Heidariyeh	21.66	44.34	44.34	لومی	9.34	20.01	0.58	7.80	7.80	210	9.00	0.05
کاشمر Kashmar	16.16	36.50	47.33	لومی	8.28	18.23	0.17	7.60	7.90	225	7.40	0.03
مشهد Mashhad	25.33	33.34	41.33	لومی	10.65	24.03	0.16	9.00	7.70	205	7.80	0.04
نیشابور Neyshabor	20.4	36.00	43.6	لومی	0.12	22.01	0.57	4.50	7.61	187	7.60	0.05
گناباد Gonabad	18.42	37.26	44.2	لومی	9.80	25.03	0.63	7.31	7.31	200	7.30	0.07

⁵- Area of standard reproductive phase leaf

⁶- Increase in potential area of leaves, vegetative phase (fr/leaf)

⁷- Specific leaf area, standard (cm²/g)

⁸- Final leaf senescence starts (GrowthStage)

⁹- Final leaf senescence ends (GrowthStage)

¹⁰- Tiller production starts (leaf #)

¹¹- Tillering phase end stage (GrowthStage)

¹²- Tiller initiation (rate) factor (fr of phyllochron based)

¹³- Tiller death factor (%/st.day when tiller wt 2xstandard wt)

سنجه‌های ارزیابی داده‌ها

مهم‌ترین مرحله در سنجش کارایی مدل، اعتبار سنجی 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^{۱۴} (R^2)، جذر میانگین مربعات خطا^{۱۵} (RMSE)، جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده^{۱۶} (NRMSE)، مورد استفاده قرار گرفتند. ضریب تبیین (R^2)، قدرت توضیح دهنده‌ی مدل را نشان می‌دهد. مقدار R^2 بین صفر تا ۱۰۰ تغییر می‌کند. مقدار صد، نشان‌دهنده همبستگی کامل بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده است. در به‌کارگیری مدل‌ها برای پیش‌بینی عملکرد گفته‌شده است که مقدار R^2 باید بیش‌تر از ۶۰ درصد باشد (Ozili, 2023; Moriasi et al., 2007).

$$R^2 = \left(\frac{n(\sum O_i S_i) - (\sum O_i)(\sum S_i)}{\sqrt{[n \sum O_i^2 - (\sum O_i)^2][n \sum S_i^2 - (\sum S_i)^2]}} \right)^2 * 100 \quad (۱)$$

در معادله فوق O_i مقادیر مشاهده‌شده و S_i مقادیر شبیه‌سازی‌شده است. جذر میانگین مربعات خطا (۲) اختلاف نسبی بین مشاهدات و داده‌های شبیه‌سازی‌شده را نشان می‌دهد. مقدار این شاخص از صفر تا 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 شده‌ی RMSE است (معادله 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).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2} \quad (۲)$$

$$NRMSE = \frac{RMSE}{\overline{O_i}} * 100 \quad (۳)$$

که در آن O_i مقادیر مشاهده‌شده و S_i مقادیر شبیه‌سازی‌شده و $\overline{O_i}$ مقدار متوسط مقادیر مشاهده‌شده است. مقدار خطای به‌دست‌آمده از سنجه‌های ۲ و ۳ به واحد متغیر مورد اندازه‌گیری بیان می‌شود. سنجه 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

