



## Investigating changes in the growth period of rainfed wheat under the influence of climate change

Siavash Ansari Kordkandy<sup>1</sup> | Saman Javadi Pirbazari<sup>2</sup> |  
S. Mehdy Hashemy Shahdany<sup>3</sup> | Behzad Azadegan<sup>4</sup>

1. Department of Water Engineering, Aburihan Faculty of Agricultural Technology, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: [Ansari.siavash@ut.ac.ir](mailto:Ansari.siavash@ut.ac.ir)
2. Corresponding Author, Department of Water Engineering, Aburihan Faculty of Agricultural Technology, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: [Javadis@ut.ac.ir](mailto:Javadis@ut.ac.ir)
3. Department of Water Engineering, Aburihan Faculty of Agricultural Technology, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: [Mehdi.hashemy@ut.ac.ir](mailto:Mehdi.hashemy@ut.ac.ir)
4. Department of Water Engineering, Aburihan Faculty of Agricultural Technology, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: [Bazad@ut.ac.ir](mailto:Bazad@ut.ac.ir)

### Article Info

#### Article type:

Research Article

#### Article history:

Received 23 July 2023

Received in revised form

1 October 2023

Accepted 7 November 2023

Published online 14 March 2024

#### Keywords:

*Climate Change*

*Precipitation*

*Rainfed wheat*

*Tabriz basin*

### ABSTRACT

Agriculture, especially rainfed agriculture, is one of the branches that is largely affected by the effects of climate change. The previous studies regarding the estimation of the length of the dry season wheat growth period in the country are mainly related to the length of the growth period of the past years or based on the growing degree day method, which is not very realistic. The purpose of this research is to estimate the length of the average growth period of rainfed wheat for the Tabriz Plain for the past 20 years (1993-2017) and the future conditions under the simulation of GCM models, for the next 50 years (1394-1444), using the meteorological parameters of temperature and rainfall. In the first step, the state of future conditions was evaluated under the GCM models of the sixth report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) and under the SSP1-2.6 and SSP5-8.6 scenarios, and then with the proposed method of the ecological zoning guidelines of the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), the length of the growth period of each period has been estimated and compared with each other. According to the FAO method, the length of the growth period is equivalent to the period of time when the rainfall is more than 50 percent of the potential evaporation and transpiration. It has been done. The results of comparing the length of the growth period of the base period and the state of future conditions under the simulation of GCM models showed that in the Tabriz Plain, the length of the wheat growth period has increased by an average of 16 days for the next 50 years, and the end of the growth period by an average of 12 days later.

**Cite this article:** Ansari Kordkandy, S., Javadi Pirbazari, S., Hashemy Shahdany, S. M., & Azadegan, B. (2024). Investigating changes in the growth period of rainfed wheat under the influence of climate change. *Journal of Water and Irrigation Management*, 14 (1), 17-42. DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2023.361920.1092>



© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2023.361920.1092>



## بررسی تغییرات طول دوره رشد گندم دیم تحت تأثیر تغییر اقلیم (مطالعه موردی: دشت تبریز)

سیاوش انصاری کردکندی<sup>۱</sup> | سامان جوادی پیربازاری<sup>۲</sup> | سید مهدی هاشمی شاهدانی<sup>۳</sup> | بهزاد آزادگان<sup>۴</sup>

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: [Ansari.siavash@ut.ac.ir](mailto:Ansari.siavash@ut.ac.ir)

۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی آب، دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: [Javadis@ut.ac.ir](mailto:Javadis@ut.ac.ir)

۳. گروه مهندسی آب، دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: [mehdi.hashemy@ut.ac.ir](mailto:mehdi.hashemy@ut.ac.ir)

۴. گروه مهندسی آب، دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: [Bazad@ut.ac.ir](mailto:Bazad@ut.ac.ir)

### اطلاعات مقاله

### چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

کشاورزی و به‌ویژه زراعت دیم به‌عنوان یکی از شاخه‌هایی است که تا حد زیادی تحت تأثیر اثرات تغییرات اقلیمی قرار دارد. مطالعات انجام‌گرفته قبلی در خصوص برآورد طول دوره رشد گندم دیم در کشور، به‌طور عمده مربوط به بررسی طول دوره رشد سال‌های گذشته و یا براساس روش درجه روز رشد هستند که چندان واقع‌گرایانه نمی‌باشد. هدف این پژوهش برآورد طول دوره رشد متوسط گندم دیم دشت تبریز برای ۲۰ ساله گذشته (۱۳۷۲ الی ۱۳۹۳) و ۵۰ سال آینده می‌باشد. در گام نخست، وضعیت شرایط آینده تحت شبیه‌سازی مدل‌های GCM گزارش ششم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC)<sup>۲</sup> و تحت سناریوهای SSP1-2.6<sup>۳</sup> و SSP5-8.6<sup>۴</sup> ارزیابی شده و سپس با روش پیشنهادی دستورالعمل ناحیه‌بندی اکولوژیکی سازمان خواروبار و کشاورزی ملل متحد (FAO)<sup>۵</sup>، طول دوره رشد هر دوره برآورد و با یکدیگر مقایسه شده است. مطابق روش فائو، طول دوره رشد معادل بازه زمانی است که بارندگی بیش از ۵۰ درصد تبخیر و تعرق پتانسیل باشد که این بازه زمانی با پیدا کردن نقاط تقاطع نمودار ماهانه بارندگی و ۵۰ درصد تبخیر و تعرق پتانسیل و مشخص شدن تاریخ شروع و پایان دوره رشد انجام گرفته است. نتایج حاصل از مقایسه طول دوره رشد دوره پایه و وضعیت شرایط آینده تحت شبیه‌سازی مدل‌های GCM نشان داد که در دشت تبریز برای ۵۰ سال آینده طول دوره رشد گندم، به‌طور متوسط به میزان ۱۶ روز افزایش یافته و پایان دوره رشد به‌طور متوسط به میزان ۱۲ روز دیرتر اتفاق خواهد افتاد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۰۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۷/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۱۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۲/۲۴

### کلیدواژه‌ها:

بارندگی

تبخیر و تعرق

فائو

نگاشت چندگی

**استناد:** انصاری کردکندی، سیاوش؛ جوادی پیربازاری، سامان؛ هاشمی شاهدانی، سید مهدی و آزادگان، بهزاد (۱۴۰۳). بررسی تغییرات طول دوره رشد گندم دیم تحت تأثیر تغییر اقلیم (مطالعه موردی: دشت تبریز). *نشریه مدیریت آب و آبیاری*، ۱۴ (۱)، ۱۷-۴۲.

DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2023.361920.1092>



## ۱. مقدمه

با توجه به اثرات وسیع تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی به‌ویژه زراعت دیم و با عنایت به این‌که براساس گزارش Agricultural Statistics of Iran Crops (2021)، حدود ۴/۲ میلیون هکتار از اراضی کشور تحت کشت گندم دیم می‌باشد، لازم است تحقیقاتی جهت بررسی اثرات تغییرات اقلیم بر روی شاخص‌های فنولوژیکی و عملکرد محصولات زراعی از جمله گندم که غذای اصلی در کشور ما محسوب می‌شود، انجام گیرد تا راه‌کارهای مناسب برای مقابله با عوارض منفی پدیده تغییر اقلیم و سازگاری با آن اعمال گردد.

یکی از عوامل اصلی تعیین‌کننده بازده عملکرد محصولات کشاورزی، زمان در دسترس برای رد طبیعی محول برای فتوسنتز است که از این زمان به‌عنوان طول دوره رشد (LGP)<sup>۵</sup> اطلاق می‌شود که از فاکتورهای دما و رطوبت تأثیر می‌پذیرد. مطالعات انجام‌گرفته قبلی در خصوص برآورد طول دوره رشد گندم دیم در کشور، به‌طور عمده مربوط به بررسی طول دوره رشد گندم برای سال‌های گذشته می‌باشد. از طرف دیگر بیش‌تر پژوهش‌گران برای برآورد طول دوره رشد روش درجه روز رشد را مورداستفاده قرار داده‌اند که براساس تعریف فائو تعیین طول فصل رشد تنها براساس درجه حرارت چندان واقع‌گرایانه نمی‌باشد. زیرا در بسیاری از مناطق خشک یا نیمه‌خشک رطوبت عامل اصلی محدودکننده رشد است. لذا حتی در صورت مناسب‌بودن درجه حرارت برای رشد، عدم دسترسی به آب کافی، رشد را به‌شدت محدود خواهد کرد. این امر به‌ویژه در شرایط دیم که تولید اساساً بر وجود رطوبت کافی استوار است دارای اهمیت می‌باشد (FAO, 2021).

