



Evaluating the consequences of climate change on the trend of extreme events and its impact on the phenology of almond trees, a case study: East Azarbaijan province

Nazli Zenozi Alamdari ¹ | Behrouz Sobhani ² | Mehdi Islahi ³ | Masihallah Mohammadi ⁴

1. Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

E-mail: nz.an6876@gmail.com

2. Corresponding Author, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: sobhaniardabil@gmail.com

3. Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: eslahi5073@gmail.com

4. Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: masihmohamadi.2410@gmail.com

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: July. 11, 2024

Revised: Sep. 1, 2024

Accepted: Oct. 29, 2024

Published online: Feb. 2025

Keywords:

General Circulation Model,
Almond Phenology,
CMIP6,
SSP Scenarios,
East Azarbaijan.

ABSTRACT

Extreme weather events are one of the most important challenges for agricultural producers, and these events are currently increasing. Projection the effects of extreme events on garden crops is one of the most important discussions in food security and agricultural economics. The purpose of this research is to investigate the consequences of climate change on the trend of extreme events and its effect on the phenology of almond trees in East Azerbaijan province. In order to investigate and project Precipitation and minimum and maximum temperature and determine the climate change extreme index that had the greatest impact on almond tree phenology from the Climate Model Intercomparison Project – Phase 6 (CMIP 6) in the upcoming period (2021 to 2100) was used in Tabriz, Ahar, Jolfa, Maragheh and Midane stations. The results of the investigation of temperature and precipitation indicators for the future periods indicated that the average annual temperature will increase from 0.9 to 4.5 degrees Celsius until the year 2100 and the Precipitation output until the year 2100 indicates that the Precipitation in SSP5-8.5 scenario will decrease and in two scenarios SSP1-2.6 and SSP2-4.5 will increase a bit. These results showed that the length of the almond tree growth season increased from 176 days in the base observed period to 156 days in the SSP1-2.6 scenario, 150 days in the SSP2-4.5 scenario, and 146 days in the SSP5-8.5 scenario.

Cite this article: Alamdari, N. Z., Sobhani, B., & Islahi, M., & Mohammadi, M. (2025). Evaluating the consequences of climate change on the trend of extreme events and its impact on the phenology of almond trees, a case study: East Azarbaijan province. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 55 (12), 2351-2371. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.375011.669697>

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.



DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.375011.669697>



EXTENDED ABSTRACT

Target:

Extreme weather events represent a significant challenge for agricultural producers and are currently increasing in frequency. Anticipating and assessing the impacts of these extreme events on horticultural crops is crucial for food security and agricultural economics. This study aims to evaluate the consequences of climate change on the trends of extreme weather events and their effects on the phenology of almond trees in East Azerbaijan Province.

Research Method:

To analyze and predict precipitation and minimum and maximum temperatures, as well as to identify the extreme indices with the greatest impact on almond tree phenology, models from the CMIP6 climate projection project with three scenarios (SSP1-2.6, SSP2-4.5, and SSP5-8.5) and a bias correction simulator were utilized for the future period (2021-2100) in East Azerbaijan Province. The Kling-Gupta Efficiency (KGE) method was used to determine the best model for simulating future precipitation and temperature data. Subsequently, the trends in extreme indices were examined. The effects of climatic extreme indices on almond tree phenology were analyzed using multivariate regression and correlation tests.

Findings:

The performance of 12 climate models from the sixth assessment report of climate models was evaluated for the historical climate data period (1989-2014). Based on the results, the BCC-CSM2-MR and MIROC6 models provided the most accurate simulations for precipitation and temperature in East Azerbaijan Province. For forecasting precipitation and minimum and maximum temperatures for the future period (2021-2100) under three scenarios (optimistic, moderate, and pessimistic), bias correction was applied. The average changes in maximum and minimum temperatures and precipitation for the period 2021-2100 were presented in the form of maps and charts. The results indicated that, under all emission scenarios, annual temperatures are expected to rise, while annual precipitation will decrease in the western part of the country and increase in the eastern part. Climate scenarios showed that in most stations, warm extreme indices are increasing, while cold extreme indices are decreasing. Specifically, the number of summer days with maximum temperatures exceeding 25°C (SU25) is on the rise across all stations, whereas the number of cold nights (TN10P) is decreasing in most stations. The trends in extreme precipitation indices at the regional level revealed a decreasing trend in the annual precipitation index under scenarios SSP1-2.6, SSP2-4.5, and SSP5-8.5, while indices such as CCD, SDII, and P95p are increasing. This suggests a rise in intense and short-duration precipitation events alongside a reduction in the length of the precipitation season in the studied regions. According to regression model results and correlation coefficients, the future climate change scenarios (SSP) are expected to shorten the growing season calendar in the studied regions.

Conclusion:

The examination of extreme precipitation and temperature indices on almond tree phenology indicates that the warming trend in the studied regions will lead to earlier blooming and ripening of almond fruits compared to the observational period. The most significant reduction in the growing season will occur during the fruit ripening phase, which will result in decreased quantity and quality of almond production under future climate conditions.

Author Contributions:

All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data Availability Statement:

The studied data are available in the Meteorological Organization of Iran.

Acknowledgements:

The authors would like to thank all participants of the present study.

Ethical considerations:

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of interest:

The author declare no conflict of interest.

ارزیابی پیامدهای تغییر اقلیم بر روند رویدادهای حدی و تاثیر آن بر فنولوژی درخت بادام مطالعه موردی: استان آذربایجان شرقی

نازلی زنوزی علمداری^۱، بهروز سبحانی^۲✉، مهدی اصلاحی^۳، مسیح‌اله محمدی^۴

۱. گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: nz.an6876@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: sobhaniardabil@gmail.com

۳. گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: eslahi5073@gmail.com

۴. گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: masihmohamadi.2410@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	رویدادهای حدی آب و هوایی، یکی از چالش‌های مهم برای تولیدکنندگان محصولات کشاورزی می‌باشد که در حال حاضر در حال افزایش است. پیش‌نگری و محاسبه اثرات رویدادهای حدی بر روی محصولات باغی یکی از مهم‌ترین بحث‌های مطرح در امنیت غذایی و اقتصاد کشاورزی است. هدف از این پژوهش بررسی پیامدهای تغییر اقلیم بر روند رویدادهای حدی و تأثیر آن بر فنولوژی درخت بادام در استان آذربایجان شرقی است. جهت بررسی و پیش‌نگری بارندگی و دمای کمینه و بیشینه و تعیین شاخص حدی که بیشترین تأثیر را بر روی فنولوژی درخت بادام داشتند از مدل‌های پروژه مقایسه جفت مدل‌های اقلیمی - فاز ۶ (CMIP6) و شبیه‌سازی تصحیح اریبی در دوره آتی (۲۰۲۱ تا ۲۱۰۰) در ایستگاه‌های تبریز، اهر، جلفا، مراغه و میانه استفاده شد. نتایج بررسی شاخص‌های دمایی و بارندگی برای دوره‌های آتی بیانگر این مطلب بود که میانگین دمای سالانه ۰/۹ تا ۴/۵ درجه سانتی‌گراد تا سال ۲۱۰۰ افزایش خواهد یافت و خروجی بارش تا سال ۲۱۰۰ بیانگر این است که در سناریوی SSP5-8.5 کاهش می‌یابد و در دو سناریوی SSP1-2.6 و SSP2-4.5 مقداری افزایش خواهد یافت. این نتایج نشان داد که با افزایش داده‌های حدی دمایی، طول فصل رشد درخت بادام از ۱۷۶ روز در دوره پایه به ۱۵۶ روز در سناریوی SSP1-2.6، ۱۵۰ روز در سناریوی SSP2-4.5 و ۱۴۶ روز در سناریوی SSP5-8.5 کاهش خواهد یافت.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۲/۴	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۶/۱۱	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۸/۸	
تاریخ انتشار: اسفند ۱۴۰۳	
واژه‌های کلیدی: مدل گردش عمومی، فنولوژی بادام، CMIP6، سناریوهای SSP، آذربایجان شرقی.	

استناد: زنوزی علمداری؛ نازلی، سبحانی؛ بهروز، اصلاحی؛ مهدی، محمدی؛ مسیح‌اله، (۱۴۰۳) ارزیابی پیامدهای تغییر اقلیم بر روند رویدادهای حدی و تاثیر آن بر فنولوژی درخت بادام مطالعه موردی: استان آذربایجان شرقی، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۵ (۱۲)، ۲۳۳۱-۲۳۵۱.



<https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.375011.669697>

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.375011.669697>

مقدمه

تأثیر عوامل آب و هوایی بر روی محصولات کشاورزی از اهمیت زیادی برخوردار است. تنش‌های خشکی و دمایی از مهم‌ترین عوامل محدودیت رشد گیاهان می‌باشد. اکثر گیاهان وقتی در معرض رویدادهای حدی دمای و رطوبتی قرار می‌گیرد، تغییرات فنولوژی در آن به جود می‌آید که ممکن است مانع رشد بهینه گیاه شود (فشخورانی و همکاران، ۱۳۹۷). نمایه‌های حدی اقلیمی که توسط سازمان جهانی هواشناسی (WMO) به‌عنوان پدیده‌های آب و هواشناسی نادر فراتر از حد آستانه تعریف شده‌اند، فرین‌های آب و هوایی شناخته می‌شوند (کوزگران و همکاران، ۱۳۹۶)، یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر مراحل فنولوژی محصولات کشاورزی می‌باشد. از طرف دیگر تغییر اقلیم سبب تغییر در نمایه‌های حدی اقلیمی و افزایش شدت و فراوانی وقوع رویدادهای حدی اقلیمی (دمای بالا، سرمازدگی زودرس و دیررس و ...) می‌شود (IPCC., 1995). رویدادهای حدی اقلیمی مانند تنش‌های گرمایی با دمای بالای ۳۲ درجه سانتی‌گراد و روزهای یخبندان (روزهای زیر صفر درجه سلسیوس) بر مراحل فنولوژیکی محصولات کشاورزی تأثیرگذار بوده و بیانگر مخاطرات مهمی است که باید برای حفظ گیاهان بر روی آن‌ها مدیریت شود (Stone et al., 1994). تاکنون مطالعات متعددی در جهان در مورد تغییر اقلیم و رویدادهای حدی اقلیمی انجام شده است که در ادامه به چند نمونه آن‌ها اشاره می‌شود.

López-Díaz et al. (2013) در کشور مکزیک به بررسی شاخص‌های حدی دما در دوره ۵۱ ساله (۲۰۰۳ - ۱۹۵۲) با استفاده از روش روند خطی ساده پرداخت. نتایج پژوهش این پژوهشگران نشان داد که تعداد روزهای تابستانی افزایش و تعداد روزهای سرد کاهش یافته است. Hatfield et al. (2015) تأثیر دمای حدی بالا را بر عملکرد ذرت مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها دریافتند که رخداد دماهای حدی بالا در طول باروری ذرت باعث کاهش ۸۰ تا ۹۰ درصدی عملکرد این محصول نسبت به شرایط نرمال می‌شود (Powell et al., 2016). رویدادهای آب و هوایی را بر روی عملکرد گندم زمستانی در کشور هلند مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها نشان دادند که در منطقه مورد مطالعه رویدادهای حدی روزهای سرد رو به کاهش و رویدادهای حدی روزهای گرم به‌شدت افزایش یافته است که این امر باعث کاهش عملکرد گندم زمستانه در این منطقه شده است. Jin et al. (2017) به بررسی تأثیر رویدادهای حدی بر عملکرد ذرت و سویا بین سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۴ و ۲۰۱۰ تا ۲۰۹۴ در آمریکا پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که عملکرد ذرت و سویا تا پایان قرن ۲۱ بر اساس سناریوهای اقلیمی RCP4.5 و RCP8.5 با توجه به افزایش رویدادهای دمای حدی گرم کاهش خواهد یافت. اسماعیلی و همکاران (۱۳۹۰) در استان خراسان رضوی تأثیر تغییر اقلیم را بر روی پدیده‌های حدی آب و هوایی مورد بررسی قرار دادند. این پژوهشگران دریافتند که در طی دوره اقلیمی آینده تعداد روزهای یخبندان و تعداد روزهای بارانی کاهش و تعداد روزهای حدی گرم یا تابستانی افزایش خواهد یافت و در نهایت نقشه پهنه‌بندی کشاورزی استان خراسان رضوی را بر اساس تغییر اقلیم و پدیده حدی ترسیم کردند. کوزگران و همکاران (۱۳۹۶) در شهرستان بیرجند عملکرد زعفران را با توجه به شاخص‌های حدی اقلیمی مدل ارزیابی کردند. آن‌ها از ۳۶ شاخص حدی بارش و دمایی که توسط سازمان هواشناسی جهانی معرفی شده بودند استفاده کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که روند شاخص‌ها حدی گرم رو به افزایش و روند شاخص‌های حدی بارش و روزهای سرد رو به کاهش است و این امر یکی از عوامل مهم و تأثیرگذار در کاهش عملکرد زعفران می‌باشد. عرفانیان و همکاران (۱۳۹۷) در تحقیقی به شناسایی شاخص‌های حدی مؤثر بر عملکرد گندم در استان خراسان رضوی در شرایط تغییر اقلیم پرداختند. آن‌ها از داده‌های روزانه ۲۰ ایستگاه همدیدی و تبخیر سنجی استان در دوره آماری ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۱ استفاده کردند و با استفاده از دو سناریوی RCP 8.5 و RCP 2.6 داده‌های آماری ایستگاه‌ها را تا سال ۲۰۵۰ شبیه‌سازی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین تأثیر بر عملکرد گندم را پدیده‌های حدی دمایی دارند و پدیده‌های حدی بارش مؤثر شناخته نشدند.