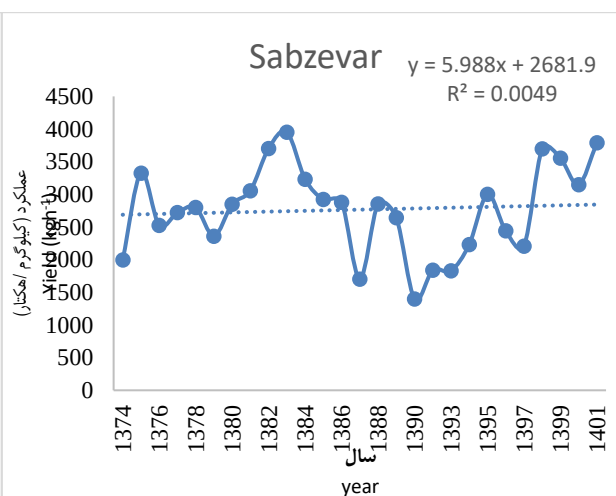
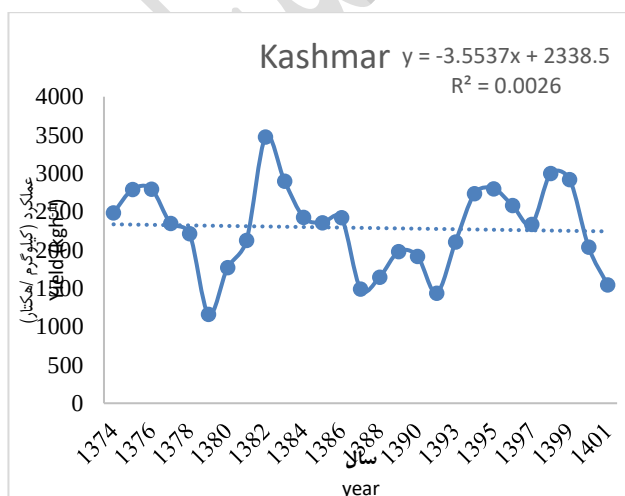
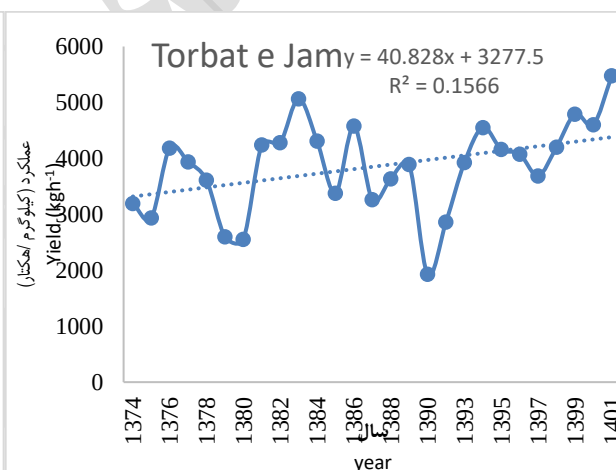
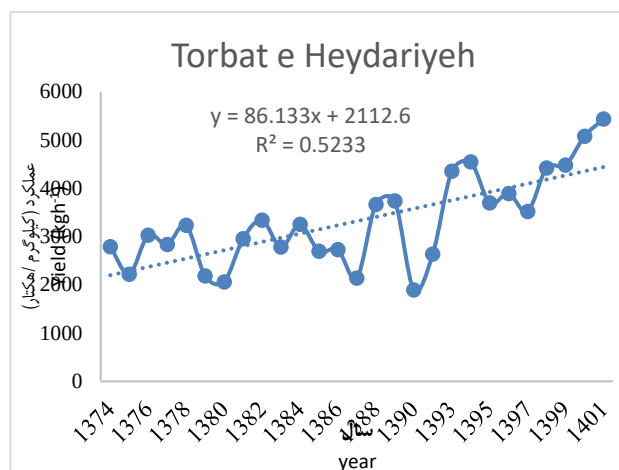
¹⁴ Coefficient of determination