هدف این پژوهش برآورد طول دوره رشد متوسط گندم دیم برای دشت تبریز مربوط به ۲۰ ساله گذشته (۱۳۷۲ الی ۱۳۹۳) و وضعیت شرایط آینده تحت شبیه‌سازی مدل‌های GCM، برای ۵۰ سال آینده (۱۳۹۴ الی ۱۴۴۴)، با بهره‌گیری از پارامترهای هواشناسی دما و بارندگی و با استفاده از روش پیشنهادی دستورالعمل ناحیه‌بندی اکولوژیکی فائو می‌باشد. در خصوص تغییر اقلیم Mozafari et al. (2015) با استفاده از مدل‌های گزارش پنجم تغییر اقلیم، شرایط تغییر اقلیم آینده را بررسی نموده و عنوان کردند که تحت تمام سناریوها و آستانه‌های حرارتی با افزایش مقدار درجه-روز همراه می‌باشند و براساس شبیه‌سازی انجام گرفته، بیش‌ترین افزایش میانگین دمای سالانه منطقه شمال‌غرب به‌ترتیب تحت سناریوهای A2، A1B و B1 گزارش نمودند. Kashki et al. (2021) روند تغییرات دمای ایستگاه‌های همدید مراغه، میانه، جلفا و تبریز به‌کمک مدل ریزمقیاس نمایی آماری SDSM تحت سه سناریوی واداشت تابشی خوش‌بینانه، حد واسط و بدبینانه طی دو دوره آینده نزدیک (۲۰۱۶-۲۰۴۴) و آینده میانی (۲۰۴۵-۲۰۷۳) مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور، داده‌های مشاهده‌ای میانگین حداکثر و حداقل دما برای ۲۹ سال (۲۰۱۵-۱۹۸۷) به‌عنوان ورودی وارد مدل نمودند و نتایج خروجی مدل ریزمقیاس نمایی آن‌ها نشان داد که تغییرات دما در دوره‌های آینده در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه روند افزایشی دارند که در این میان، برای دوره آینده میانی (۲۰۴۵-۲۰۷۳) در سناریوی بدبینانه این افزایش دما محسوس‌تر است.

در زمینه محاسبه طول فصل رشد تاکنون پژوهش‌های متعددی هم در داخل و هم خارج کشور انجام شده است که از آن جمله، Fateh et al. (2015) با بررسی واحدهای گرمایی تجمعی در طول فصل رشد گندم در ایران نشان داد که میزان واحدهای گرمایی طول فصل رشد در پایه دمایی صفر درجه سانتی‌گراد از جنوب به شمال و از غرب به شرق کشور می‌یابد. Mozafari et al. (2015) برای محاسبه واحدهای حرارتی، ابتدا طول فصل رشد را در آستانه‌های دمایی پنج و ۱۰ درجه سانتی‌گراد طبقه‌بندی و پس از محاسبه واحدهای حرارتی در طول فصل رشد، نقشه پهنه‌بندی واحدهای حرارتی و طول فصل رشد را در نرم‌افزار GIS<sup>۶</sup> تهیه و واحدهای حرارتی فصل رشد در پایه دماهای پنج و ۱۰ درجه سانتی‌گراد را به پنج دسته تقسیم نمودند. براساس نتایج مطالعات آن‌ها، واحدهای حرارتی فصل رشد در پایه از پنج

درجه سانتی‌گراد از جنوب به شمال و از غرب به شرق کشور روند افزایشی را نشان داد و در دمای پایه ۱۰ درجه سانتی‌گراد، واحدهای حرارتی از جنوب به شمال کاهش یافته و از غرب به شرق افزایش یافت.

در پژوهشی Mahadevaswamy *et al.* (2016)، با استفاده از روش اکولوژیکی فائو و براساس داده‌های بارندگی هفتگی (RF)<sup>۷</sup> و تبخیر و تعرق بالقوه (PET)<sup>۸</sup> در ۵۲ هفته استاندارد برای دوره ۲۰ ساله (۱۹۹۶-۲۰۱۵) طول دوره رشد را برای منطقه کارناتاکا مورد مطالعه قرار دادند و نشان دادند که طول دوره رشد معادل ۲۱۰ روز از سال از هفته دوم آوریل تا هفته اول نوامبر امکان‌پذیر بود.

در گزارش روش اکولوژیکی فائو (FAO, 2021)، پژوهش‌های جامعی در زمینه طول فصل رشد در مورد کشورهای مختلف جهان انجام شده است که در واقع حاوی تعداد مختلفی پژوهش است که طول فصل رشد کشور ایران نیز در نقشه‌های پهنه‌بندی طول فصل رشد گنجانده شده است.

Rahmani *et al.* (2013) اثر تغییر اقلیم را بر طول دوره رشد نیاز آبی گندم جو را در دشت بیرجند بررسی کرده و به این نتیجه رسیدند که تحت تأثیر تغییر اقلیم، درجه حرارت‌های کمینه و بیشینه در تمامی ماه‌های سال افزایش می‌یابد. Nikkha (2013) اثر تغییر اقلیم را بر مراحل فنولوژی گندم در همدان را بررسی نموده و نشان داد که به‌علت افزایش دما در آینده، بازه زمانی مناسب برای کاشت گندم در همدان افزایش، درحالی‌که طول دوره رشد گیاه کوتاه‌تر خواهد شد. مطالعات پیشین انجام گرفته در داخل کشور در خصوص تخمین فصل رشد به‌طور عمده مربوط به دوره آماری گذشته بوده است و یا این‌که براساس گزارش پنجم مجمع عمومی هیئت بین‌دولتی تغییرات آب‌وهوا بوده است. نوآوری این پژوهش استفاده از روش اکولوژیکی فائو و تخمین طول دوره رشد برای وضعیت شرایط آینده تحت شبیه‌سازی مدل‌های GCM و استفاده از مدل‌های به‌روزشده تغییر اقلیم براساس گزارش ارزیابی ششم تغییر اقلیم موسوم به AR6<sup>۹</sup> است. به‌طوری‌که علاوه بر تخمین طول دوره رشد متوسط ۲۰ سال گذشته، طول دوره رشد برای وضعیت شرایط آینده تحت شبیه‌سازی مدل‌های GCM برآورد شده و نتایج به‌دست‌آمده با دوره پایه مورد مقایسه قرار گرفته است.

## ۲. مواد و روش‌ها

فصل رشد را می‌توان به‌عنوان دوره‌ای تعریف کرد که طی آن ویژگی‌های توزیع بارندگی برای جوانه‌زنی، استقرار، رشد و رسیدن محصول مناسب است. از این‌رو، شروع و توقف بارندگی در فصل رشد کشاورزی دیم در برنامه‌ریزی‌های کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. ترکیب این دو، طول فصل رشد را تعیین می‌کند. طول فصل رشد، در شرایط دیم، به‌عنوان دوره‌ای از تاریخ شروع فصل بارندگی تا تاریخ توقف آن تعریف می‌شود (Mhizha *et al.*, 2012). طول فصل رشد همان‌طور که توسط گزارش طبقه‌بندی هیدرولوژیکی فائو برای کل کشورها (FAO, 2021)، دوره‌ای در طول یک سال است که در آن بارش از نصف تبخیر و تعرق پتانسیل تجاوز می‌کند ( $RF/PET < 0.5$ ). در این تعریف، تعداد روزهای با دمای کمتر از پنج درجه سانتی‌گراد (حداقل درجه حرارت برای رشد گندم) و دوره‌هایی که خیلی سرد، خیلی خشک یا هم خشک و هم سرد هستند، لحاظ نمی‌شوند (Mhizha *et al.*, 2012).

برای تخمین طول فصل رشد گندم دیم در این پژوهش، روش ناحیه‌بندی اکولوژیکی فائو (GAEZ) مورد استفاده شده است. روش GAEZ فائو ابتدا در دهه ۱۹۸۰ برای ارزیابی ظرفیت منابع طبیعی جهان برای برآورد نیازهای جمعیت جهانی در حال رشد به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه اجرا شده که در زمان تهیه پژوهش حاضر، چهارمین نسخه به‌روز آن تحت عنوان GAEZ(V4) منتشر شده است. در این روش، ابتدا نقاط تقاطع گراف‌های بارندگی و ۵۰ درصد تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه در یک نمودار تعیین گردیده که تقاطع اول دو

نمودار مذکور، نشان دهنده پایان دوره بارش و تقاطع دوم نشان دهنده شروع دوره رشد است. براساس روش فائو مدت زمانی که بعد از پایان دوره بارش طول می کشد تا خاک ۱۰۰ میلی متر از رطوبت ذخیره شده را در اثر تبخیر و تعرق از دست بدهد، به بازه زمانی بین نقاط تقاطع افزوده می گردد تا روز پایان رشد مشخص گردد. اختلاف بین شروع و پایان رشد، بیانگر طول دوره رشد خواهد بود.