با توجه به کشت گسترده بادام در استان آذربایجان شرقی و نقش این محصول در اقتصاد کشاورزی این استان و نیز با توجه به اهمیت اثر تغییر اقلیم بر پدیده‌های حدی و تأثیر آن بر تولید کشاورزی اهمیت این موضوع نمایان می‌شود؛ بنابراین هدف از این پژوهش شناخت تأثیر تغییر اقلیم بر رویدادهای حدی آب و هوایی تأثیرگذار بر مراحل فنولوژی درخت بادام در دوره ۲۰۲۱ تا ۲۱۰۰ است.

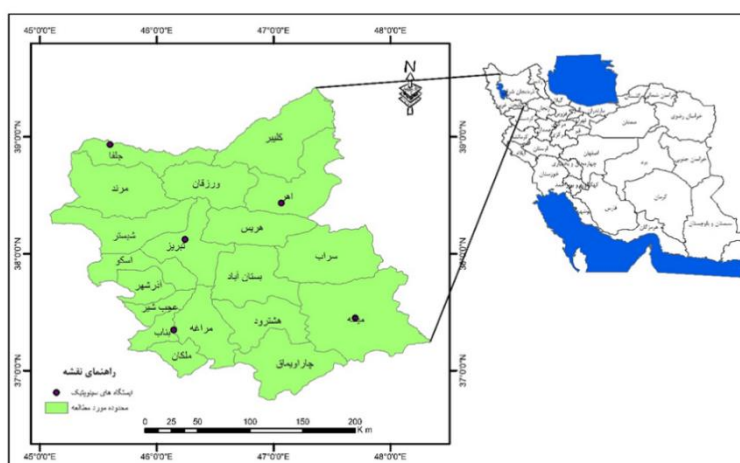
مواد و روش

منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

استان آذربایجان شرقی در شمال غربی ایران قرار دارد. از نظر موقعیت جغرافیایی بین مدارهای ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۲۶

دقیقه عرض شمالی و بین نصف‌النهار ۴۵ درجه و ۵ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۲۲ طول شرقی قرار دارد (شکل ۱). مساحت استان برابر ۴۵۴۹۰/۸۸ کیلومتر مربع است و ۲/۸ درصد مساحت کل کشور را تشکیل می‌دهد (فرج نیا و مروج، ۱۳۹۸). از لحاظ وسعت در بین استان‌های کشور در رتبه دهم قرار دارد. در حالت کلی، استان آذربایجان شرقی یک منطقه کوهستانی محسوب می‌شود که حدود ۴۰٪ از سطح آن کوهستانی و ۲/۲۸٪ را تپه ماهورها و ۳۱/۸٪ را زمین‌های هموار (از جمله دشت‌های میان کوهی) فرا گرفته است. این استان به علت توپوگرافی پیچیده از اقلیم‌های متفاوت برخوردار است. این استان همواره تحت تأثیر بادهای سرد شمالی و سیبری و بادهای مرطوب دریای سیاه و مدیترانه و اقیانوس اطلس قرار دارد. میانگین بارندگی سالانه آن بین ۲۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر است (جهانگیری و قره‌داغی، ۱۳۹۷). جدول (۱) میانگین بارش و دمای سالانه و طول و عرض جغرافیایی هر ایستگاه را نشان می‌دهد.

ایستگاه‌های منتخب برای استخراج داده‌ها، شامل ایستگاه‌های سینوپتیک تبریز، مراغه، میانه، جلفا و اهر بودند. انتخاب این ایستگاه‌ها به دلیل دارا بودن طول دوره آماری ۳۰ سال برای افزایش دقت تحلیل‌ها و همچنین قرارگیری هر ایستگاه در سلول مجزا در فاز ششم مقایسه جفت مدل‌های اقلیمی (CMIP6) می‌باشد. مشخصات این ایستگاه‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

جدول ۱- ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده در پژوهش

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)	میانگین دما (C°)	میانگین بارش (mm)
تبریز	سینوپتیک	۴۶/۱۷	۳۸/۰۵	۱۳۶۱	۱۲/۱	۲۸۴/۸
مراغه	سینوپتیک	۴۶/۱۶	۳۷/۲۴	۱۷۷۷/۷	۱۴/۴۵	۲۵۰/۳
میانه	سینوپتیک	۴۷/۴۲	۳۷/۲۷	۱۱۱۰	۱۴	۲۷۸
جلفا	سینوپتیک	۴۵/۴۰	۳۸/۴۵	۷۳۶/۲	۱۵/۱	۲۱۷/۵
اهر	سینوپتیک	۴۷/۰۴	۳۸/۲۶	۱۳۹۵/۵	۱۱/۶	۲۸۴/۱

با توجه به اینکه IPCC در گزارش آخر خود سناریوهای جدید اقتصادی اجتماعی - واداشت تابشی به عنوان نماینده خط سیر غلظت گازهای گلخانه‌ای (SSP) را منتشر کرده است و توصیه نموده است در تحقیقات جدید از این سناریوها استفاده شود (Seyyed abdo lah et al., 2020). در این پژوهش برای پیش‌نگری اقلیم آینده، از سری مدل‌های سامانه زمین EC-Earth3 با پیکر بندی‌های مختلف که در CMIP6 مشارکت یافته است استفاده شده است. مدل‌های EC-Earth3 به دلیل تنوع پیکربندی‌ها و مدل‌های فرعی مختلفی که ارائه داده است و همچنین تفکیک‌های افقی بالاتر نسبت به سایر مدل‌های در دسترس، دارای ارزش مطالعاتی زیادی در مطالعات تغییر اقلیم است (Stouffer et al., 2017). از طرف دیگر با توجه به اهمیت اقتصادی کشت بادام در منطقه جهت بررسی اثرات تغییر اقلیم بر مراحل فنولوژی بادام در دوره آینده ابتدا شرایط آب هوای کشت و مراحل فنولوژی آن مشخص شد. درخت بادام متعلق به خانواده‌ی روزاسه^۱، بومی آسیای غربی و به‌ویژه ایران می‌باشد. بادام درختی خزان‌دار به ارتفاع ۵ تا ۱۰ متر



است که دارای برگ‌های طویل، گل‌ها به رنگ سفید یا صورتی که قبل از ظهور برگ‌ها باز می‌شود (بیابانی سامانی، ۱۳۹۷). مهم‌ترین فاکتور آب و هوایی برای کشت بادام دما است. درخت بادام سرمای زمستان را تا حد متوسط (تا ۲۰ درجه زیر صفر) تحمل می‌کند، ولی به علت زود باز شدن گل تحمل کمی به سرمای بهاری دارد. بادام به علت داشتن ریشه‌های عمیق و برگ‌های چرمی شکل، نسبت به خشکی مقاومت خوبی از خود نشان می‌دهد و در مناطقی که بارندگی ۳۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر دارد می‌توان بادام را به صورت دیم کشت کرد (چایچی، ۱۳۶۸). مراحل فنولوژی و نیازهای آب و هوایی بادام در جدول (۱) نشان داده شده است. مراحل فنولوژی درخت بادام شامل ۵ مرحله می‌باشد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود مرحله اول رشد بادام به ۳۹/۹ درجه - روز رشد لازم دارد. حرارت موردنیاز برای مرحله دوم ۴۹ درجه - روز رشد است. به همین ترتیب، میانگین درجه - روز رشد مورد نیاز در مرحله سوم ۱۷۵/۱، مرحله چهارم رشد ۱۹۲۶/۹ و مرحله پنجم ۶۲۱/۶ درجه - روز رشد است (جوادی و همکاران، ۱۳۹۳).

جدول ۲- شاخص‌های آب و هوایی درخت بادام در طول دوره فنولوژیکی گیاه (دژم‌پور، ۱۳۹۲)

نام مراحل فنولوژی	میانگین دمای مطلوب	GDD موردنیاز	GDD تجمعی
تشکیل جوانه	۱۴/۵	۳۴/۹	۳۴/۹
شکفتن جوانه	۲۲/۵	۴۹	۸۳/۹
گل‌دهی	۲۷/۵	۱۷۵/۱	۲۵۹
رشد میوه	۲۹/۵	۱۹۲۶/۹	۲۱۸۵/۹
رسیدن میوه	۳۱/۵	۶۲۱/۶	۲۸۰۷/۵

روشی پژوهش

برآورد نمایه‌های حدی اقلیمی

در این پژوهش جهت بررسی روند نمایه‌های حدی آب و هوایی، از ۹ شاخص حدی که توسط گروه کارشناسی ETCCDI تعریف شده است استفاده شد. کارگروه ویژه آشکارسازی تغییر اقلیم و شاخص‌ها (ETCCDI) بعد از توافق بین المللی، جهت هموار سازی، محاسبه دقیق و آسان شاخص‌های حدی و همچنین فراهم شدن روشی یکسان برای محاسبه شاخص‌ها با هدف برقراری امکان مقایسه آن‌ها در نقاط مختلف جهان، نرم افزاری تحت عنوان RCLIMDEX معرفی و ارائه نمود، بدین ترتیب، شاخص‌های حدی چه بر اساس داده‌های مشاهداتی و چه بر اساس برون‌داد مدل‌های تغییر اقلیم هم در سطح منطقه‌ای و هم در سطح جهانی قابل محاسبه می‌باشند و در صورتی که تجزیه و تحلیل روند تغییر شاخص‌ها بعد از تعیین مقدار و فراوانی آن‌ها انجام گردد، آگاهی تقریباً مطلوبی از شرایط پدیده‌های حدی در منطقه‌های تحت مطالعه، فراهم می‌کند (چمانه فر و همکاران، ۱۴۰۱).

در پژوهش حاضر، از ۲۷ شاخصی که کار گروه ETCCDI (سازمان جهانی هواشناسی) بر روی ۹ شاخص حدی که بیشترین کاربرد را در بخش کشاورزی دارد مورد استفاده قرار داده‌ایم (کوزه گران و همکاران، ۱۳۹۶، چمانه فر و همکاران، ۱۴۰۱). شاخص‌های حدی آب و هوایی مورد استفاده به صورت جدول (۳) آورده شده است.