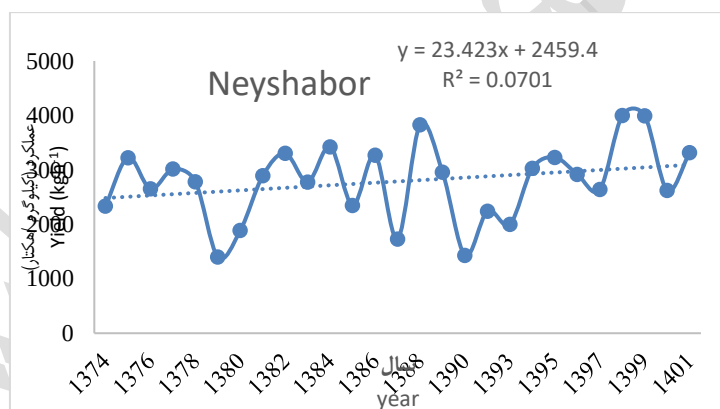
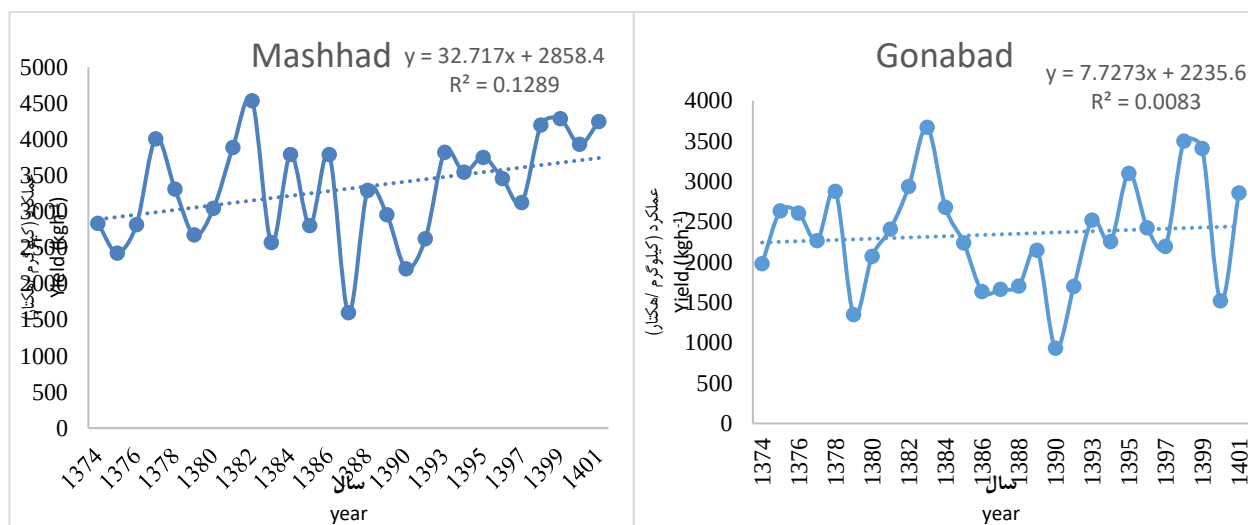
¹⁵ Root Mean Square Error

¹⁶ Normalized Root Mean Square Error

بررسی عملکرد ثبت شده گندم آبی در استان خراسان

به منظور بررسی اثر عوامل اقلیمی بر عملکرد گندم آبی در استان خراسان رضوی، نمودار روند عملکرد واقعی ۷ شهرستان مورد مطالعه در دوره آماری در دسترس طبق شکل ۲ ترسیم شد. نتایج نشان داد شهرستان تربت حیدریه شیب افزایشی تندتری نسبت به سایر شهرستان‌ها در طول دوره آماری مورد بررسی داشته است و پس از آن شهرستان تربت جام و تربت حیدریه بیشترین روند افزایش را داشته‌اند. علاوه بر این معادله رگرسیون و ضریب تبیین (R^2) نشان دهنده این است که شهرستان تربت جام با $R^2=0/16$ دارای روند افزایشی در طی دوره مورد بررسی داشته است، 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، دارند 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 داشته است و در این بین شهرستان‌های گناباد، سبزوار و کاشمر کمترین تولید را در سطح استان داشته‌اند. که شهرستان کاشمر روند کاهشی در طول دوره داشته است.