به منظور برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل از بین روش های مختلف، روش تورنت وایت انتخاب شده است. علت انتخاب این روش ساده تر بودن رابطه، کم تر بودن پارامترهای وابسته و اخذ نتایج قابل قبول برای اقلیم های مختلف کشور بوده است (Pashakhah *et al.*, 2014).

بعد از محاسبه طول فصل رشد برای دوره پایه، برای وضعیت شرایط آینده تحت شبیه سازی مدل های GCM نیز طول دوره رشد استخراج و با نتایج به دست آمده برای دوره پایه مورد مقایسه قرار گرفته است. به منظور برآورد داده های دما و بارش برای وضعیت شرایط آینده تحت شبیه سازی مدل های GCM، به استناد گزارش ششم هیئت بین الدول تغییر اقلیم، با در نظر گرفتن دوره ۱۳۷۲-۱۳۹۳ به عنوان دوره پایه، عوامل اقلیمی (دما و بارش) به کمک مدل های جفت شده جوی-اقیانوسی (AOGCM) شامل مدل های ACCESS-CM2، IPSL-CM6A و GFDL-ESM4 درون یابی و با استفاده از روش ها نگاشت چندکی ریزمقیاس نمایی و تصحیح انحرافات داده های مذکور شده اند. سناریوهای تغییر اقلیم بررسی شده نیز سناریوهای خوش بینانه (SSP1-2.6) و بدبینانه (SSP5-8.5) می باشد. در شکل (۱) مراحل انجام پژوهش ارائه گردیده است.

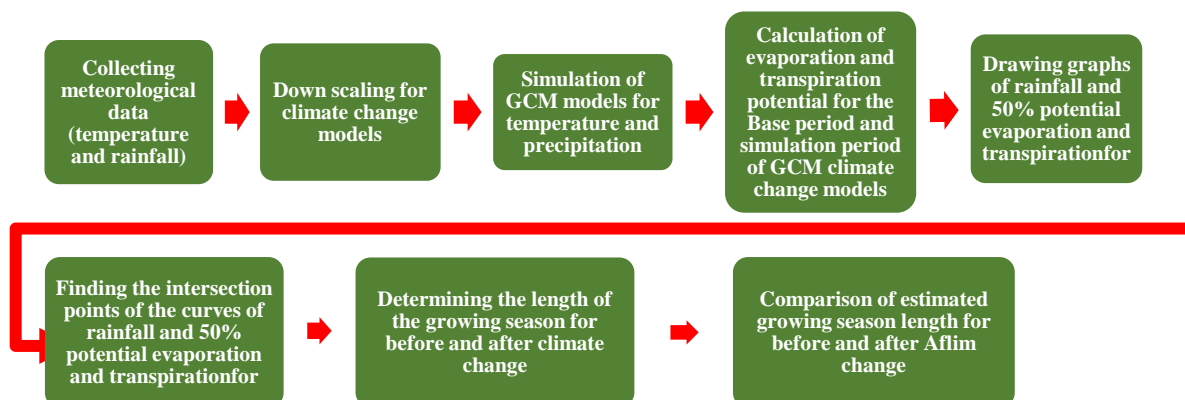


Figure 1. Flowchart of research steps

## ۱.۲. منطقه مورد مطالعه

با توجه به اهمیت موضوع دوره رشد در برنامه ریزی های کشاورزی گندم دیم و ضرورت سازگاری با شرایط کم آبی در دشت تبریز، منطقه مورد مطالعه این پژوهش، دشت تبریز در نظر گرفته شده است. دشت تبریز، با مساحت سه هزار هکتاری در استان آذربایجان شرقی قرار دارد. این دشت از شمال به دامنه های جنوبی کوه های میشو، از جنوب به دامنه های شمالی سهند، از شرق به محدوده شهر تبریز و از غرب به اراضی شوره زار و دریاچه ارومیه محدود می شود. جهت تهیه آمار دمای بیشینه، دمای کمینه و بارندگی روزانه ۲۰ سال گذشته (۱۳۷۲-۱۳۹۳) از داده های تاریخی ایستگاه هواشناسی سینوپتیک تبریز استفاده شده است که در مختصات جغرافیایی با طول ۴۶/۲۴ و عرض ۳۸/۱۲ درجه و ارتفاع ۱۹۵۱ متر از سطح آب های آزاد قرار دارد. در شکل (۲) محدوده جغرافیایی دشت تبریز نشان داده شده است.

## ۲.۲. شبیه‌سازی شرایط تغییر اقلیم تحت مدل‌های GCM

به‌منظور تصویرسازی تغییرات اقلیم در دوره‌های آتی، مدل‌های سه بعدی جفت‌شده گردش عمومی جو-اقیانوس (GCM) معتبرترین ابزار هستند (IPCC, 2021). مدل‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر شامل سه مدل ACCESS-CM2، ACCESS-CM2 و GFDL-ESM4 می‌شود. این مدل‌های گردش عمومی به دلیل ارجاع مقالات و پژوهش‌های معتبر جهانی در مناطقی که اقلیم مشابه کشور ایران را دارا هستند و پیشینه مطالعاتی قابل اعتماد و استناد و همچنین توصیه اساتید و دانشمندان علوم مربوط به تغییر اقلیم انتخاب شدند. با استفاده از سنجه آماری کلینگ-گوپتا (KGE)<sup>۱۱</sup> برای تعیین میزان دقت هر مدل استفاده شد. این سنجه در عین سادگی، آماره میانگین، انحراف معیار و ضریب همبستگی سری داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی حاصل از مدل را لحاظ کرده و وزن‌دهی براساس این سنجه، می‌تواند کمک شایانی را در افزایش دقت نتایج تصویرسازی مدل‌ها داشته باشد. هرچه میزان این سنجه به یک نزدیک‌تر باشد، توانایی مدل در شبیه‌سازی دما یا بارش دوره تاریخی بهتر خواهد بود (Zarrin et al., 2021). روابط (۱) الی (۳) نحوه محاسبه سنجه KGE و جدول (۲) مشخصات مدل‌های تغییر اقلیم مورد استفاده در این پژوهش را نشان می‌دهند.

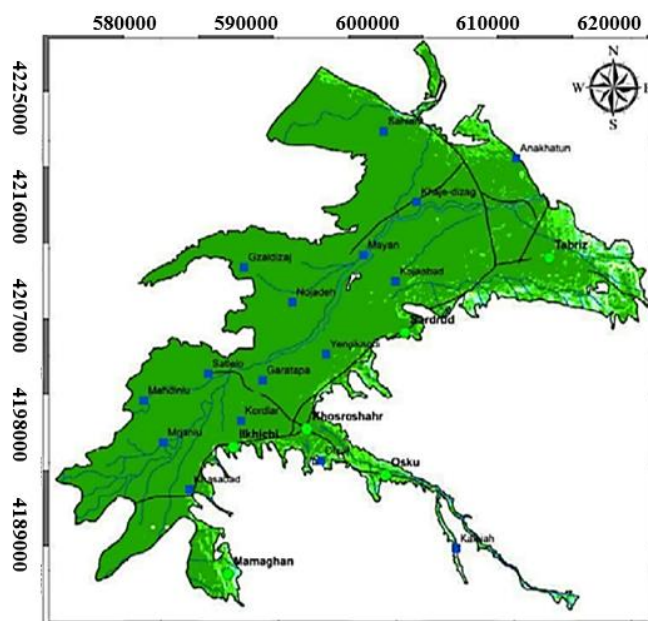
$$KGE=1-\sqrt{(r-1)^2+(\alpha-1)^2+(\beta-1)^2} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$\alpha=\frac{\sigma_s}{\sigma_o} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$\beta=\frac{\mu_s}{\mu_o} \quad \text{رابطه (۳)}$$

**Table 1.** Characteristics of climate change models used in this research

Model	Source	Resolution (km)
ACCESS-CM2	Scientific and Industrial Research Organization Commonwealth of Australia	250
ACCESS-CM2	Pierre Simon Laplace Institute - France	100
GFDL-ESM4	American Fluid Dynamics Laboratory	50



**Figure 2.** Geographical location of Tabriz plain

### ۳.۲. سناریوهای گزارش ششم تغییر اقلیم

در گزارش ششم IPCC مجموعه اصلی هشت سناریو در دو ردیف براساس مسیرهای اجتماعی و اقتصادی مشترک (SSP) به طور مداوم استفاده می‌شود. این سناریوها طیف وسیع تری از گازهای گلخانه‌ای و آینده آلاینده‌های هوا را نسبت به آنچه در گزارش‌های قبلی ارزیابی شده است، پوشش می‌دهند و شامل پیش‌بینی‌های بالای گاز دی‌اکسیدکربن (CO<sub>2</sub>) بدون کاهش تغییرات آب‌وهوایی و همچنین مسیرهای جدید انتشار کم CO<sub>2</sub> است. ردیف یک طیف وسیعی از عدم قطعیت‌ها در خطوط سیر واداشت آتی را در بر می‌گیرد که در مطالعات اقلیمی، ارزیابی یکپارچه مدل‌ها (IAM)<sup>۱۲</sup> و اثرات، سازگاری و آسیب‌پذیری (IAV)<sup>۱۳</sup> از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. ردیف دو شامل سناریوهای اضافی، اعضای ترکیبی و گسترش بلندمدت اضافی، می‌شود. در این ردیف، دو سناریوی کاهشی به‌منظور دستیابی به برون‌داد واداشت نسبتاً کم و یک سناریو با لحاظ محدودکردن میانگین دمای جهانی تا زیر ۱/۵ درجه نسبت به سطوح واداشت پیش از صنعتی‌شدن و یک سناریو با خط سیر بسیار زیاد اضافه شده‌اند. گزارش AR6 دارای سناریوهای جدیدی است که منجر به نتایج مشابه سناریوهای RCP<sup>۱۴</sup> در گزارش پنجم برای سال ۲۱۰۰ می‌شود. با این حال، حتی اگر نتایج آن‌ها در پایان قرن یکسان باشد، مسیرهای انتشار و ترکیب CO<sub>2</sub> و انتشارات غیر CO<sub>2</sub> متفاوت است. در جدول (۱) مشخصات هر یک از سناریوها آورده شده است.