جدول ۳- مشخصات شاخص‌های حدی آب و هواشناسی

ردیف	نام شاخص	نماد	تعریف	واحد
۱	روزهای تابستانی	SU25	تعداد روزها با دمای حداکثر بزرگتر از ۲۵ درجه	روز
۲	حداکثر دمای حداکثر	TMAXmea	بالاترین دمای حداکثر در ماه	درجه سانتی‌گراد
۳	حداقل دمای حداقل	TMINmea	کمترین دمای حداقل در ماه	درجه سانتی‌گراد
۴	شب‌های سرد	TN10p	درصد روزهای با دمای حداقل کمتر از صدک دهم دوره‌ی پایه استاندارد	درصد
۵	شب‌های گرم	TN90p	درصد روزهای با دمای حداقل بزرگتر از صدک نودم دوره‌ی پایه استاندارد	درصد
۶	شاخص شدت بارش	SDII	بارش سالانه تقسیم بر تعداد روزهای مرطوب (روز مرطوب = روز با بارش بیشتر یا مساوی ۱ میلی‌متر)	میلی‌متر در روز
۷	تعداد روزهای خشک متوالی	CDD	حداکثر طول دوره بدون بارش (بارش کمتر از ۱ میلی‌متر)	روز
۸	روز خیلی مرطوب	R95p	مجموعه بارش روزهای با میزان بارش بیش از صدک ۹۵م	میلی‌متر
۹	مجموع بارش سالانه	PRCPTOT	مجموعه بارش سالانه (با بارش بزرگتر یا مساوی ۱ میلی‌متر)	میلی‌متر

مدل‌های CMIP6

مدل‌های گردش عمومی، نماینگر فرایندهای فیزیکی در جو، اقیانوس و سطح زمین و در حال حاضر پیشرفته‌ترین ابزارهای موجود برای

شبیه‌سازی پاسخ سیستم آب‌وهوای جهانی به افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای هستند (Majumder, 2015). در حال حاضر CMIP6 با ارائه ده‌ها مدل اقلیمی آخرین نسل از پروژه‌های مقایسه جفت مدل اقلیمی (CMIP) است. هر یک از پروژه‌های CMIP6 موضوعات منحصر به فرد آب و هوایی را پوشش می‌دهد. فعالیت اصلی در فاز ۶ پروژه (CMIP6) مقایسه متقابل سناریوهای مختلف (ScenarioMIP¹) می‌باشد؛ که پیش‌نگری این مدل‌های اقلیمی ترکیبی از مجموعه جدید از سناریوهای انتشار و کاربری اراضی تولید شده به‌وسیله مدل‌های IAMs بر مبنای خطوط سیر مشترک اقتصادی - اجتماعی (SSP) آینده (که عناصر مانند جمعیت، رشد اقتصادی، شهرنشینی، سن، تحصیلات و ... را در برمی‌گیرد) و مرتبط با سناریوهای غلظت گازهای گلخانه‌ای RCPs می‌باشد (Eyring et al, 2016). مهران و همکاران (۲۰۱۴)، در مطالعات خود معتقدند که وابسته به منطقه آب و هوایی مورد مطالعه، ممکن است مدل‌های اقلیمی در مناطق با توپوگرافی پیچیده و پر شیب، برای بعضی از متغیرهای اقلیمی بیش برآورد و یا در مناطق خشک کم برآورد داشته باشد.

جدول ۴- مشخصات مدل‌های CMIP6 مورد استفاده در پژوهش

ردیف	نام مدل	کشور توسعه‌دهنده	نام مرکز تحقیقاتی	دقت مکانی مدل (درجه)
۱	ACCESS-CM2	استرالیا	مرکز عالی سیستم‌های اقلیمی شورای تحقیقات استرالیا	۱/۸۷ × ۱/۲۵
۲	BCC-CSM2-MR	چین	مرکز اقلیم پکن، اداره هواشناسی چین	۱/۱۲ × ۱/۱۲
۳	CESM2	امریکا	مشارکت‌کنندگان مدل سیستم زمین مشترک	۱/۲۵ × ۰/۹۴
۴	CNRM-CM6-1	فرانسه	مرکز ملی تحقیقات علمی هواشناسی (CNRM)	۱/۴ × ۱/۴
۵	CanESM5	کانادا	مرکز مدل‌سازی و تحلیل اقلیم کانادا	۲/۸۲ × ۲/۷۸
۶	MIROC6	ژاپن	موسسه ملی مطالعات محیط زیست، دانشگاه توکیو	۱/۴ × ۱/۴
۷	MRI-EMS2-0	ژاپن	موسسه تحقیقات هواشناسی	۱/۱۲ × ۱/۱۲
۸	IPSL-CM6A-LR	فرانسه	موسسه پیر-سیمون لاپلاس	۲/۵ × ۱/۲۶
۹	GISS-E2-1-G	امریکا	موسسه گودارد ناسا برای مطالعات فضایی	۲/۵ × ۲
۱۰	HadGEM3-GC31-LL	انگلستان	مرکز هادلی اداره هواشناسی	۱/۸۸ × ۱/۲۵
۱۱	NESM3	چین	دانشگاه اطلاعات و فناوری نانجینگ (NUIST)	۱ × ۱/۳
۱۲	NOR-ESM2-MM	نروژ	مرکز اقلیم نروژ	۰/۹۴ × ۱/۲۵

جدول ۵- تمام سناریوهای مورد استفاده در مجموعه آزمایشی ScenarioMIP به همراه ویژگی‌های مرتبط آن‌ها (Gidden et al. 2019).

نام سناریو	SSP	سطح هدف گرمایش (وات بر متر مربع)	نوع سناریو	سطح	مدل‌های ارزیابی یکپارچه	مشارکت در برنامه‌های مدل‌سازی بین‌المللی (MIPs)
SSP1-1.9	۱	۱/۹	کاهش	2	IMAGE	سناریوی MIP
SSP1-2.6	۱	۲/۶	کاهش	1	IMAGE	سناریوی MIP
SSP2-4.5	۲	۴/۵	کاهش	1	MESSAGE-GLOBIOM	سناریوی MIP, VIACS AB, CORDEX, GeoMIP, DAMIP, DCPD
SSP3-7.0	۳	۷	پایه	1	AIM/CGE	سناریوی MIP, AerChemMIP, LUMIP
SSP3-LowNTCF	۳	۶/۳	کاهش	2	AIM/CGE	سناریوی MIP, AerChemMIP, LUMIP
SSP4-3.4	۳	۳/۴	کاهش	2	GCAM4	سناریوی MIP
SSP4-6.0	۴	۶	کاهش	2	GCAM4	سناریوی MIP, GeoMIP
SSP5-3.4-OS	۴	۳/۴	کاهش	2	REMIND-MAGPIE	سناریوی MIP
SSP5-8.5	۵	۷۸/۵	پایه	1	REMIND-MAGPIE	سناریوی MIP, C4MIP, GeoMIP, ISMIP6, RFMIP

سناریوهای انتشار SSP

سناریوهای گزارش ششم به‌صورت ترکیبی از خط سیرهای اقتصادی - اجتماعی (SSP) (توسعه پایدار، SSP1، توسعه بر اساس سیاست‌های میانی، SSP2، منطقه‌ای SSP3، نابرابری SSP4 و توسعه سوخت فسیلی SSP5) و خط سیر غلظت گازهای گلخانه‌ای RCP (سطوح واداشت

مختلف) تولید می‌شوند؛ به طوری که امکان تحلیل بازخورد میان تغییر اقلیم و عوامل اجتماعی - اقتصادی نظیر رشد جهانی جمعیت، توسعه اقتصادی و پیشرفت فناوری را فراهم می‌آورد (انصاری مهابادی و همکاران، ۱۴۰۱).

رتبه‌بندی مدل‌های GCM براساس دقت در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی

برای تعیین دقت هر یک از مدل‌های CMIP6، نتایج شبیه‌سازی بارش و دما هر حوضه در دوره تاریخی با آمار مشاهداتی مورد مقایسه قرار گرفت. در این مرحله، از سنجه آماری کلینگ - گوپتا (KGE) برای تعیین میزان دقت هر مدل (روابط ۱ تا ۵) 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 وزن دهی براساس این سنجه می‌تواند کمک شایانی را در افزایش دقت نتایج تصویرسازی مدل‌ها داشته باشد. هر چه میزان این سنجه به ۱ نزدیک‌تر باشد، توانایی مدل GCM در شبیه‌سازی دما و بارش دوره تاریخی بهتر خواهد بود (Knoben et al, 2019).

مبنای این مدل‌ها، توانایی آن‌ها در شبیه‌سازی مقادیر مشاهداتی دوره پایه (۲۰۱۸ - ۱۹۸۸) بوده است. وزن دهی این مدل‌ها براساس

روابط ذیل صورت گرفت:

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

که در آن:

$$a = \frac{\sigma_s}{\sigma_o} \quad \text{رابطه ۲}$$

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

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})(O_i - \bar{O})]^2}{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2 \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad \text{رابطه ۴}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{n}} \quad \text{رابطه ۵}$$

در این رابطه S_i و O_i به ترتیب مقادیر داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده بارش یا دما در هر ماه، \bar{S} و \bar{O} میانگین داده‌های شبیه‌سازی شده، μ_o و μ_s میانگین داده‌های مشاهده شده، r ضریب همبستگی پیرسون، σ_o و σ_s به ترتیب انحراف معیار داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی و KGE شاخص ترکیبی کلینگ - گوپتا هستند. مقادیر این شاخص بین $-\infty$ تا ۱ متغیر بوده و هر چقدر به یک نزدیک‌تر باشد تطابق بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده بیشتر خواهد بود (Patil et al, 2015).

تعیین وزن (وزن دهی) مدل‌های GCM در ایستگاه‌های منتخب

باهدف کاهش عدم قطعیت در نتایج حاصل از مدل‌های CMIP6 این مدل‌ها بر مبنای دقت محاسبه شده در مراحل قبل بر اساس معادله (۶) وزن دهی شدند.

$$W_m = \frac{\frac{1}{1 - KGM_m}}{\sum_{m=1}^n \frac{1}{1 - KGM_m}} \quad \text{رابطه ۶}$$

که در رابطه فوق W_m وزن هر کدام از مدل‌های AOGCM در هر ماه برای برآورد دما و بارش است. مقدار تغییرات دما و بارش در دوره آتی (۲۰۲۱ - ۲۱۰۰) نسبت به دوره پایه (۲۰۱۴ - ۱۹۸۸) برای هر ماه از رابطه ۷ تا ۱۰ محاسبه شد:

$$\Delta T = \sum_{m=1}^n (W_m \times \Delta T_m) \quad \text{رابطه ۷}$$

$$\Delta T_m = \bar{T}_{M(2021-2100)} - \bar{T}_{M(1988-2018)} \quad \text{رابطه ۸}$$

$$\Delta P = \sum_{m=1}^n (W_m \times \Delta P_m) \quad \text{رابطه ۹}$$

$$\Delta P_m = \frac{\bar{P}_{m(2021-2100)}}{\bar{P}_{m(1988-2018)}} \quad \text{رابطه ۱۰}$$

که در روابط فوق، ΔT_m و ΔP_m متوسط ۸۰ ساله تغییرات دما و بارش پیش‌نگری شده توسط هر یک از مدل‌های AOGCM در هر

یک از سناریوهای انتشار SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 هستند (Semenov, 2008).

روش اریبی

از آنجا که خروجی مدل بر اساس روش نزدیکترین همسایه به دلیل توان تفکیک پایین مدل‌های اقلیمی ممکن است با داده‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه اختلاف داشته باشد، برای بهبود نتایج از روش‌های مختلفی جهت اصلاح اریبی استفاده می‌شود. در این مطالعه از روش

اصلاح اریبی مقیاس خطی استفاده شد (Fang et al., 2015). به این منظور داده‌های بارش و دمای ثبت شده در ایستگاه و خروجی از مدل‌های اقلیمی با فرمت txt وارد برنامه CMhyd شده و با انتخاب روش مقیاس خطی اریبی داده‌ها اصلاح شد. پارامتر اصلاحی در روش مقیاس خطی برای بارش و دما با روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$P_{cor,m,d} = P_{raw,m,d} \times \frac{\mu(P_{obs,m})}{\mu(P_{raw,m})} \quad \text{رابطه ۱۱}$$

$$T_{cor,m,d} = T_{raw,m,d} + \mu(P_{obs,m}) - \mu(P_{raw,m}) \quad \text{رابطه ۱۲}$$

در روابط بالا، P و T به ترتیب بارش و دمای، μ میانگین داده‌ها و اندیس‌های obs، raw، cor، m و d نشان دهنده داده‌های مشاهداتی، داده‌های خام، داده‌های اصلاح اریبی شده، ماه و روز می‌باشد. روابط فوق برای هر دو پایه و آینده استفاده شده و در نهایت از داده‌های اصلاح اریبی شده برای مقایسه توزیع بارش و دما استفاده شد.