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.

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 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 دارد و اما در مورد بارش همبستگی‌های ضعیفی وجود دارد. بطوریکه در ایستگاه‌های مطالعاتی سنجه‌های خطا دارای مقادیر MAE از ۳/۸۷ تا ۴/۱۱، RMSE از ۴/۹۳ تا ۷/۷۶ و r از ۰/۶۷ تا ۰/۹۸ هستند. در این چهار کمیت دمای بیشینه، دمای کمینه، تابش خورشید و بارش، بیشترین

همبستگی مربوط به داده‌های دما می‌باشد که مقادیر همبستگی دمای بیشینه معمولاً بیشتر از همبستگی داده‌های دمای کمینه می‌باشد و کمترین همبستگی‌ها مربوط به داده‌های بارش است که همبستگی بین ۰/۱۶ تا ۰/۵۷ دارد. این موضوع در پژوهش‌های دیگر توسط محققان نیز گزارش شده است (Lashkari et al (2016) و (Yaghoubi et al (2018). به همین منظور در این مطالعه ما از این مجموعه داده به عنوان ورودی مدل گیاهی DSSAT جهت شبیه‌سازی عملکرد گندم آبی رقم پیشتاز در هفت شهرستان استان خراسان رضوی استفاده کردیم. 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 دارد که کمترین مقدار آن مربوط به ایستگاه تربت‌حیدریه و بیشترین مقدار آن مربوط به کاشمر می‌باشد. سنج RMSE داده‌های مشاهداتی در مقابل عملکرد واقعی تغییراتی بین ۳۲۱ تا ۸۰۴ داشته‌اند که بیشترین مقادیر آن مربوط به ایستگاه کاشمر و کمترین مقدار آن مربوط به نیشابور می‌باشد. ضریب R^2 تغییراتی بین ۰/۶۳ تا ۰/۷۲ دارد که بیشترین R^2 مربوط به مشهد می‌باشد.

همچنین مقادیر دو سنج NRMSE و RMSE عملکرد محاسباتی با استفاده از داده‌های AGMERRA در مقابل عملکرد واقعی نشان می‌دهد 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 کرده‌اند. از طرفی چون سنج‌های خطا در هر مجموعه داده دارای مقادیر کم هستند. بنابراین هر دو این مجموعه به عنوان جایگزینی مناسب برای داده ورودی در مناطقی که داده هواشناسی در دسترس نیست می‌باشند. این موضوع توسط محققان مختلف از جمله (Lashkari et al (2016, (yaghoubi et al (2018, (Jahan et al (2023 نیز ثابت شده است.