**Table 2.** The specifications of the scenarios of rows 1 and 2 of the sixth report (AR6)

Row	Scenario	Radiative Forcing of 2100 (w/m <sup>2</sup> )	Radiative forcing category
1	SSP1-2.6	2.6	Low
	SSP5-8.5	8.5	High
	SSP2-4.5	4.5	Medium
2	SSP3-7.0	7	High
	SSP4-6.0	6	Medium
	SSP4-3.4	3.4	Low
	SSP5-3.4-os	3.4	Very high
	SSP x-y (1-2.0)	2.6	Low

در این مطالعه دو سناریوی خوش‌بینانه SSP1-2.6 و بدبینانه SSP5-8.5 مورد ارزیابی قرار گرفته است. سناریوی SSP1-2.6، پایین‌ترین میزان واداشت تابشی را نشان می‌دهد و پایداری کاربری اراضی در زمان آینده، یکی از خصوصیات اصلی این سناریو است. سناریوی SSP5-8.5 نیز حد بالای واداشت تابشی را ارائه می‌دهد که در آن پیشرفت با استفاده از سوخت فسیلی و الگوی مصرف بالای انرژی همراه است (Estoque *et al.*, 2020).

### ۴.۲. ریزمقیاس‌نمایی داده‌های تغییر اقلیم

یکی از محدودیت‌های عمده در استفاده از خروجی مدل‌های GCM بزرگ‌مقیاس‌بودن سلول محاسباتی می‌باشد. با وجود بهبود قدرت تفکیک‌پذیری مدل‌های CMIP6 همچنان عملکرد این مدل‌ها در تفکیک مکانی ضعیف بوده و دارای خطاهای سیستماتیک می‌باشند، به طوری که با دقت مورد نیاز مدل‌های هیدرولوژیکی مطابقت ندارد. جهت تصحیح این خطاها و افزایش دقت خروجی آن‌ها در مقیاس محلی، روش‌های مختلفی وجود دارد که قادر به تولید سناریوهای اقلیمی منطقه‌ای از سناریوهای اقلیمی مدل‌های GCM می‌باشند که به این روش‌ها ریزمقیاس‌نمایی گفته می‌شود. در واقع، روش‌های ریزمقیاس‌نمایی با تصحیح بخشی از خطاهای سیستماتیک توسط برقراری روابط آماری بین مشاهدات محلی و متغیرهای بزرگ‌مقیاس، دقت خروجی مدل‌های گردش کلی را تا ابعاد ایستگاهی افزایش می‌دهند. روش‌های ریزمقیاس‌نمایی به دو دسته عمده تقسیم می‌شوند: الف) روش‌های دینامیکی: مانند مدل‌های منطقه‌ای

(RCM)<sup>۱۵</sup> و (ب) روش‌های آماری که بین متغیرهای مستقل (پیش‌بینی‌کننده) و متغیرهای وابسته (پیش‌بینی‌شونده) روابط تجربی-آماري برقرار می‌کنند. اگرچه مدل‌های منطقه‌ای نوید تحول عظیمی را در روش‌های ریزمقیاس‌نمایی می‌دهند، اما مدل‌های آماری مزیت‌هایی دارند که آن‌ها را برای پژوهش‌گران کارا و سودمند می‌سازد. این مدل‌ها به زمان محاسباتی و منابع محدودتری نیاز دارند و برای خروجی‌های مختلف مدل‌های GCM در مناطق گوناگون قابل کاربرد می‌باشند (IPCC, 2021).

در این پژوهش با توجه عملکرد روش‌های مختلف نگاشت چندکی در تولید داده‌های اقلیمی، به کمک روش نگاشت چندکی، تصحیح اریبی داده‌های بارش شبکه در مقیاسه با نقاط مرجع زمینی انجام شده و ریزمقیاس‌نمایی برونداد مدل‌های ACCESS-CM2، IPSL-CM6A و GFDL-ESM4 تولید داده‌های مصنوعی جهت پیش‌بینی اقلیم دوره‌های ۱۳۹۴-۱۴۴۴ اجرا شده است.

روش نگاشت چندکی از دسته روش‌های تصحیح اریبی داده‌های بزرگ‌مقیاس است که توزیع احتمال داده‌های بزرگ‌مقیاس را بر مبنای اطلاعات مشاهده‌ای ایستگاه‌ها اصلاح کند. هدف از این روش، در واقع نزدیک‌نمودن توزیع احتمال داده‌های بزرگ‌مقیاس به توزیع احتمال داده‌های ایستگاه است. برای این منظور، ابتدا تابع توزیع تجمعی (CDF)<sup>۱۶</sup> داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های بزرگ‌مقیاس TRMM<sup>۱۷</sup> در سلول‌های واجد ایستگاه زمینی تعیین می‌شود. سپس، به کمک یک رابطه مناسب بین چندک‌های بارش مشاهده‌ای و بارش TRMM می‌توان داده‌های شبکه بارش TRMM را اصلاح نمود. در این مطالعه، برای اجرای روش‌های مختلف نگاشت چندکی از بسته نرم‌افزاری qmap نسخه 1.0-4 (2016) در محیط نرم‌افزار R استفاده شد (Zarrin et al., 2021).

با توجه به نتایج پژوهش Bazrafshan et al. (2021) از بین روش‌های مختلف نگاشت چندکی، روش پارامتری تبدیل مقیاس (PTF: Sacal) نسبت به سایر روش‌ها، با تقریب مناسبی داده‌های بزرگ‌مقیاس را به داده‌های ایستگاه هواشناسی تبدیل می‌کند، لذا در این پژوهش نیز از همان روش مذکور جهت ریزمقیاس‌نمایی استفاده شده است.

روش نگاشت چندک که با عناوین تبدیل چندک به چندک و یا تطبیق تابع توزیع تجمعی نیز نامیده می‌شود، روشی ساده و محبوب در پس پردازش پیش‌بینی‌های GCM است که قابلیت خوبی در حذف اریبی گشتاورهای اول و دوم آماری (میانگین و انحراف معیار) دارد (Ajaj et al., 2015). این روش براساس توابع توزیع تجمعی (CDF) و با جایگزین کردن مقدار پیش‌بینی‌شده با مقدار مشاهداتی در چندک مشابه موجب حذف اریبی می‌شود. در شرایطی که رابطه  $Z_i$  بارش تصحیح‌شده و  $Y_i$  بارندگی مدل،  $F_{si}$  تابع توزیع تجمعی مدل و  $F_{oi}$  تابع توزیع تجمعی بارندگی در نظر گرفته شوند، رابطه (۴) جهت تبدیل CDF پیش‌بینی‌ها به CDF مشاهدات مورد استفاده قرار گرفته است.

$$Z_i = F_{oi}^{-1}(F_{si}(Y_i)) \quad \text{رابطه ۴}$$

که در آن،  $Y_i$  بارش پیش‌بینی‌شده،  $F_{si}$  معرف CDF متناظر با بارش پیش‌بینی‌شده و  $F_{oi}^{-1}$  معکوس CDF متناظر با بارش تصحیح‌شده ( $P_o$ ) است (Gudmundsson et al., 2016).

در این پژوهش روش مذکور بر روی تک تک اعضای پیش‌بینی بارش و دما و به‌طور جداگانه برای هر ماه اعمال شده است. تکنیک ارزیابی این روش Leave-One-Out Cross Validation (LOOCV) بوده است. این تکنیک حالت خاصی برای leave-K-out cross-validation است که در آن K برابر یک در نظر گرفته می‌شود. در این حالت، به‌عنوان مثال برای ارزیابی یک دوره ۳۱ ساله، مدل ۳۱ بار و هر بار با ۲۹ داده آموزش داده می‌شود و داده‌های که بیرون نگه‌داشته شده پیش‌بینی می‌گردد. این روش امکان شرکت کلیه مقادیر در فرایند آموزش را فراهم می‌کند.