تحلیل شیب روند داده‌ها با استفاده از آزمون ناپارامتری من - کندال و سنس (SSE)

برای بررسی تحلیل روند در سری زمانی بلند مدت داده‌ها از آزمون ناپارامتری من - کندال استفاده شد. در این آزمون H_0 بیانگر نبود روند و H_1 بیانگر وجود روند در سری زمانی داده‌ها است. آزمون استاندارد Z که در آزمون من - کندال از توزیع نرمال استاندارد با میانگین صفر و واریانس یک پیروی می‌کند، برای اندازه‌گیری روند استفاده می‌شود. بر این اساس اگر $|Z|$ بزرگتر از $Z_{crit} = 100 \times (1 - a/2)$ باشد، مقداره آماره از توزیع نرمال استاندارد با سطح اطمینان a انتخاب خواهد شد؛ بنابراین فرض صفر رد می‌شود و آزمون نشان می‌دهد روندی معناداری در سری زمانی وجود دارد. (برای مثال سطح آماره ۵٪ با $Z_{0.025} = \pm 1.96$) در آزمون من - کندال مثبت Z نشان دهنده روند صعودی است، در حالی که مقدار منفی آن نشان دهنده روند نزولی در سری زمانی منتخب است (حیدری و همکاران، ۱۳۹۷). جهت برآورد شیب واقعی روند در سری زمانی، از روش ناپارامتری سنس می‌توان استفاده کرد. این روش یکی از روش‌های کارا در این زمینه است. این روش که همانند بسیاری دیگر از روش‌ها ناپارامتری برای ارزیابی تفاوت بین مشاهدات سری زمانی می‌تواند استفاده شود که روند موجود در سری زمانی خطی باشد و در آزمون سنس اگر مقدار Q مثبت (منفی) باشد، نشان دهنده روند افزایشی (کاهش) است. به همین مقدار صفر نشان دهنده نبود روند کاهش یا افزایشی است (زرین و همکاران، ۱۴۰۰).

یافته‌های پژوهش

در این پژوهش جهت بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر فنولوژی درخت بادام از داده‌های مورد استفاده در گزارش ششم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC) استفاده شده است. مدل اقلیمی به کار رفته برای تخمین بارندگی، کمینه دما، بیشینه دما و میانگین دما از مجموعه مدل‌های CMIP6 می‌باشد که در سه سناریو اقلیمی SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 ارائه شده است. برای بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر فنولوژی درخت بادام در ایستگاه مورد نظر، داده‌های اقلیمی در دوره ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۸ وارد مدل شده و با استفاده از سه سناریوی اقلیمی داده‌های اقلیمی از سال ۲۰۲۱ تا ۲۱۰۰ به‌عنوان دوره آینده پیش‌نگری شده است.

رتبه‌بندی مدل‌های CMIP6 بر اساس توانایی شبیه‌سازی در دوره تاریخی

با توجه به جدول (۶ و ۷) مدل BCC-CSM2-MR بیشترین دقت را از بین ۱۲ مدل CMIP6 برای شبیه‌سازی دمای ایستگاه‌های منتخب استان آذربایجان شرقی را داراست. بررسی نتایج مربوط به تعیین مناسب‌ترین مدل‌های GCM گزارش ششم در پیش‌نگری بارندگی نشان می‌دهد که مدل MIROC6 متغیر بارش ایستگاه‌های استان را دقیق‌تر شبیه‌سازی می‌کنند.

روند بارش استان آذربایجان شرقی

با توجه به شکل (۲) و بر اساس نتایج به دست آمده از سناریوی SSP1-2.6 به‌عنوان سناریوی خوش‌بینانه، بارش استان در نقاط مختلف از ۲/۳ درصد در ایستگاه اهر تا ۳/۹ درصد در ایستگاه جلفا تغییر خواهد کرد. در سناریوی متوسط (SSP2-4.5)، مقادیر بارش در دامنه‌ای بین ۳/۱ درصد در ایستگاه مراغه تا ۵/۲ درصد در ایستگاه‌های میانه و اهر متغیر خواهد بود که نواحی افزایش بارش در این سناریو کاملاً برخلاف سناریوی خوش‌بینانه است. در سناریوی SSP5-8.5 به‌عنوان سناریوی بدبینانه تغییرات حدود ۳/۴- درصد در ایستگاه‌های جلفا و مرند تا ۴/۱- درصد در ایستگاه تبریز از خود نشان می‌دهد. با بررسی مقادیر میانگین بارش شبیه‌سازی ماهانه در سناریوهای مختلف SSP (SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5) در بازه زمانی ۲۰۲۱ تا ۲۱۰۰ در ایستگاه‌های منتخب استان آذربایجان شرقی در تمامی ماه‌های سال به جز ماه‌های اکتبر، نوامبر، دسامبر و ژانویه افزایش پیدا می‌کند. ولی با توجه به این موضوع که بیشتر کاهش بارش مربوط به فصل سرد



سال پاییز و اوایل زمستان است و بیشتر بارش استان نیز در این فصول اتفاق می‌افتد به طور کلی بارندگی سالانه کاهش خواهد بود.

جدول ۶- مقادیر KGE مدل‌های برتر در شبیه‌سازی دما (۱۸-۲۰ تا ۱۹۸۸) در استان آذربایجان شرقی

مدل						ایستگاه
MIROC6	CanESM5	CNRM-CM6-1	CESM2	BCC-CSM2-MR	ACCESS-CM2	
۰/۸۳	۰/۸۹	۰/۹۱	۰/۸۶	۰/۹۶	۰/۹۴	تبریز
۰/۸۹	۰/۸۹	۰/۹۴	۰/۹۱	۰/۹۸	۰/۹۱	مراغه
۰/۸۹	۰/۹۴	۰/۹۲	۰/۸۹	۰/۹۵	۰/۸۸	میانه
۰/۸۶	۰/۹۱	۰/۹۴	۰/۹۱	۰/۹۷	۰/۹۵	جلفا
۰/۸۴	۰/۹۲	۰/۹۳	۰/۸۸	۰/۹۵	۰/۸۹	اهر

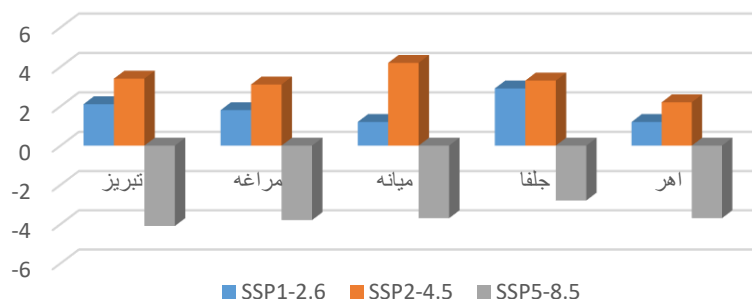
مدل						ایستگاه
NOR-ESM2-MM	NESM3	HadGEM3-GC31-LL	GISS-E2-1-G	IPSL-CM6A-LR	MRI-EMS2-0	
۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۸۶	۰/۹۱	۰/۸۶	۰/۸۶	تبریز
۰/۹۲	۰/۸۷	۰/۸۹	۰/۹۵	۰/۹۱	۰/۸۹	مراغه
۰/۹۴	۰/۹۱	۰/۸۸	۰/۹۲	۰/۸۹	۰/۸۲	میانه
۰/۹۵	۰/۸۹	۰/۸۹	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۸۱	جلفا
۰/۹۱	۰/۹۳	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۸۹	۰/۸۶	اهر

جدول ۷- مقادیر KGE مدل‌های برتر در شبیه‌سازی بارش (۱۸-۲۰ تا ۱۹۸۸) در استان آذربایجان شرقی

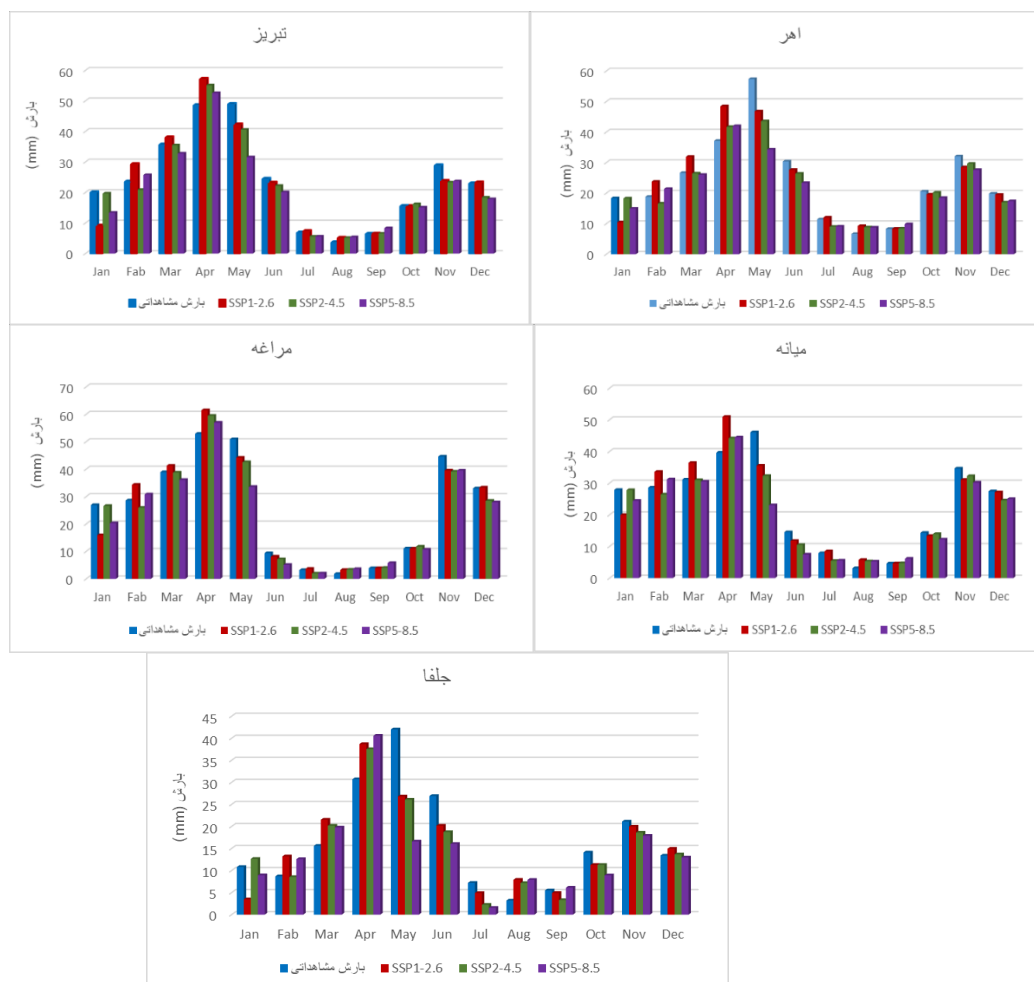
مدل						ایستگاه
MIROC6	CanESM5	CNRM-CM6-1	CESM2	BCC-CSM2-MR	ACCESS-CM2	
۰/۷۳	۰/۵۳	۰/۷۱	۰/۵۶	۰/۷۲	۰/۶۹	تبریز
۰/۷۴	۰/۴۹	۰/۶۹	۰/۵۹	۰/۷۱	۰/۶۲	مراغه
۰/۶۵	۰/۵۶	۰/۵۳	۰/۵۱	۰/۶۵	۰/۶۶	میانه
۰/۷۱	۰/۵۸	۰/۶۶	۰/۵۹	۰/۶۶	۰/۵۹	جلفا
۰/۶۹	۰/۵۲	۰/۴۸	۰/۶۳	۰/۶۵	۰/۶۱	اهر

مدل						ایستگاه
NOR-ESM2-MM	NESM3	HadGEM3-GC31-LL	GISS-E2-1-G	IPSL-CM6A-LR	MRI-EMS2-0	
۰/۵۹	۰/۶۴	۰/۷۱	۰/۶۲	۰/۴۹	۰/۶۸	تبریز
۰/۵۴	۰/۶۳	۰/۶۹	۰/۵۸	۰/۴۸	۰/۶۵	مراغه
۰/۴۸	۰/۵۶	۰/۵۳	۰/۶۳	۰/۵۶	۰/۵۹	میانه
۰/۵۳	۰/۵۲	۰/۶۲	۰/۵۹	۰/۴۲	۰/۶۲	جلفا
۰/۵۹	۰/۶۲	۰/۵۳	۰/۵۸	۰/۵۱	۰/۵۸	اهر

تغییرات بارش استان آذربایجان شرقی (درصد)



شکل ۲- تغییرات سالانه بارش ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب استان آذربایجان شرقی طبق سناریوهای SSP