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

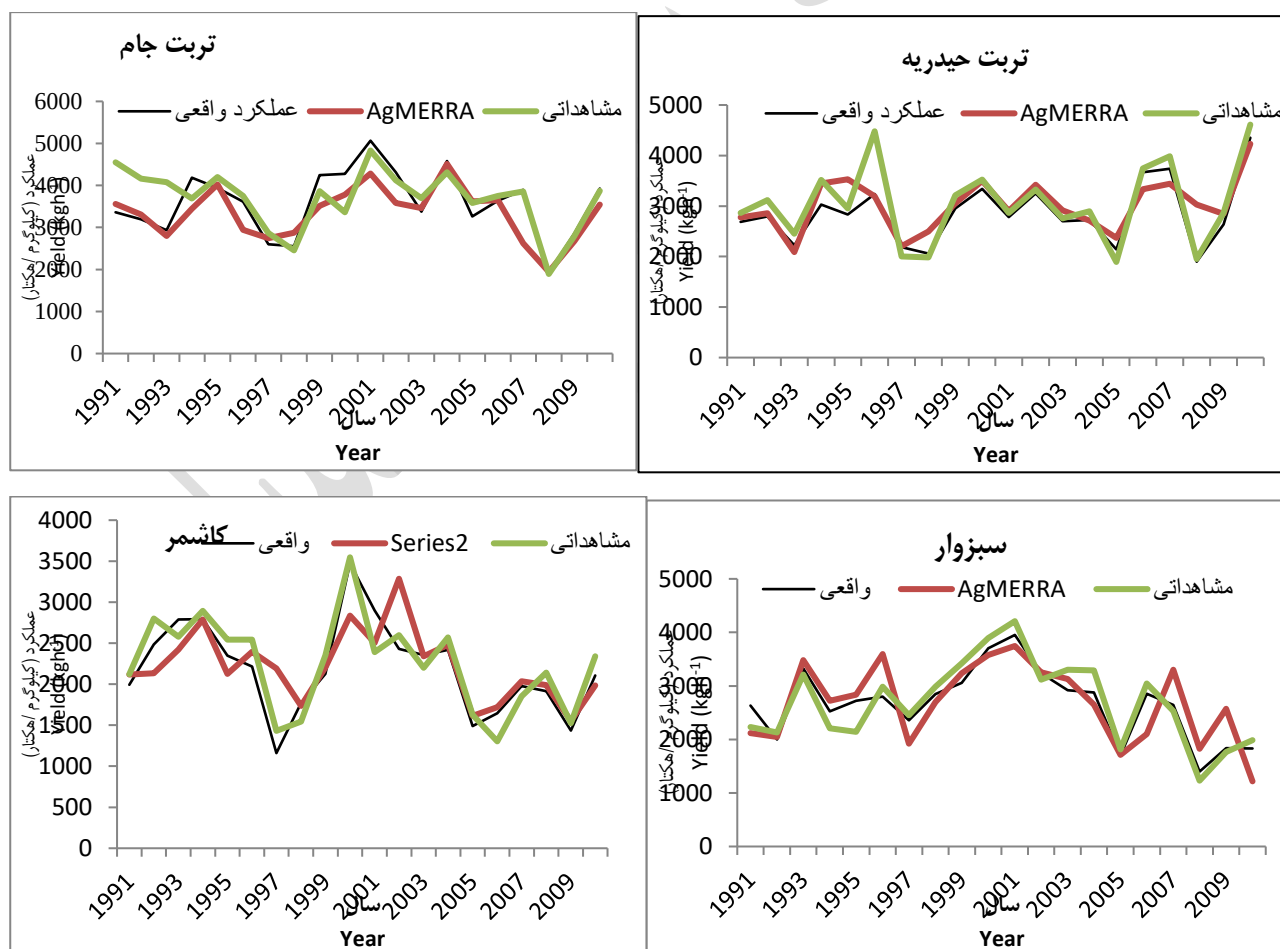
مدل . DSSAT-CSM-CERES-WEATH

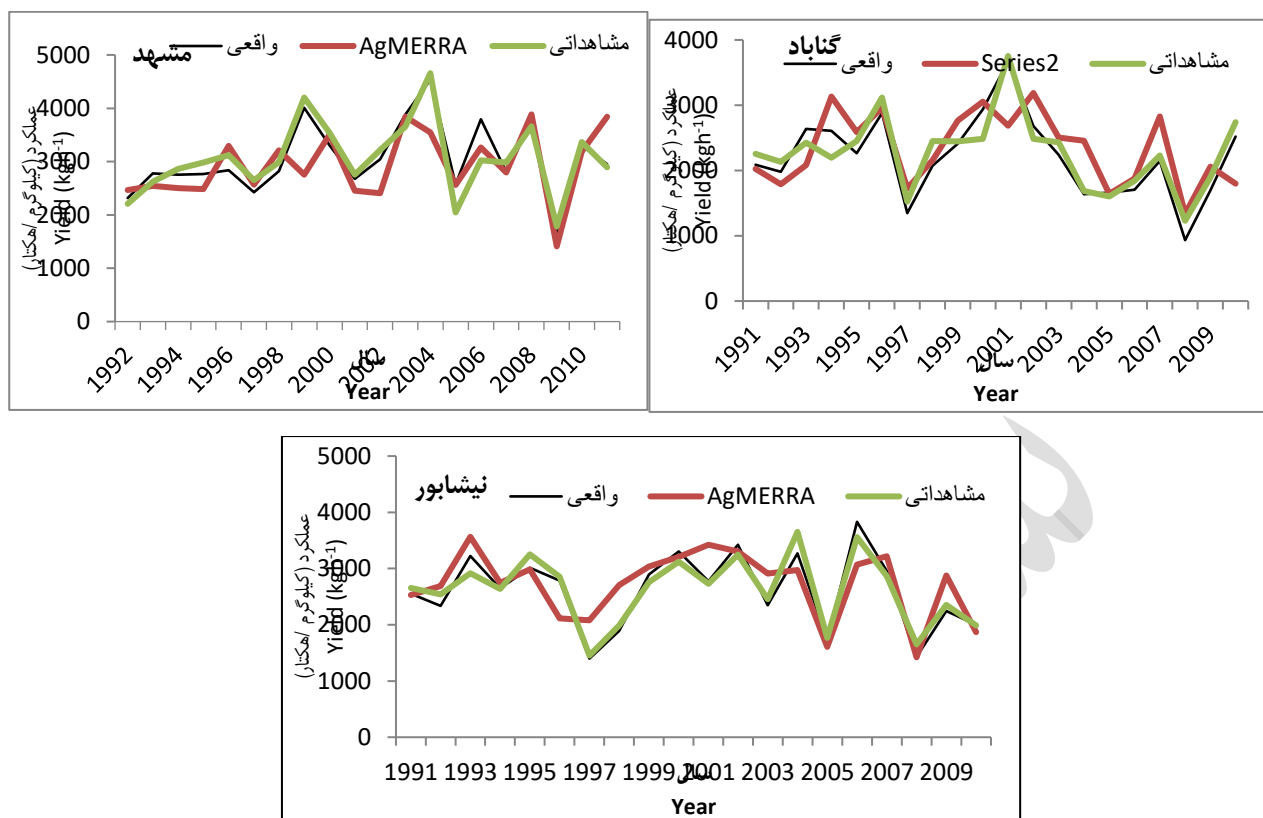
Table 5 - Results of error evaluation metrics comparing observational data and AGMERRA in simulating irrigated wheat performance using the DSSAT-CSM-CERES-WEATH model.

ایستگاه Station	NRMSE داده‌های مشاهداتی و واقعی	RMSE داده‌های مشاهداتی و واقعی	R^2 داده‌های مشاهداتی و واقعی	NRMSE داده‌های و واقعی AGMERRA	RMSE داده‌های و واقعی AGMERRA	R^2 داده‌های و واقعی AGMERRA
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

ترت جام	7.71	498	0.67	11.12	760	0.59
Torbat E Jam						
نیشابور	9.8	321	0.72	10.1	639	0.46
Neyshabor						
کاشمر	10.12	804	0.63	11.89	987	0.56
Kashmar						

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 موردبررسی سری زمانی هر سه مجموعه داده دارای روند تغییرات یکسانی است و هر دو گروه داده مشاهداتی و AgMERRA بخوبی توانسته‌اند تخمین مناسبی از عملکرد گیاهی را بزنند که از این دو مجموعه داده، داده‌های مشاهداتی نسبت به داده‌های AGMERRA بهتر توانسته‌اند عملکرد گندم آبی را شبیه‌سازی کنند. که در این بین ایستگاه تربت‌حیدریه و سبزوار برآورد مناسب‌تری نسبت به سایر ایستگاه‌ها از عملکرد گندم ارائه کرده است. اما در مجموع می‌توان گفت عملکرد گندم شبیه‌سازی شده با هر دو مجموعه داده مشاهداتی و AGMERRA دارای روندی شبیه به داده‌های عملکرد واقعی در کل استان دارند.