## ۵.۲. برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل

به منظور محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل از بین روش‌های مختلف، روش تورنت وایت انتخاب شده است. روش تورنت وایت براساس یک رابطه تجربی بین مقدار تبخیر تعرق مرجع و میانگین درجه حرارت هوا ارائه شده است (Maeda *et al.*, 2010). معادلات این روش به صورت روابط (۵) و (۶) است.

$$ET_0 = 16N_m \left( \frac{10T_i}{I} \right)^a \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left( \frac{T_i}{5} \right)^{1.51} \quad \text{رابطه (۶)}$$

که در آن  $T_i$ ، متوسط دمای هوا در ماه مورد نظر،  $N_m$ ، ضریب اصلاحی برای عرض‌های مختلف جغرافیایی و ماه‌های مختلف،  $I$ ، شاخص حرارتی سالانه و  $a$  ضریب تبدیل است که به صورت رابطه (۷) محاسبه می‌گردد.

$$a = 6.75 \times 10^{-7}I^3 - 7.71 \times 10^{-5}I^2 + 1.792 \times 10^{-2}I + 0.492 \quad \text{رابطه (۷)}$$

لازم به توضیح است که در صورتی که متوسط دما در یک ماه صفر یا منفی شود، شاخص حرارتی ماهانه، برای آن ماه صفر در نظر گرفته می‌شود.

## ۶.۲. برآورد طول دوره رشد

براساس طبقه‌بندی اکولوژیکی فائو، تعیین طول فصل رشد (LGP) براساس میزان رطوبت قابل استفاده گیاه تعیین می‌شود. براساس روش FAO تعیین طول فصل رشد واقعی با استفاده از میانگین میزان بارندگی ماهانه و میانگین تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه انجام می‌شود. بدین صورت که با رسم منحنی مربوط به ۵۰ درصد تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه، نقاط تلاقی این منحنی با منحنی تغییرات بارش، طول فصل رشد (LGP) را مشخص می‌سازد (Fischer *et al.*, 1998). فائو عنوان کرده است که یک دوره رشد نرمال و طبیعی به چهار دوره فرعی تقسیم می‌شود: الف) اولین دوره فرعی که شروع دوره نامیده می‌شود، زمانی است که بارندگی از میزان تبخیر و تعرق پتانسیل ( $ET_0$ ) کمتر اما از نصف  $ET_0$  بیش‌تر است، ب) دوره مرطوب که در طول آن بارندگی از میزان  $ET_0$  بیش‌تر است، ج) پایان فصل بارندگی که میزان بارندگی بین  $\frac{ET_0}{2}$  قرار دارد و د) پایان دوره رشد که میزان بارندگی از  $\frac{ET_0}{2}$  هم کمتر است و در نتیجه گیاه از آب ذخیره‌شده در خاک استفاده می‌کند.

برای محصولات دیم این دوره نشان‌دهنده طول واقعی فصل رشد می‌باشد که با توجه شرایط آب‌وهوایی، الگوی متفاوتی قابل تعریف است. در این روش، نقطه تلاقی دوم دو منحنی مربوط به ۵۰ درصد تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه و بارش، نشان‌دهنده شروع فصل رشد و نقطه تلاقی دوم، نشان‌دهنده پایان فصل بارندگی است که اگر مطابق تعریف فائو از دوره رشد، دوره زمانی لازم برای تبخیر ۱۰۰ میلی‌متر آب فرضی ذخیره‌شده در خاک طی دوره مرطوب به روز پایان بارندگی اضافه شود، پایان فصل رشد مشخص خواهد شد (Anon, 1978). در این تحقیق علاوه بر مفهوم فوق محدودیت دمایی نیز در نظر گرفته شد و روزهایی که دمای متوسط شبانه روز آن‌ها طبق تعریف سازمان خواروبار کشاورزی ملل متحد از پنج درجه سانتی‌گراد کمتر است، از دوره رشد حذف شدند (Anon, 1996). فائو در گزارش طبقه‌بندی هیدرولوژیکی برای طول دوره رشد، یک رابطه ریاضی مطابق رابطه (۸) استخراج و معرفی نموده است که در آن  $P$ ، بارندگی و  $ET_0$ ، تبخیر و تعرق پتانسیل است. در این پژوهش مطابق روش فائو طول رشد برآورد و سپس با نتایج به دست آمده از رابطه پیشنهادی فائو مورد مقایسه قرار گرفته است.

$$LGP = \begin{cases} 14 + 293.66 \times \left( \frac{P}{ET_0} \right) - 61.25 \times \left( \frac{P}{ET_0} \right)^2 & \left( \frac{P}{ET_0} \right) \leq 2.4 \\ 366 & \left( \frac{P}{ET_0} \right) > 2.4 \end{cases} \quad \text{رابطه (۸)}$$

### ۳. نتایج و بحث

#### ۳.۱. تخمین دما و بارش برای شرایط تغییر اقلیم

به منظور استخراج داده‌های دما و بارش بعد از این که به کمک روش نگاشت چندکی پارامتری تبدیل مقیاس (PTF:Scale) داده‌های بزرگ مقیاس به داده‌های محلی ایستگاه هواشناسی تبریز تبدیل شدند. از بین مدل‌های CMIP6، به کمک سنجه آماری کلینگ-گوپتا (KGE) کارایی مدل‌های تغییر اقلیم در تولید داده‌های وضعیت شرایط آینده تحت شبیه‌سازی مدل‌های GCM ایستگاه هواشناسی تبریز مورد مقایسه قرار گرفتند. سه مدل ACCESS-CM2، IPSL-CM6A و GFDL-ESM4 دارای سنجه آماری KGE قابل قبولی بودند که در جدول (۳)، داده‌های دما و بارش خروجی سه مدل تحت سناریوی تغییر اقلیم SSP1-2.6 آورده شده و براساس این داده‌ها، سنجه آماری KGE محاسبه و در جدول (۴) درج شده است. همان‌طور که در جدول (۴) مشاهده می‌شود، مدل GFDL-ESM4 نسبت به دو مدل دیگر دارای KGE مناسب‌تری (نزدیک یک) هم برای دما و هم برای بارندگی می‌باشد. بنابراین به‌عنوان مدل منتخب پژوهش جهت خروجی‌های دما و بارش مورد استفاده قرار گرفته است. در جدول (۵)، خروجی حاصل از مدل GFDL-ESM4 برای سناریوهای خوش‌بینانه و بدبینانه آورده شده است. براساس نتایج به دست آمده متوسط دمای سالانه در هر سه مدل مورد مطالعه افزایش دما نسبت به دوره تاریخی را پیش‌بینی می‌نمایند که بیش‌ترین آن مربوط به مدل ACCESS و به میزان  $2/8$  درجه سانتی‌گراد است. مطابق نتایج به دست آمده از مدل‌ها، کاهش متوسط بارندگی در خروجی هر سه مدل مشهود می‌باشد که بیش‌ترین کاهش نیز مربوط به مدل ACCESS و به میزان  $35$  میلی‌متر می‌باشد. مقایسه دما و بارش دوره پایه با مقادیر برآورد شده برای دما و بارش در وضعیت شرایط آینده تحت شبیه‌سازی مدل‌های GCM براساس خروجی مدل منتخب این پژوهش یعنی مدل GFDL-ESM4 نشان می‌دهد که دمای متوسط هوای دشت تبریز برای وضعیت شرایط آینده تحت شبیه‌سازی مدل‌های GCM برای  $50$  سال آینده برای سناریوهای خوش‌بینانه و بدبینانه به ترتیب  $1/8$  و  $3/4$  درجه سانتی‌گراد گرم‌تر خواهد شد. این مقایسه برای تغییرات بارش بین دو دوره پایه و وضعیت شرایط آینده تحت شبیه‌سازی مدل‌های GCM حاکی آن است که تغییر بارندگی برای سناریوی خوش‌بینانه معادل  $11/9$  میلی‌متر افزایش و برای سناریوی بدبینانه معادل  $1/7$  میلی‌متر کاهش خواهد بود.