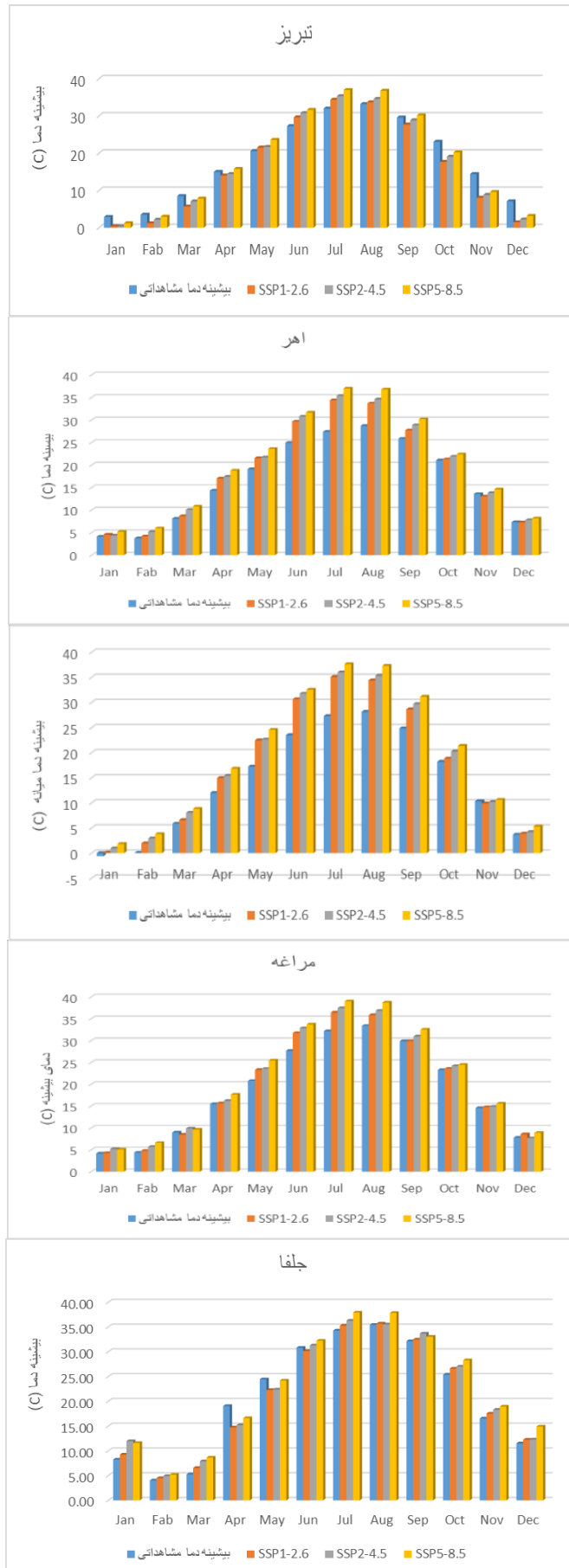
شکل ۳- تغییرات ماهانه بارش ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب استان آذربایجان شرقی تحت سناریوهای SSP

تغییرات پیشینه دما طی دوره آتی (۲۰۲۱ تا ۲۱۰۰) در استان آذربایجان شرقی

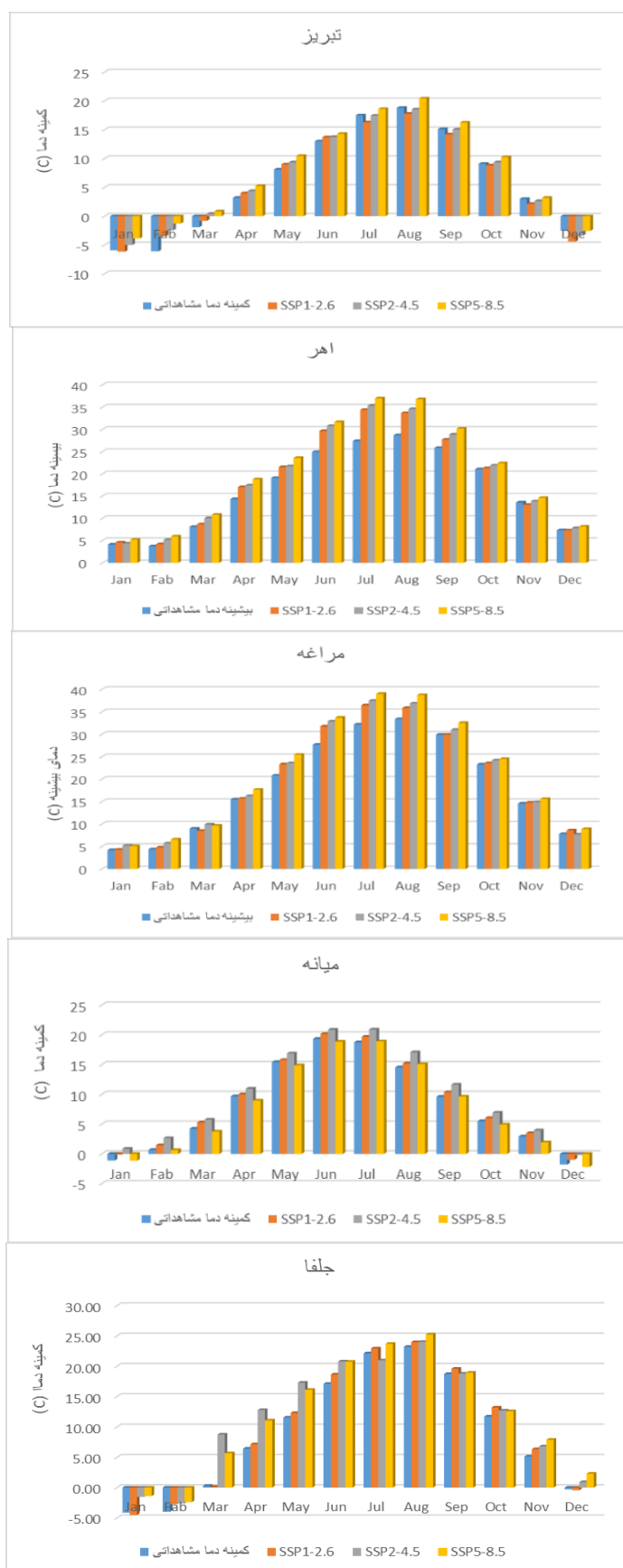
تغییرات سالانه پیشینه دما ایستگاه‌های مختلف سینوپتیک بر اساس نتایج سه سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 در شکل ۴ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که در سناریوی SSP1-2.6 طی ۸۰ سال آتی در استان افزایشی بین ۰/۶ تا ۴/۲ درجه سلسیوس را شاهد خواهیم بود. در سناریوی SSP2-4.5 این افزایش دما در نقاط مختلف استان بین ۰/۸ تا ۴/۹ درجه سلسیوس خواهد بود و بر اساس سناریوی بدبینانه SSP5-8.5 افزایش دمای پیشینه در سطح استان بین ۱ درجه در ایستگاه اهر تا ۶/۴ درجه سلسیوس در ایستگاه‌های جلفا و مراغه تجربه خواهد شد. مقادیر سالانه تغییرات دمای پیشینه ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب استان آذربایجان شرقی در شکل ۵ ارائه شده است. بر اساس نتایج به دست آمده دمای سالانه پیشینه در سناریوهای انتشار SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 در ایستگاه تبریز به ترتیب ۲/۷، ۲/۲ و ۳/۱، در ایستگاه مراغه به میزان ۱/۵، ۲/۲ و ۲، ایستگاه میانه ۲/۳، ۳/۲ و ۴/۴، ایستگاه جلفا ۴/۳، ۴/۹ و ۶/۴ و در ایستگاه اهر ۰/۶، ۰/۸ و ۱ درجه سلسیوس افزایش پیدا خواهد کرد. در حالت کلی ایستگاه جلفا بیشترین و ایستگاه اهر کمترین افزایش دما را از خود نشان می‌دهد.

تغییرات کمینه دما طی دوره آتی (۲۰۲۱ تا ۲۱۰۰) در استان آذربایجان شرقی

مقادیر سالانه تغییرات کمینه دمای ایستگاه‌های سینوپتیک استان آذربایجان شرقی در شکل (۵) ارائه شده است. بر اساس نتایج به دست آمده بیشترین مقدار افزایش در شهرستان جلفا در سناریوهای انتشار سه سناریوهای انتشار SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 به ترتیب به میزان ۳/۷، ۳/۳ و ۴/۹ درجه سلسیوس در ایستگاه تبریز و کمترین افزایش کمینه دما در شهرستان اهر به ترتیب به میزان ۰/۵، ۱/۴ و ۱/۳ درجه سلسیوس خواهد بود. از طرف دیگر در تمامی سطح استان سناریوی SSP1-2.6، کمترین میزان افزایش دما و سناریوهای SSP5-8.5 بیشترین افزایش دما را نشان می‌دهد.



شکل ۴- تغییرات بیشینه دما در ۸۰ سال آتی (۲۰۲۱ تا ۲۱۰۰) نسبت به دوره پایه (۱۹۸۹ تا ۲۰۱۸) تحت سه سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5



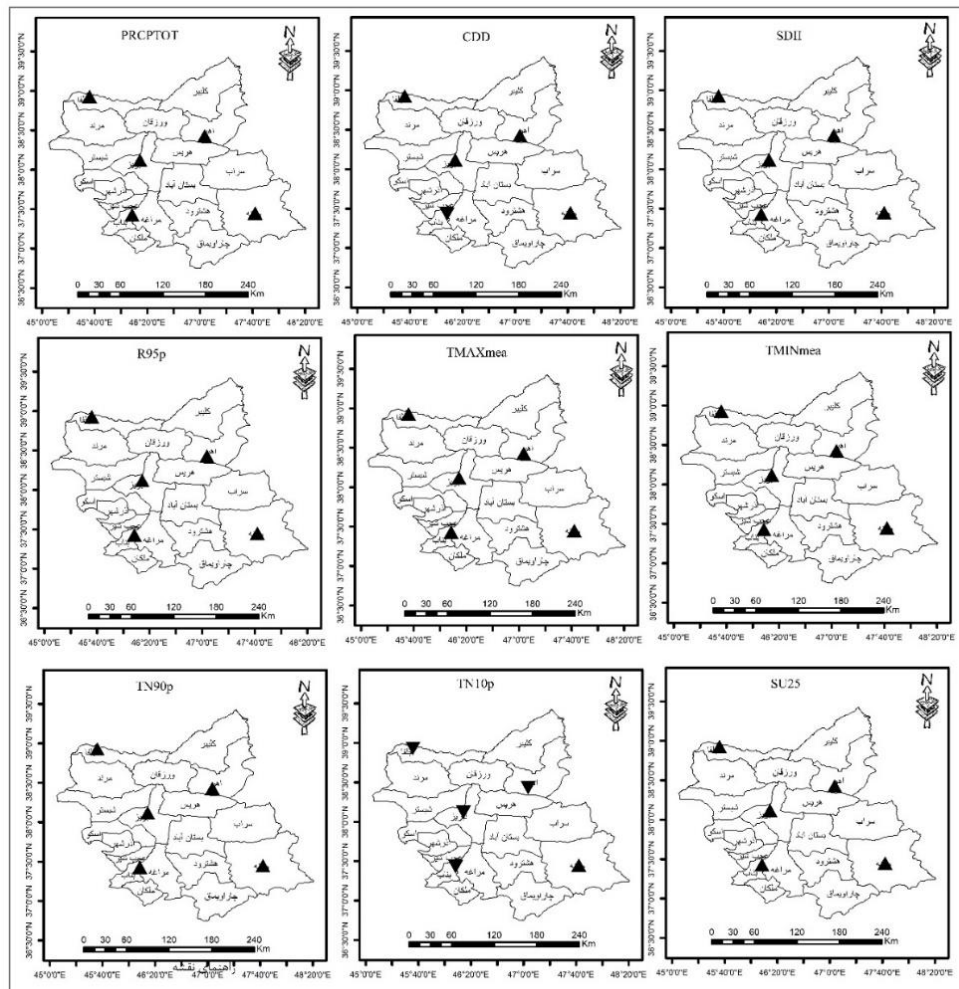
شکل ۵- تغییرات کمینه دما در ۸۰ سال آتی (۲۰۲۱ تا ۲۱۰۰) نسبت به دوره پایه (۱۹۸۹ تا ۲۰۱۸) تحت سه سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5

پیش‌نگری تأثیر تغییر اقلیم بر فنولوژی درخت بادام

در این پژوهش پیش‌نگری روند ۹ شاخص حدی مؤثر بر فنولوژی درخت بادام برای سه سناریوی خوش بینانه، متوسط و بدبینانه در دوره آماری آینده (۲۰۲۱ تا ۲۱۰۰) توسط نرم افزار Rclimdox مورد بررسی قرار گرفت. در شکل‌های (۶ تا ۸) پیش‌نگری ۹ شاخص حدی مورد مطالعه آورده شده است که در این نمودارها محور عمودی مقدار شاخص حدی و محور افقی دوره آینده (۲۰۲۱ تا ۲۱۰۰) است. همچنین هر تصویر از بالا سمت راست مربوط به شاخص‌های PRCPTOT، CDD، SDII، R95p، TMAXmean، TMINmean، TN90p، TN10p و SU25 می‌باشد. این شاخص‌ها در سطح معناداری ۰/۰۵ برآورد می‌گردد. هدف از فرایند ETCCDMI تعیین مجموعه استاندارد از شاخص‌ها است که بتوان توسط آن ویژگی‌های مناطق مختلف را بررسی و مقایسه نمود. با استفاده از این نرم افزار شاخص‌ها محاسبه شده و جدول هر شاخص (جدول نمودار روند) محاسبه می‌شود.