شکل ۳- نمودار عملکرد محاسباتی با استفاده از داده‌های مشاهداتی و AgMERRA بعنوان 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.

نتیجه‌گیری کلی

اتخاذ تصمیم‌های درست و راهبردی درباره تولید محصولات کشاورزی و برنامه‌ریزی برای تأمین نیاز غذایی جمعیت روبه رشد نیازمند پیش‌بینی و تخمین عملکرد گیاهان است. تخمین دقیق رشد و عملکرد توسط مدل‌های گیاهی وابسته به داده‌های ورودی با کیفیت 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 آبی در هفت شهرستان خراسان رضوی است. بنابراین از آمار هواشناسی ۷ ایستگاه هواشناسی شامل مشهد، کاشمر، نیشابور، گناباد، تربت‌جام، تربت‌حیدریه و سبزوار در طی دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۱۰ استفاده شد. همچنین داده‌های بازتحلیل AGMERRA در طی دوره آماری موردبررسی 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 موردبررسی، شهرستان‌های کاشمر، سبزوار و گناباد کمترین تولید گندم آبی در سطح استان را داشته‌اند که شهرستان کاشمر روند کاهشی در طی دوره ۱۳۷۴-۱۴۰۱ دارد. 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 موردنظر با استفاده از داده‌های مشاهداتی و داده‌های AGMERRA با استفاده از مدل DSSAT محاسبه شد. نتایج شاخص‌های آماری RMSE، NRMSE و R^2 نشان داد، داده‌های مشاهداتی با سنج‌های خطا 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 دارند. با توجه به اینکه داده‌های AGMERRA دارای مقادیر خطای کمی (NRMSE بین $9/21$ تا $11/89$) هستند بنابراین این دو مجموعه داده پایگاه داده مناسبی به‌عنوان ورودی مدل‌های گیاهی در مناطقی که داده کافی در دسترس نیست هستند. 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 دارند. و هر دو گروه داده مشاهداتی و AGMERRA بخوبی توانسته‌اند تخمین مناسبی از عملکرد گیاهی را بزنند که از این دو مجموعه داده، داده‌های مشاهداتی نسبت به داده‌های AGMERRA بهتر توانسته‌اند عملکرد گندم آبی را شبیه‌سازی کنند.

سپاسگزاری

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

References

1. 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>.
2. 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. doi: 10.22055/agen.2021.37397.1603. (In Persian with English abstract)
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. doi: 10.22059/ije.2020.303567.1339. (In Persian with English abstract)
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.
6. Dahmardeh, A., Shahriari, A., Pahlavan Rad, M. R., Shabani, A., & GHOBANI, 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. doi: 10.22055/agen.2021.35343.1588. (In Persian with English abstract)
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. doi: 10.22067/jag.v12i4.77250. (In Persian with English abstract)
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. doi: 10.22067/jcsc.2021.69532.1044. (In Persian with English abstract)
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.
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.
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. doi: 10.22067/jcsc.2022.78172.1192. (In Persian with English abstract)
13. 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. doi: 10.22067/jcsc.2022.78172.1192. (In Persian with English abstract)
14. 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. Doi: 10.30499/ijg.2022.360882.1452. (In Persian with English abstract)
15. 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. doi: 10.22125/iwe.2021.138351. (In Persian with English abstract)
16. 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. doi: 10.22067/jsw.v29i6.41686. (In Persian with English abstract)
17. 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 Farsi)
18. 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.
19. 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.
20. 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)

21. 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>
22. 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. doi: 10.22067/jsw.v32i3.68501. (In Persian with English abstract)
23. 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.
24. 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.
25. 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. Doi: 10.22067/jsw.v32i2.68948. (In Persian with English abstract)
26. 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*, Volume: 1, Number: 10. (In Persian with English abstract)