**Table 3.** Comparison of micro-scale temperature and precipitation data of climate change models against Historical data (SSP1-2.6)

Mon th	Historical data		Climate change models data					
	Average of T(mean)	Average of Rain	ACCESS-CM2		GFDL-ESM4		IPSL-CM6A	
			Average of T(mean)	Average of Rain	Average of T(mean)	Average of Rain	Average of T(mean)	Average of Rain
Dey	-0.66	19.77	2.29	14.99	1.83	14.61	2.04	20.87
Bah	1.84	22.30	4.72	13.30	4.10	16.80	3.11	18.85
Esf	6.85	30.78	9.10	27.38	7.70	33.69	7.45	24.30
Far	12.38	50.90	14.40	32.90	12.12	47.96	13.65	27.60
Ord	17.61	37.10	20.96	46.90	17.51	58.69	19.30	43.09
Kho	23.45	10.58	27.25	32.04	24.67	22.04	23.82	39.33
Tir	27.03	6.80	30.21	11.90	30.18	2.21	29.69	8.61
Mor	27.03	4.03	29.01	4.27	29.93	1.18	30.74	3.04
Sha	22.16	5.47	24.12	1.17	24.62	2.84	25.92	7.59
Meh	15.28	18.43	18.91	7.65	17.26	22.29	18.38	6.86
Aba	7.33	26.37	9.85	19.04	9.59	28.40	11.07	20.15
Aza	1.51	23.55	4.71	9.38	3.82	17.23	4.90	20.62

**Table 4.** Comparison of Kling-Gupta statistical measure (KGE) of climate change models

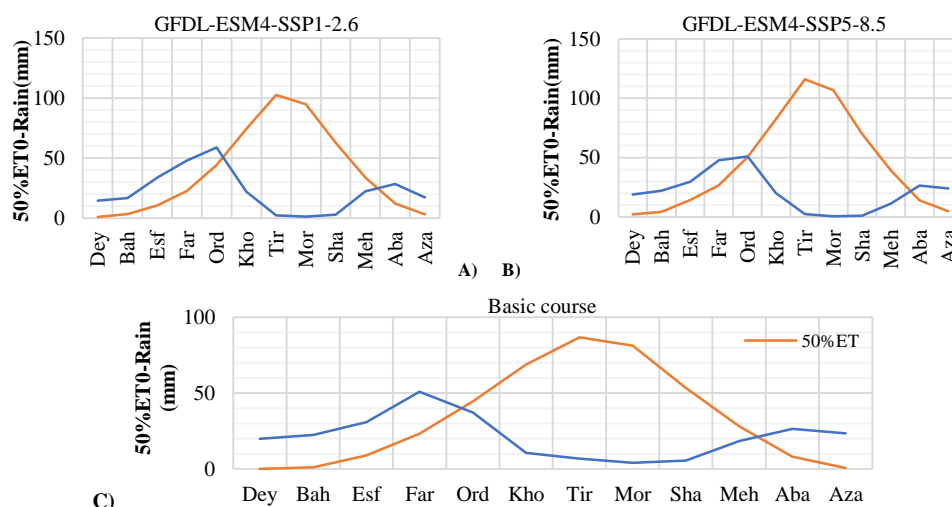
Model	ACCESS-CM2	IPSL-CM6A	GFDL-ESM4
Precipitation	0.66	0.58	0.70
Temperature	0.79	0.82	0.87

**Table 5.** Comparison of GFDL-ESM4 model outputs for optimistic and pessimistic scenarios

Month	Scenario			
	SSP1-2.6		SSP5-8.5	
	Average of T(mean)	Average of Rain	Average of T(mean)	Average of Rain
Dey	1.83	14.61	3.11	18.92
Bah	4.10	16.80	4.89	21.97
Esf	7.70	33.69	9.28	29.51
Far	12.12	47.96	13.55	47.63
Ord	17.51	58.69	19.07	51.05
Kho	24.67	22.04	26.40	19.92
Tir	30.18	2.21	32.71	2.29
Mor	29.93	1.18	32.35	0.49
Sha	24.62	2.84	26.45	0.87
Meh	17.26	22.29	19.04	11.25
Aba	9.59	28.40	10.50	26.50
Aza	3.82	17.23	5.17	23.93

### ۲.۳. محاسبه طول فصل رشد

با استفاده از پارامترهای دمای کمینه و دمای بیشینه و با در نظر گرفتن ضریب تصحیح مربوط به عرض جغرافیایی، به روش تورنت وایت تبخیر و تعرق پتانسیل برای هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه برآورد گردیده و براساس نصف مقادیر برآورد شده برای تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه، گراف مربوط به  $\frac{ET_0}{2}$  همراه با گراف بارندگی در یک نمودار ترسیم گردید که در شکل (۳) نمودار مربوط به دوره پایه و وضعیت شرایط آینده تحت شبیه‌سازی مدل‌های GCM برای دو سناریوی SSP1-2.6 و SSP5-8.5 آورده شده که در آن نمودار (A) مربوط به مدل GFDL-ESM4 و سناریوی SSP1-2.6، نمودار (B) مربوط به مدل GFDL-ESM4 و سناریوی SSP5-8.5 و نمودار (C) مربوط به دوره پایه است. در مرحله بعد به کمک ماکرونویسی در محیط نرم‌افزار اکسل نقاط تقاطع گراف پنجاه درصد تبخیر و تعرق پتانسیل با گراف بارش ماهانه تعیین گردیدند. براساس روش طبقه‌بندی اکولوژیکی فائو، تقاطع اول دو نمودار مذکور بیانگر پایان دوره بارش و تقاطع دوم بیانگر شروع دوره رشد است که این بازه توسط فاکتور دما کوتاه‌تر و با رطوبت ذخیره‌شده در خاک طولانی‌تر می‌شود. با توجه به آمار روزانه تبخیر و تعرق روزانه تعداد روزهایی که برای خارج شدن ۱۰۰ میلی‌متر آب ذخیره‌شده در خاک لازم است، استخراج و به صورت تجمعی روی روز پایان دوره بارندگی افزوده گردید تا پایان فصل رشد مشخص شود. بدین ترتیب با مشخص شدن نقاط شروع و پایان فصل رشد، طول دوره رشد برای دوره پایه و وضعیت شرایط آینده تحت شبیه‌سازی مدل‌های GCM برای مدل GFDL-ESM4 برای دو سناریوی SSP1-2.6 و SSP5-8.5 برآورد گردید که این پارامترها در جدول (۶) آورده شده است.



**Figure 3.** Rainfall and 50 Percent potential evaporation and transpiration chart in different months based on the average statistical period of 30 years

براساس نمودار (A)، شروع دوره رشد با در نظر گرفتن سناریوی SSP1-2.6، ۲۷ مهرماه می‌باشد. اما با توجه به این که حداقل دمای مورد نیاز برای جوانه‌زنی گندم، معادل پنج درجه سانتی‌گراد است و طبق آمار هواشناسی این شرایط دمایی در ۱۷ اسفندماه روی می‌دهد، لذا شروع دوره رشد ۱۷ اسفندماه خواهد بود. از طرفی براساس نمودار (A)، پایان دوره رشد ۲۰ اردیبهشت‌ماه پایان دوره رشد تلقی می‌گردد. اما چنانچه طبق روش فائو مدت زمان لازم برای تبخیر ۱۰۰ میلی‌متر رطوبت ذخیره‌شده در خاک به طول دوره رشد اضافه گردد، انتهای طول دوره رشد ۲۱ تیرماه خواهد بود. همچنین براساس نمودار (B)، شروع دوره رشد با در نظر گرفتن سناریوی SSP5-8.5، ۱۱ آبان‌ماه می‌باشد. اما با توجه به این که حداقل دمای مورد نیاز برای جوانه‌زنی گندم، معادل پنج درجه سانتی‌گراد است و طبق آمار هواشناسی این شرایط دمایی در ۲۷ اسفندماه روی می‌دهد، لذا شروع دوره رشد ۲۷ اسفندماه خواهد بود. همچنین براساس نمودار (B)، پایان دوره رشد ۲۶ اردیبهشت‌ماه پایان دوره رشد تلقی می‌گردد. اما چنانچه طبق روش فائو مدت زمان لازم برای تبخیر ۱۰۰ میلی‌متر رطوبت ذخیره‌شده در خاک به طول دوره رشد اضافه گردد، انتهای طول دوره رشد پنجم مردادماه خواهد بود.

براساس نتایج به‌دست‌آمده فاکتور دما در دوره پایه در ایستگاه تبریز به‌عنوان عامل محدودکننده عمل می‌کند. به‌طوری‌که در نمودار (C) مربوط به دوره پایه، از ۳۰ آذرماه مقدار بارندگی از ۵۰ درصد تبخیر و تعرق پتانسیل بالاتر می‌باشد و این تاریخ طبق روش فائو شروع دوره رشد محسوب می‌شود. اما با توجه به این که دما تا ۱۷ اسفندماه کمتر از پنج درجه سانتی‌گراد (حداقل دمای مورد نیاز برای جوانه‌زنی گندم) است، نمی‌توان ۳۰ آذرماه را به‌عنوان آغاز دوره رشد تلقی نمود و شروع دوره رشد برای ایستگاه تبریز، ۱۷ اسفندماه خواهد بود.