بررسی روند شاخص‌های حدی مؤثر بر فنولوژی درخت بادام بر اساس سناریوی SSP1-2.6

با توجه به شکل (۶) شاخص مجموع بارش سالانه (PRCPTOT) در هر پنج ایستگاه منتخب حالت افزایشی دارد ولی هیچ روند معنی داری را نشان نمی‌دهد. روند CDD (تعداد روزهای خشک متوالی) در ایستگاه‌های تبریز، اهر و مراغه حالت افزایشی و در ایستگاه‌های جلفا و مراغه حالت کاهش می‌دهد. با توجه به مدل (جدول ۸) روند معنادار نیست. شاخص SDII (شاخص شدت بارش) در هر پنج ایستگاه حالت افزایشی ولی روند معنادار را نشان نمی‌دهد. شاخص مجموع بارش روزهای با میزان بارش بیش از صدک ۹۵ (R95p) روند افزایش بدون معناداری را در تمامی ایستگاه‌ها نشان می‌دهد. شاخص‌های TMAXmean و TMINmean (حداکثر دمای حداکثر) و (حداقل دمای حداقل) هر دو روند معنادار در صورت افزایشی دارند. شاخص TN90p (شب‌های گرم) روند افزایشی معنادار و شاخص TN10p (شب‌های سرد) روند کاهش معنادار را نشان می‌دهد. شاخص روزهای تابستانی (SU25) نیز روند افزایشی دارد ولی معناداری خاصی را نشان نمی‌دهد.



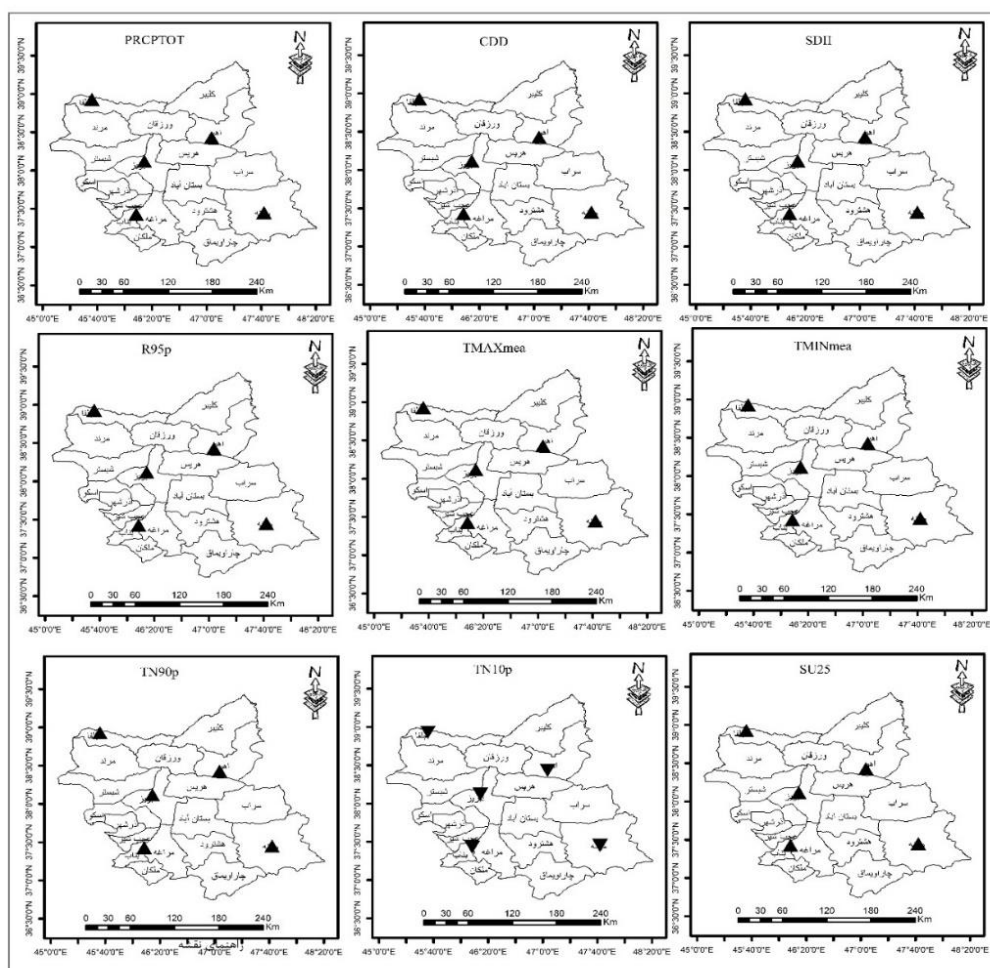
شکل ۶- روند تغییرات شاخص‌های حدی در دوره ۲۰۲۱ تا ۲۱۰۰ بر اساس سناریوی SSP1-2.6 ایستگاه‌های استان آذربایجان شرقی

جدول ۸- آزمون شیب سنس روند تغییرات شاخص‌های حدی در دوره ۲۰۲۱ تا ۲۱۰۰ بر اساس سناریوی SSP 1-2.6 ایستگاه‌های استان آذربایجان شرقی

نام ایستگاه	تبریز	اهر	جلفا	میانه	مراغه
PRCPTOT	۰/۰۷۵	۰/۰۵	۰/۰۷۲	۰/۰۷۹	۰/۰۲
CDD	۰/۰۱	۰/۰۴۴	۰/۰۱۵	۰/۰۱۸	۰/۰۴۲
SDII	۰/۰۰۲	۰/۰۹۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲
R95P	۰/۰۲۵	۰/۰۳۵	۰/۰۹۵	۰/۰۲۸	۰/۰۰۷
TMAXmea	۰/۰۱*	۰/۰۱۱	۰/۰۰۹*	۰/۰۱۱*	۰/۰۱*
TMINmea	۰/۰۷*	۰/۰۶	۰/۰۰۸*	۰/۰۰۷*	۰/۰۰۷*
TN90P	۰/۰۳*	۰/۰۳۲*	۰/۰۴*	۰/۰۴۲*	۰/۰۵۵*
TN10P	۰/۰۵*	۰/۰۳۵*	۰/۰۵*	۰/۰۲۹*	۰/۰۳*
SU25	۰/۰۶۹*	۰/۰۹	۰/۰۹۶	۰/۰۸۲	۰/۰۶۹

بررسی روند شاخص‌های حدی مؤثر بر فنولوژی درخت بادام بر اساس سناریوی SSP2-4.5

در شکل (۷) پیش‌نگری ۹ شاخص حدی با استفاده از سناریو میانه SSP2-4.6 ترسیم شده است. بر این اساس در سناریو میانه، در دوره آینده (۲۰۲۱ تا ۲۱۰۰) تنها شاخص TN10p دارای روند کاهشی است و دیگر شاخص‌های (PRCPTOT, CDD, SDII, R95p, TMAXmean, TMINmean, TN90p و SU25) روند افزایشی را نشان می‌دهند. در این سناریو از لحاظ معنادار بودن بر اساس جدول ۶ در دوره آینده روند شاخص‌های (TMAXmean, TMINmean, TN90p و TN10p) دارای روند معنادار و شاخص‌های (PRCPTOT, CDD, SDII, R95p و SU25) بدون روند هستند.



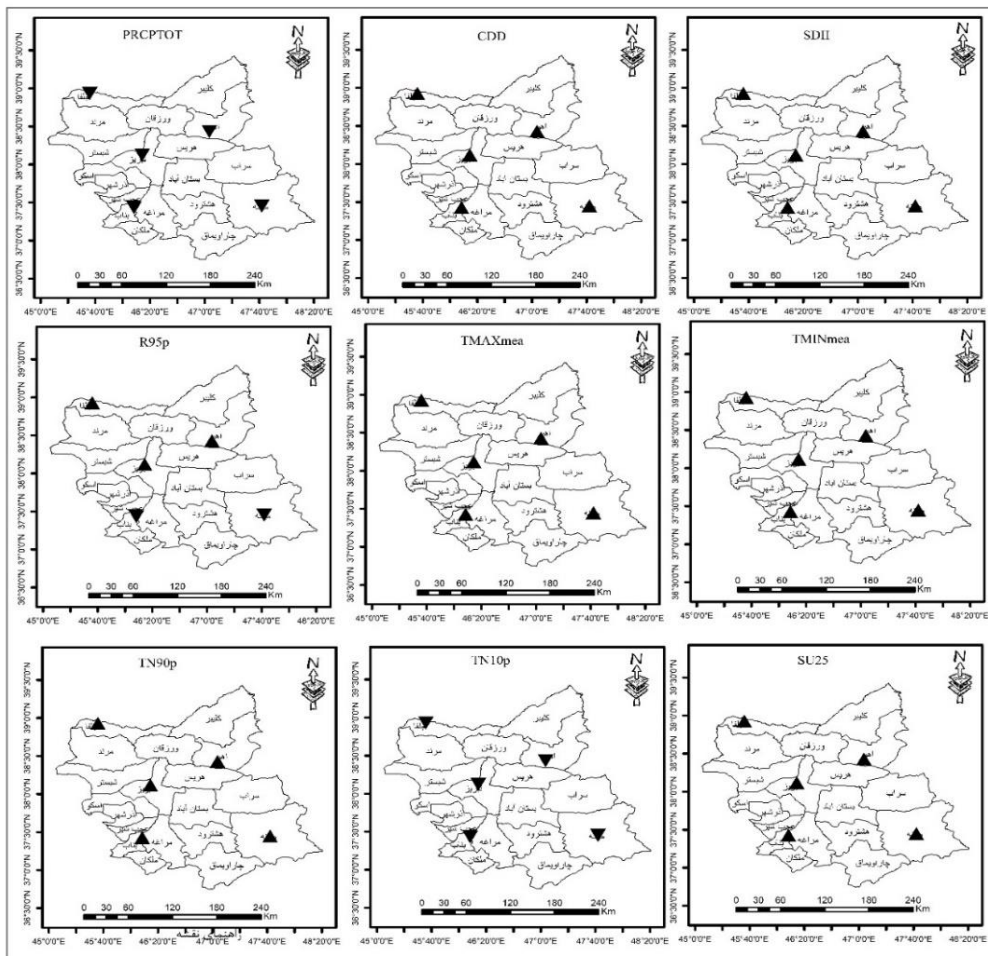
شکل ۷- روند تغییرات شاخص‌های حدی در دوره ۲۰۲۱ تا ۲۱۰۰ بر اساس سناریوی SSP 2-4.5 ایستگاه‌های استان آذربایجان شرقی

جدول ۹- آزمون شیب سنس روند تغییرات شاخص‌های حدی در دوره ۲۰۲۱ تا ۲۱۰۰ بر اساس سناریوی SSP 2-4.5 ایستگاه‌های استان آذربایجان شرقی

نام ایستگاه	تبریز	اهر	جلفا	میانه	مراغه
PRCPTOT	۰/۰۵۹	۰/۰۵۱	۰/۰۷۰	۰/۰۶۳	۰/۰۸
CDD	۰/۰۴۲	۰/۰۴۲	۰/۰۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸
SDII	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸*	۰/۰۰۳	۰/۰۱۴*	۰/۰۰۶
R95P	۰/۰۴۸	۰/۰۴۶	۰/۰۵۹	۰/۰۳۸	۰/۰۵۳
TMAXmea	۰/۰۲۸*	۰/۰۲۸*	۰/۰۳۱*	۰/۰۲۹*	۰/۰۲۸*
TMINmea	۰/۰۰۵*	۰/۰۰۶	۰/۰۰۹*	۰/۰۰۶*	۰/۰۰۵*
TN90P	۰/۰۴*	۰/۰۳۸*	۰/۰۴۸*	۰/۰۴۵*	۰/۰۴۸*
TN10P	۰/۰۴*	۰/۰۳۲*	۰/۰۵۳*	۰/۰۴۵*	۰/۰۳*
SU25	۰/۰۳۶	۰/۰۴۴	۰/۰۴۶	۰/۰۴۵	۰/۰۳۶

بررسی روند شاخص‌های حدی مؤثر بر فنولوژی درخت بادام بر اساس سناریوی SSP5-8.5

در شکل (۸) روند ۹ شاخص حدی برای دوره آینده (۲۰۲۱ تا ۲۱۰۰) بر اساس سناریوی بد بینانه SSP5-8.5 ترسیم شده است. بر اساس این نمودارها دو شاخص PRCPTOT و TN10p در هر پنج ایستگاه مورد مطالعه دارای روند کاهشی و دیگر شاخص‌ها (CDD, SDII, R95p, TMAXmean, TMINmean, TN90p, SU25) دارای روند افزایشی است. در این سناریو (SSP5-8.5) با استفاده از آزمون شیب (جدول ۱۰) مشاهده گردید که شاخص‌های (TN10p و TN90p, TMINmean, TMAXmean) دارای روند معنادار و پنج شاخص (SU25 و R95p, SDII, CDD, PRCPTOT) بدون روند هستند.