در شکل (۴)، مقایسه طول دوره رشد در محدوده هر یک از ایستگاه‌ها در قالب نمودار ستونی برای دوره پایه و وضعیت شرایط آینده تحت شبیه‌سازی مدل‌های GCM آورده شده است. براساس نتایج مذکور در اثر تغییر اقلیم طول دوره رشد افزایش خواهد یافت که این افزایش برای سناریوی خوش‌بینانه و سناریوی بدبینانه به‌ترتیب معادل ۱۵ و ۱۸ روز می‌شود. همچنین شروع دوره رشد در اثر تغییر اقلیم برای سناریوی بدبینانه تغییر نکرده است اما برای سناریوی خوش‌بینانه ده روز زودتر از دوره پایه خواهد بود.

همچنین نتایج نشان می‌دهد که پایان دوره رشد در وضعیت شرایط آینده تحت شبیه‌سازی مدل‌های GCM نسبت به دوره پایه بین پنج الی ۱۹ روز دیرتر اتفاق خواهد افتاد. بنابراین مقایسه تغییرات شروع و انتهای دوره رشد در اثر تغییر اقلیم حاکی از آن است که در دشت تبریز در اثر تغییر اقلیم، پایان دوره رشد نسبت به شروع دوره رشد، تغییرات بیشتری را خواهد داشت که این موضوع به‌دلیل انتقال بارندگی‌ها به سمت ماه‌های گرم سال در دوره تغییر اقلیم است.

Table 6. Length of growth period in base period and climate change scenarios

Row	Model	Start	End	LP
1	Basic course	27-Esf	16-Tir	121
2	GFDL-ESM4-SSP1-2.6	17-Esf	21-Tir	136
3	GFDL-ESM4-SSP5-8.5	27-Esf	5-Mor	139

LP: The length of the growth period, Start: Start of length of the growth period, End: End of length of the growth period.

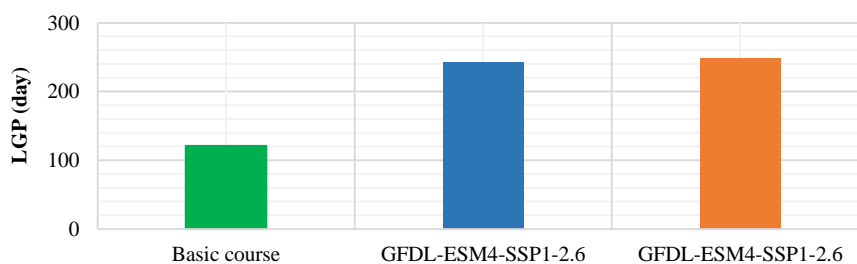


Figure 3. Chart comparing the length of the growing season between the base period and climate change scenarios

### ۲.۳. مقایسه طول دوره رشد با نتایج گزارش طبقه‌بندی اکولوژیکی فائو

به‌منظور درک بهتر نتایج به‌دست‌آمده، ارقام برآوردشده برای طول دوره رشد، با نتایج گزارش GAEZ of FAO (2021) که برای کل کشورها طول دوره رشد را در آن برآورد و رابطه ریاضی مطابق رابطه (۸) ارائه شده، مورد مقایسه قرار گرفته است. البته شایان ذکر است که دوره رشد محاسباتی با رابطه مذکور، رطوبت ذخیره‌شده در خاک را منظور نموده است. به همین دلیل اختلاف نتایج حاصل از رابطه مذکور با این پژوهش حاضر در گام اول زیاد بود که با منظور نمودن تعداد روزهای مورد نیاز جهت تبخیر ۱۰۰ میلی‌متر از خاک، میزان اختلاف در برآورد طول دوره رشد در دو پژوهش به هم نزدیک‌تر می‌گردد.

Table 7. Length of growth period in base period and climate change scenarios

Row	Model	LP1	LP2	ALP
1	Basic course	118	121	3
2	GFDL-ESM4-SSP1-2.6	128	136	8
3	GFDL-ESM4-SSP5-8.5	133	139	6

LP1: The length of the estimated growth period of GAEZ of FAO

LP2: The length of the estimated growth period of this research

همان‌طور که در جدول مشاهده می‌گردد اختلاف طول دوره رشد برآوردشده از پژوهش حاضر با طول دوره رشد استخراج‌شده از رابطه ریاضی فائو برای دوره پایه، معادل سه روز می‌باشد و این اختلاف برای وضعیت شرایط آینده تحت شبیه‌سازی مدل‌های GCM، تحت سناریوهای خوش‌بینانه و بدبینانه، به‌ترتیب هشت و شش روز می‌باشد که این اختلاف می‌تواند ناشی از متفاوت بودن دوره آماری مورد استفاده شده این پژوهش با دوره آماری گزارش فائو باشد.

### ۴. نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در دشت تبریز برای ۵۰ سال آینده در وضعیت شرایط آینده تحت شبیه‌سازی مدل‌های GCM، افزایش دما برای سناریوهای خوش‌بینانه و بدبینانه به‌ترتیب ۱/۸ و ۳/۴ درجه سانتی‌گراد پیش‌بینی می‌شود که این افزایش دما، منجر به افزایش تبخیر و تعرق نیز خواهد شد که نیاز آبی گندم دیم را افزایش خواهد داد. با توجه به نتایج این مطالعه تغییر در بارش در اثر تغییر اقلیم محسوس نخواهد بود اما بارش‌ها به سمت ماه‌های گرم سال منتقل خواهد شد که این موضوع باید مدنظر کارشناسان زراعی قرار گیرد تا ارقام گندمی را تولید نمایند که دارای طول دوره رشد بالاتری نسبت به ارقام فعلی باشد تا بتوان از بارندگی‌های دیر هنگام بهاره بهره لازم را در جهت افزایش عملکرد گندم برد.

نتایجی که برای مدت زمان فصل رشد در این پژوهش به دست آمد، نشان می‌دهد که طول دوره رشد در اثر تغییر اقلیم طول دوره رشد افزایش خواهد یافت و این افزایش بیش‌تر مربوط به تغییر در پایان دوره رشد می‌شود. با این حال، میزان تغییر طول فصل رشد بسته به نوع سناریوی تعریف‌شده برای تغییر اقلیم متفاوت خواهد بود به طوری که در وضعیت شرایط آینده تحت شبیه‌سازی مدل‌های GCM، سناریوی بدبینانه نسبت به دوره سناریوی خوش‌بینانه به مدت پنج روز طول دوره رشد بیش‌تری را برای گندم دیم پیش‌بینی می‌کند.

نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش نشان داد در وضعیت شرایط آینده تحت شبیه‌سازی مدل‌های GCM شروع دوره رشد ده روز زودتر اتفاق خواهد افتاد که با مطالعات (2012) Behyar *et al.* که عنوان کردند که آخرین روز یخبندان بهاره در ایستگاه تبریز در وضعیت شرایط آینده تحت شبیه‌سازی مدل‌های GCM بین سه الی ۱۰ روز زودتر اتفاق خواهد افتاد، مطابقت دارد.

در خصوص طول دوره رشد، مطالعات پیشین از جمله Kochaki *et al.* (2010)، برای دشت تبریز دوره رشد را معادل ۲۵۳ روز برآورد کرده‌اند که با نتایج این پژوهش تقریباً اختلاف دو برابری دارد که نتایج پژوهش مذکور با توجه به اقلیم دشت تبریز نتایج غیر واقع‌گرایانه‌ای می‌باشد.

همان‌طور که در بخش پیشینه پژوهش ذکر گردید، با وجود این‌که پژوهش‌های مستند و معتبر جهانی از جمله گزارش سازمان فائو، برآورد طول دوره رشد به روش درجه روز رشد را توصیه نمی‌کنند و آن را غیرواقع‌گرایانه عنوان می‌کنند، در داخل کشور قسمت عمده پژوهش‌ها برای برآورد طول دوره رشد، روش درجه روز رشد را انتخاب می‌کنند که این امر منجر به برآورد نتایج غیرواقع‌گرایانه برای طول دوره رشد و لذا عدم برنامه‌ریزی مناسب در انتخاب تاریخ کشت گندم و رقم گندم سازگار با شرایط تغییر اقلیم خواهد شد. لذا پیشنهاد می‌شود با استفاده از روش‌های سنجش از راه دور مطالعات مجزایی در خصوص طول فصل رشد براساس شرایط واقعی موجود انجام گیرد و در صورت تأیید نتایج روش فائو برای برآورد طول دوره رشد، این روش ملاک پژوهش‌ها و سیاست‌گذاری‌های تعیین الگوی کشت بهینه دشت تبریز قرار گیرد. همچنین مطالعات شبیه این پژوهش برای سایر دشت‌های کشور انجام گیرد تا بتوان نتایج آن پژوهش را برای سایر مناطق کشور تعمیم داد.