شکل ۸- روند تغییرات شاخص‌های حدی در دوره ۲۰۲۱ تا ۲۱۰۰ بر اساس سناریوی SSP 5-8.5 ایستگاه‌های استان آذربایجان شرقی

جدول ۱۰- آزمون شیب سنس روند تغییرات شاخص‌های حدی در دوره ۲۰۲۱ تا ۲۱۰۰ بر اساس سناریوی SSP 5-8.5 ایستگاه‌های استان آذربایجان شرقی

نام ایستگاه	تبریز	اهر	جلفا	میانه	مراغه
PRCPTOT	-۰/۰۸۲	-۰/۰۸۲	-۰/۰۷۵	-۰/۰۰۱	-۰/۰۲۵
CDD	۰/۰۱۱	۰/۰۱۱	۰/۰۰۹	۰/۰۳۶	۰/۰۰۱
SDII	۰/۰۰۹*	۰/۰۰۹*	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۵
R95P	۰/۰۴۲	۰/۰۴۲	۰/۰۵۸	-۰/۰۰۸	-۰/۰۱۱
TMAXmea	۰/۰۸*	۰/۰۸۵	۰/۰۳۴*	-۰/۰۸۴*	۰/۰۸۵*
TMINmea	۰/۰۶۶*	۰/۰۶۹	۰/۰۱*	-۰/۰۶۸*	۰/۰۶*
TN90P	۰/۰۴۱*	۰/۰۴۳*	۰/۰۵*	۰/۰۴۰*	۰/۰۴۱*
TN10P	-۰/۰۳*	-۰/۰۲۹*	-۰/۰۵۲*	-۰/۰۲۹*	-۰/۰۳۱*
SU25	۰/۰۷۶	۰/۰۸۲	۰/۰۷*	۰/۰۸۶	۰/۰۷

رگرسیون چند متغیره بین متغیرهای اقلیمی حدی و تولید بادام

در بعضی از مسائل پژوهشی، بخصوص آن‌هایی که هدفشان پیش‌بینی است، تعیین همبستگی بین متغیر ملاک (که قصد پیش‌نگری آن را داریم) و ترکیب متغیرهای پیش‌بینی کننده، که هر کدام از آن‌ها به میزانی با این متغیر همبستگی دارند، از اهمیت زیادی برخوردار هستند. "رگرسیون چند متغیری" روشی است که به وسیله آن متغیرهای پیش‌بینی کننده ترکیب می‌شوند. در این روش، یک معادله رگرسیون چند متغیری محاسبه می‌شود که ارزش‌های اندازه‌گیری شده پیش‌بینی را در یک فرمول خلاصه می‌کند، بر اساس اهمیت متغیر در پیش‌بینی متغیر ملاک، ضرایب معادله برای هر متغیر محاسبه و تعیین می‌شود.

خروجی مدل رگرسیون بر فنولوژی و عملکرد محصول درخت بادام در جدول (۱۱) ارائه شده است. در این جدول ضرائب ارائه شده از انجام مدل رگرسیونی برای مقادیر استاندارد شده شاخص‌های حدی اقلیمی بوده که نشان می‌دهد هر کدام از شاخص‌ها به چه میزانی بر فنولوژی و عملکرد محصول درخت بادام تأثیر گذار بوده است و همچنین نمرات منفی جدول برای شاخص‌ها در چه میزانی بر تولید و عملکرد محصول بادام تأثیر گذار بوده‌اند. نمرات منفی جدول برای شاخص‌ها نشان دهنده اثر کاهشی تولید و نمرات مثبت دارای اثر افزایشی بر محصول داشته‌اند. نمرات منفی جدول برای هر یک از شاخص‌های حدی نشان دهنده اثر کاهشی و نمرات مثبت در هر شاخصی بیانگر اثر افزایشی آن شاخص بر عملکرد محصول بادام است.

جدول ۱۱- ضرایب رگرسیونی شاخص‌های حدی برای محصول بادام

ردیف	متغیر مستقل	نمایه	ضریب بتا (متغیر وابسته تولید محصول بادام)	sig
۱	PRCPTOT	مجموع بارش سالانه	۱/۶۲۶	۰/۰۰
۲	CDD	تعداد روزهای خشک متوالی	۳/۴۰۲	۰/۰۰
۳	SDII	شدت بارش	-۱/۸۸۹	۰/۰۰
۴	R95P	مجموع بارش روزهای با میزان بارش بیش از صدک ۹۵م	۱/۸۸۵	۰/۰۰
۵	TMAXmean	حدکتر دمای حداکثر	۰/۰۸۱	۰/۰۰
۶	TMINmean	حداقل دمای حداقل	۰/۳۷۹	۰/۰۰
۷	TN90P	شب‌های گرم	-۷/۵۵۵	۰/۰۰
۸	TN10P	شب‌های سرد	۲/۹۳۲	۰/۰۰
۹	SU25	روزهای تابستانی	-۳/۷۱۴	۰/۰۰

در اقلیم آینده که بر اساس سه سناریوی انتشار SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 پیش‌نگری شده است، نشان می‌دهد که رویدادهای حدی اقلیمی در طی ۸۰ سال آینده (۲۰۲۱ تا ۲۱۰۰) در بیشتر شاخص‌ها رو به افزایش است. عوامل مختلف آب و هوایی بر فنولوژی و عملکرد محصول درخت بادام تأثیر گذار است. دما، مقدار بارش، میزان خشک‌سالی و یخبندان از عوامل مؤثر بر فنولوژی درخت بادام است. با توجه به اینکه طی دهه‌های اخیر تعداد زیادی از عوامل تأثیرگذار بر زراعت (مانند مدیریت، آبیاری، سموم، اقتصاد و ادوات کشاورزی) رو به رشد بوده است و در نتیجه باید باعث افزایش عملکرد محصول درخت بادام در واحد سطح شده باشد، اما شاهد بی‌ثباتی و گاهی اوقات کاهش محصول در منطقه مورد مطالعه هستیم که با توجه به رخداد تغییرات زیاد شاخص‌های حدی آب و هوایی این امر

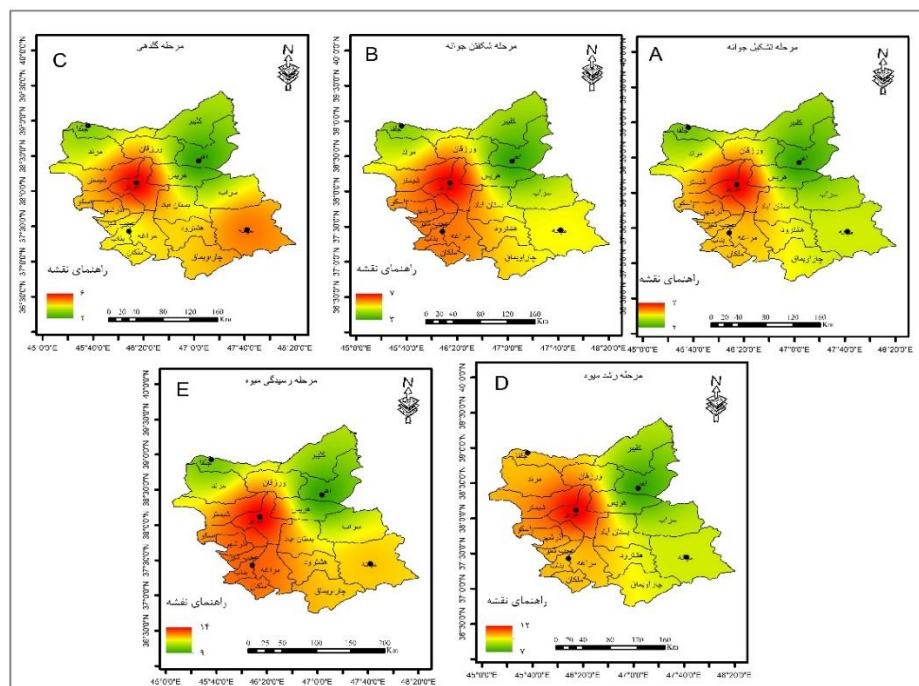


می‌تواند بیانگر تغییرات این شاخص‌ها و میزان اثرگذاری آن بر فنولوژی و عملکرد محصول بادام باشد. با توجه به یافته‌های این پژوهش مشاهده شد که در طی دوره آینده شاخص‌های حدی دمایی و بارش تغییراتی خواهند داشت که بعضی از این تغییرات قابل توجه خواهند بود.

مراحل فنولوژی درخت بادام متأثر از عوامل آب و هوایی است که در میان این عوامل نقش دما و دامنه حرارتی در طول دوره رشد درخت بادام از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تغییرات دما برای گلدهی درخت بادام و نوسانات دمای شب و روز مهم‌ترین عامل تنظیم گلدهی درخت بادام است. با توجه به اینکه شاخص شب‌های گرم (TN90p) در استان آذربایجان شرقی با روند معناداری رو به افزایش است و روند منفی معنادار منفی در مورد شاخص شب‌های سرد (TN10p) ایجاد شده است. به دلیل اهمیت شاخص‌های (TMAXmean) و (TMINmean) که هر دو با روند معنادار رو به افزایش دارد که این باعث تأثیر مستقیم بر فنولوژی درخت بادام است. شاخص روزهای تابستانی (SU25) نیز روند افزایشی دارد، هر چند معناداری خاصی را نشان نمی‌دهد ولی باعث تنش حرارتی شده است زیرا با افزایش دما، تبخیرتقرق افزایش یافته و باعث تنش حرارتی در گیاه می‌شود. روند بدون معنادار شاخص مجموع بارش سالانه (PRCPTOT) که در دو سناریوی خوش‌بینانه و میانه حالت افزایشی و در سناریوی بدبینانه حالت کاهش‌ی دارد و همچنین شاخص شدت بارش (SDII)، شاخص بارش بیش از صدم ۹۰ (R95p) و شاخص تعداد روزهای خشک متوالی (CDD) که با روند بدون معنادار رو به افزایش است، می‌تواند از عوامل تأثیرگذار بر فنولوژی و عملکرد محصول درخت بادام در استان آذربایجان شرقی باشد.