این مطالعه براساس طول دوره رشد مربوط به زمان اتمام خواب زمستانی گندم تا رسیدگی کامل گندم انجام گرفته است. لذا پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی زمان جوانه‌زنی گندم نیز که متأثر از تأمین حداقل آب موردنیاز برای جوانه‌زنی توسط اولین بارش پاییزه می‌باشد، مطالعه گردد و برای وضعیت شرایط آینده تحت شبیه‌سازی مدل‌های GCM براساس گزارش ششم IPCC، زمان مناسب کاشت گندم برآورد گردد. همچنین پیشنهاد می‌شود که قبل از به‌کارگیری کاربردی نتایج این پژوهش، با بهره‌گیری از روش‌های دیگر برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل قبل از برآورد طول دوره رشد، روش مناسب برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل در دشت تبریز مشخص و نسبت به تدقیق طول دوره رشد اقدام شود. در حالت کلی با توجه به پیش‌بینی افزایش طول دوره رشد گندم دیم در وضعیت شرایط آینده تحت شبیه‌سازی مدل‌های GCM، پیشنهاد می‌شود که در پژوهش جداگانه‌ای بهینه‌سازی عملکرد گندم دیم با انتخاب ارقام دیررس‌تر گندم مورد مطالعه قرار گیرد تا در برنامه‌ریزی زراعت دیم گندم مورد استفاده قرار گیرد.

## ۵. پی‌نوشت‌ها

1. Global Climate Models
2. Intergovernmental Panel on Climate Change
3. Shared Socioeconomic Pathways
4. Food and agriculture organization of the united nations Quintile map
5. Length of Growing Period
6. Geographic Information System
7. Weekly rainfall or precipitation
8. Potential Evapotranspiration
9. Assessment report(6)
10. Atmosphere-Ocean General Circulation Models
11. Kling-Gupta index
12. Integrated Assessment Models
13. Impact, adaptation and vulnerability
14. Representative Concentration Pathway
15. Regional Circulation Models
16. Cumulative distribution function
17. Tropical Rainfall Measuring Mission

## ۶. تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافی توسط نویسندگان وجود ندارد.

## ۷. منابع

- Agricultural Statistics of Iran Crops. (2021). Statistical Center of Iran.
- Ajaaj, A., Mishra, A.K., & Khan, A.A. (2015). Comparison of bias correction techniques for GPCP rainfall. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 30(6) 1659-1675.
- Anon. (1978). Reports of the agro-ecological zones project. *World Soil Resources Reports*, No. 48. FAO, Rome, Italy.
- Anon. (1996). Agro-ecological Zoning. Guidelines. *FAO Soils Bulletin (76)*, FAO, Rome, Italy.
- Ansari Mahabadi, S., Dehban, H., Zareian, M., & Farrokhnia, A. (2022). Investigating the trends of temperature and precipitation changes in Iran's watersheds in the next 20 years based on the output of CMIP6 models. *Iran water research*, 16(44). (In Persian).
- Bazarafshan, J., Agha shriyatmadari, Z., & Kamali, S. (2021). Evaluation of quantile mapping methods in correcting the bias of TRMM satellite rainfall estimates during the vegetation growth period (April to October) in Kermanshah province. *Agricultural meteorology*, 10(2), 4-16. doi:10.22125/agmj.2022.289694.1117.
- Behayar, M., Khairandish, M., & Zamanian, M. (2012). Investigating the effects of climate change on the number of days of the first autumn frost and the last spring frost in Iran using SDSM microscale. *Climatology Research*, 1392(15), 117-128. (In Persian).
- Estoque, R.C., Ooba, M., Togawa, T., & Hijioka, Y. (2020). Projected land-use changes in the Shared Socioeconomic pathways: *Insights and implications*. *Ambio.*, 49(12), 1972-1981.
- FAO. (2009). Reports of the agro-ecological zones project, *World Soil Resources Reports*, Rome, Italy, 48, 140-178.
- FAO. (2021). *Global Agro-Ecological Zones (GAEZv4)*, [https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/17175/1/GAEZ4\\_model\\_documentation+app\\_20210415\\_withFAOstyles\\_covers.pdf](https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/17175/1/GAEZ4_model_documentation+app_20210415_withFAOstyles_covers.pdf)
- Fateh, Sh., Rasuli, A., Sari Saraf, B., & Kamali, Q. (2015). Investigating the cumulative heat units during the growing season of wheat in Iran, *Climatology research journal Seventh year.*, No.27 and No.28. (In Persian).
- Fischer, G., de Pauw, E., Van Velthuisen, H., Nachtergaele, F., & Antoine, J. (1998). A provisional world climate resources inventory based on the length of growing period concept. *FAO/Soil Resources, Management and Conservation Service, (AGLS)*, FAO. Rome, Italy.
- Gudmundsson, L. (2016) Statistical transformations for post-processing climate model output, <https://cran.rproject.org/web/packages/qmap/>.
- IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change). (2007). The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change). (2021). Summary for policymakers Climate Change, The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.
- Kashki A., Imanipour H., & Firoozyazdi M. (2021). Analysis of temperature changes in East Azerbaijan province with a climate change approach Using the SDSM model, *Arid regions Geographic Studies*, 11(41), 44-58. [magiran.com/p2306598](http://magiran.com/p2306598)
- Kochaki, A., Nasiri Mahalati, M., & Jafari, L. (2014). Investigating the impact of climate change on Iran's agriculture: 1- Forecasting the future agroclimatic situation. *Agricultural Research of Iran*, 13(4), 651-664. doi: 10.22067/gsc.v13i4.51156. (In Persian).
- Kochaki, A., & Kamali, G. (2010). Climate change and dry wheat production in Iran. *Agricultural Research of Iran*, 8(3), 508-520
- Mahadevaswamy M., Ramsh, S., & Sreenvas, S.S. (2016). Determining the Length of Growing Period (LGP) for efficient crop planning and sustaining farm productivity in the rainfed STZ of Karnataka, *Indian cuncile of agricultuar research*, Tob. Res., 42(1), 20-23

- Maeda, E. E., Wiberg, D. A., & Pellikka, P. K. E. (2010). Estimating reference evapotranspiration using sensing empirical models in a region with limited data availability in Kenya. *Applied Geography*, 31, 251-258.
- Mhizha, T., Geerts, S., Vanuytrecht, E., Makarau, A., & Raes, D. (2012). Relative transpiration as a decision tool in crop management: a case for rainfed maize in Zimbabwe. *African Crop Science Journal*, 201, 47-57.
- Mohammadi, E., Yazdan Panah, H., & Mohammadi, F. (2013). Investigating the occurrence of climate change and its effect on planting time and length of durum wheat growth period (dry season) case study: Serarud station, Kermanshah. *Natural Geography Researches*, 46(2), 231-246. doi: 10.22059/jphgr.2014.51427. (In Persian).
- Mozafari, G.A., Torki, M., & Mehrshahi, D. (2014). Assessment of Changes in the Growth Period Caused by Climate Change in Northern Iran, *Third International Conference on Climate Change, and Dendrochronology in Natural Ecosystems*, Caspian Ecosystem Institute, Sarri. <https://t.me/Shamsbalapour>. (In Persian).
- Mozaffari, A., Shafiee, Sh., & Taghizadeh, Z. (2015). Evaluation of drought conditions in Sistan and Baluchestan (1391-1491) using downscaling the data of general atmospheric circulation model. *Scientific Research Quarterly of Geographical Data*, 24(93), 101-114. (In Persian).
- Nikkhah, A., Kamali, Gh., & Hejam, S. (2013). Investigating the effect of climate change on the phenological stages of wheat in Hamadan, *the second national conference on sustainable agriculture and natural resources, Tehran*, <https://civilica.com/doc/310154> (In Persian).
- Pashakah, P., Pirmoradian, N., Khazdor, N., Neshagar, H., & Moshfegh, M. (2014). Calibration and evaluation of three experimental methods of reference evapotranspiration estimation in some Iranian cities, *Newar Scientific and Promotional Magazine*, No. 86-87. (In Persian).
- Rahmani, M., Jami Al-Ahmadi, M., Shahidi, A., & Hadizadeh Azghandi, M. (2014). Effects of climate change on the length of growth stages and water requirement of wheat and barley (Case study: Birjand Plain). *Journal Of Agroecology*, 7(4), 443-460. doi: 10.22067/jag.v7i4.26666. (In Persian).
- Zarrin, A., & Dadashi-Roudbari, A. (2021). Projection of future extreme precipitation in Iran based on CMIP6 multi-model ensemble. *Theoretical and Applied Climatology*, 144(1), 643-660 (In Persian).
- Zulfiqari, H., Masoom Poursamakosh, J., & Chahwari, Sh. (2017). Degree-days of growth in northwest Iran based on climate change models. *Applied Research in Geographical Sciences*, 18(49), 221-240. SID: <https://sid.ir/paper/102148/fa>. (In Persian)