با توجه به هدف پژوهش که بررسی پیامدهای تغییر اقلیم بر رویدادهای حدی و تأثیر آن بر ساختار فنولوژی درخت بادام است، تاریخ آغاز تشکیل جوانه تحت شرایط گرمایش جهانی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این دوره نشان داد که در مرحله تشکیل جوانه در استان آذربایجان شرقی در سال‌های آتی (۲۰۲۱ تا ۲۱۰۰) زودتر از اقلیم پایه (۱۹۸۹ تا ۲۰۱۸) آغاز خواهد شد. بر اساس مدل ناپارامتریک برازش داده‌شده (پارامتر Q) می‌توان مشاهده کرد که طی سال‌های آتی هر ساله ۰/۱۸ روز این مرحله فنولوژیکی زودتر آغاز شده است. به‌طور میانگین زمان تشکیل جوانه درخت بادام در دوره پایه ۷ فروردین است؛ درحالی‌که تشکیل جوانه به‌طور میانگین در سه سناریوهای انتشار SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 در دوره‌های آتی در سطح استان از ۲ روز در ایستگاه جلفا تا ۷ روز در ایستگاه تبریز زودتر شروع خواهد شد (نقشه A، تشکیل جوانه). مرحله شکفتن جوانه دومین مرحله فنولوژی درخت بادام است. بر اساس روند آشکارشده زمان شکفتن جوانه درخت بادام هر سال بر اساس پارامتر Q (۰/۲۲) زودتر شروع شده است. نتایج این بخش بیانگر این مطلب است که تاریخ آغاز فاز شکفتن جوانه در دوره پایه آماری (۱۹۸۷ تا ۲۰۱۸) به‌طور میانگین در سطح استان ۱۷ فروردین ماه است. این مرحله فنولوژی براساس میانگین سه سناریوی انتشار بین ۳ روز (ایستگاه اهر) تا ۷ روز (ایستگاه تبریز) زودتر از دوره پایه آغاز خواهد شد (نقشه B، شکفتن جوانه). بر اساس مدل ناپارامتریک برازش داده‌شده (پارامتر Q) طی دوره ۸۰ ساله آینده در استان آذربایجان شرقی درخت بادام فاز گل‌دهی خود را هر سال (۰/۱۵) زودتر شروع خواهند کرد. نتایج بخش تغییرات زمانی فاز فنولوژیکی گل‌دهی در سطح استان (نقشه C، گلدهی درخت بادام) بر اساس میانگین ۳ سناریو تغییر اقلیم بین ۲ تا ۶ روز خواهد بود.

مرحله چهارم فنولوژیکی درخت بادام فاز رشد میوه است. ویژگی‌های روند نگار سری زمانی ۳۱ ساله دوره پایه بیانگر این مطلب است که هر سال (۰/۲۷) مرحله رشد میوه درخت بادام زودتر شروع شده است. در این قسمت بر اساس میانگین ۳ سناریوی تغییر اقلیم (SSP) به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر مرحله رشد درخت بادام (رشد میوه) پرداخته شده است. بر اساس یافته‌های این پژوهش میانگین زمانی مرحله رشد میوه درخت بادام در دوره ۳۰ ساله پایه (۱۹ مرداد) است که این فاز در دوره‌های آتی با توجه به سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 به‌طور میانگین بین ۱۳ مردادماه در ایستگاه اهر تا ۷ مردادماه در ایستگاه تبریز خواهد بود. آخرین مرحله فنولوژی درخت بادام مرحله رسیدگی میوه است. بر اساس مدل ناپارامتریک برازش داده‌شده (پارامتر Q) طی دوره آماری پایه مرحله رسیدن میوه درخت بادام هر سال (۰/۲۷) روز زودتر به اتمام رسیده است. بر اساس یافته‌های این پژوهش به‌طور میانگین تاریخ رسیدن میوه درخت بادام در سطح استان، روز ۱۹ شهریورماه بوده است که در اقلیم شبیه‌سازی شده ۲۰۲۰ تا ۲۱۰۰ این تاریخ همان‌گونه که در شکل ۹ (نقشه E، مرحله رسیدگی محصول بادام) مشاهده می‌شود، در سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 بین ۹ تا ۱۴ روز، زودتر شروع خواهد شد.



شکل ۹- پهنه‌بندی تغییرات فنولوژی درخت بادام بر اساس میانگین سناریوهای SSP در دوره ۲۰۲۱ تا ۲۱۰۰ نسبت به دوره پایه (۱۹۸۹ تا ۲۰۱۸)

نتیجه‌گیری

تغییر اقلیم در مناطق گوناگون جهان اثر می‌گذارد، این اثرها به گونه‌های مختلف نمود می‌یابد. تغییر الگوها و پراکنش زمانی و مکانی بارش‌ها و همچنین رخدادهای حدی دمایی از پیامدهای مهم تغییر اقلیم است. از آنجایی که رخدادهای فرین‌های آب و هوایی نقش مهمی در فنولوژی گیاهان دارد، مطالعه و بررسی رفتار این شاخص‌ها در بستر تغییر اقلیم اهمیت بسیاری دارد. پژوهش حاضر به بررسی وضعیت حدی آب‌وهوا بر فنولوژی درخت بادام تحت تأثیر تغییر اقلیم پرداخته شده است. بدین منظور ابتدا وضعیت تغییر اقلیم در ایستگاه مطالعاتی تبریز با استفاده از مدل‌های CMIP6 طبق سه سناریوی SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه بعد از اینکه صحت و دقت مدل‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت و تأیید شد به بررسی تغییرات بارش و حداقل و حداکثر دما در دوره آینده (۲۱۰۰ - ۲۰۲۱) پرداخته شد که نتایج حاصل نشان از افزایش ۱ تا ۴/۵ درجه سانتی‌گرادی دما میانگین سالانه در سطح استان دارد. داده‌های تغییرات زمانی الگوی بارش نشان می‌دهد در فصل پاییز مقدار بارش افزایش و در دیگر فصول کاهش خواهد یافت. از نظر مقدار بارش سالانه در سناریوی SSP1-2.6، ۲/۳ تا ۳/۸ درصد و در سناریوی SSP2-4.5 ۳/۱ و ۵/۱ درصد افزایش می‌یابد ولی در سناریوی SSP5-8.5 با کاهش ۳/۴- تا ۴/۱۸- درصدی مواجه خواهد شد. براساس نتایج حاصل، رویدادهای حدی دمای هوا در ایستگاه تبریز روند افزایشی داشته است که این روند رو به افزایش باعث کاهش طول فصل رشد درخت بادام از ۱۷۶ روز در دوره پایه به ۱۵۶ روز در سناریوی SSP1-2.6، ۱۵۰ روز در سناریوی SSP2-4.5 و ۱۴۶ روز در سناریوی SSP5-8.5 شده است.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

- اسماعیلی، رضا؛ گندمکار، امیر؛ غیور، حسنعلی (۱۳۹۰). پهنه بندی تغییر اقلیم از دیدگاه کشاورزی در دوره اقلیمی آینده (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی). *مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*، ۴۱(۱)، ۵۲-۳۵.
- انصاری مهابادی، ثمین؛ دهبان، حسین؛ زارعیان، محمد جواد؛ فرخ نیا، اشکان (۱۴۰۱). بررسی روند تغییرات دما و بارش حوزه‌های آبریز ایران در افق ۲۰ سال آینده بر اساس برون داد مدل‌های CMIP6. *مجله پژوهش آب ایران*، ۱۶(۱)، ۲۴ - ۱۱.
- بیابانی سامانی، مجید (۱۳۹۷). بررسی فنولوژی جوانه گل و تعیین نیاز سرمایی و گرمایی در ۵ رقم تجاری بادام. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد



- راهنما دکتر عبدالرحمان محمدخانی، دانشگاه شهرکرد.
- جوادی، زهرا؛ فلاح قاله‌ری، غلامعباس؛ انتظاری، علیرضا (۱۳۹۳). نقش پارامترهای آب و هوایی بر عملکرد محصول بادام (مطالعه موردی سبزوار)، *نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*. ۱۷(۱۸)، ۱۴۷۱-۱۲۵.
- جهانگیری، محمد حسین؛ محمدی، علی (۱۳۹۷). پهنه بندی دما و بارش استان آذربایجان شرقی با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG برای سال‌های ۲۰۱۱ - ۲۰۶۵، *فصلنامه جغرافیا (برنامه ریزی منطقه‌ای)*. ۸(۲)، ۱۳۰ - ۱۱۹.
- چاپچی، سجاد (۱۳۶۸). ارقام بادام‌های دیر گل، نشریه فنی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.
- چمانه فر، ساناز؛ موسوی بایگی، سیدمحمد؛ بابائیان، ایمان؛ مدرسی، فرشته (۱۴۰۱). پیش‌نگری شاخص‌های حدی بارشی و دمایی در دوره ۲۱۰۰-۲۰۲۶ بر اساس برونداد مدل‌های CMIP6 (مطالعه موردی: مشهد). *مجله آبیاری و زهکشی ایران*؛ ۱۶(۵)، ۹۶۳-۹۷۶.
- حیدری، سوسن؛ گودرزی، مسعود؛ شمسی پور، علی اکبر؛ عبدالهی کاکرودی، عطالله؛ بازگیر، سعید (۱۳۹۷). ارزیابی روش‌های آماری در آشکارسازی روند تغییرات بارش (مطالعه موردی: استان کرمانشاه). *علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*. ۱۲(۴۲)، ۸۹-۸۱.
- دژم پور، جلیل (۱۳۹۲). ارزیابی خسارت سرمای بهاره در تیپ‌های مختلف ارقام بادام و زردآلو، *نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)*. ۲۷(۳)، ۳۰۹ - ۳۰۱.
- زرین، آذر؛ داداشی رودباری، عباسعلی؛ صالح آبادی، نرگس (۱۴۰۰). بررسی بی‌هنجاری و روند دمایی ایران در پهنه‌های مختلف اقلیمی با استفاده از مدل‌های جفت شده پروژه مقایسه متقابل مرحله ششم (CMIP6)، *مجله ژئوفیزیک ایران*. ۱۵(۱)، ۵۴ - ۲۵.
- عرفانیان، مریم؛ انصاری، حسین؛ علیزاده، علی، بنایان اول، محمد (۱۳۹۷). ریسک تولید گندم پاییزه از وقوع شرایط حدی اقلیمی ناشی از تغییر اقلیم (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی). *مجله مخاطرات محیط طبیعی*. ۷(۱۷)، ۱۹۴ - ۱۷۵.
- فرج نیا، اصغر؛ مروج، کامران (۱۳۹۸). پهنه‌بندی آگروکلیمایی کشت زعفران در استان آذربایجان شرقی، *نشریه پژوهش‌های زعفران*. ۷(۲)، ۲۶۷ - ۲۵۱.
- کوزه‌گران، سعیده؛ موسوی بایگی، محمد؛ خاشعی سیوکی، عباس؛ بابائیان، ایمان (۱۳۹۶). مدل سازی عملکرد زعفران با توجه به شاخص‌های حدی اقلیمی (مطالعه موردی: بیرجند). *نشریه پژوهش‌های زعفران*. ۵(۲)، ۲۲۹ - ۲۱۷.

REFERENCES

- Ansari, S., Dehban, H., Zareian, M., & Farokhnia, A. (2022). Investigation of temperature and precipitation changes in the Iran's basins in the next 20 years based on the output of CMIP6 model. *Iranian Water Researches Journal*, 16(1), 11-24. (In Persian).
- Biabani Samani, M. (2017). Investigating flower bud phenology and determining cold and heat requirements in 5 commercial almond cultivars. Master's thesis, supervisor Dr. Abdurrahman Mohammadkhani, Shahrekord University. (In Persian).
- Chaichi, S. (1368). Varieties of late flower almonds, technical publication of the Agricultural Research, Education and Promotion Organization. (In Persian).
- chamanehfar, S., Mousavi Baygi, M., babaieian, I., & Modaresi, F. (2022). Future projection for extreme indices of precipitation and temperature over the period 2026-2100 based on the output of CMIP6 models (Case study: Mashhad). *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 16(5), 963-976. (In Persian).
- Dejampour, J. (2013). Evaluation of Early Spring Frost Damage in Different Types of Almond and Apricot Cultivars. *Journal Of Horticultural Science*, 27(3), 301-309. (In Persian).
- Erfanian, M., Ansari, H., Alizadeh, A., Banayan Aval, M. (2018). Impact of Extreme climatic events on Production risk of Winter wheat in Climate Change Condition (Case study: Khorasan Razavi Province). *Journal of Natural Environmental Hazards*, 7(17), 175-194. (In Persian).
- Esmaeili, R., Gandomkar, A., Ghayoor, H. A. (2009). Zoning of climate changes rate base on agriculture approach in future climatic period (case study Khorasan Razavi province). *Geography and Environmental Planning Journal*. 22 (41), 35 - 52. (In Persian).
- Eyring, V., Bony, S., Meehl, G. A., Senior, C. A., Stevens, B., Stouffer, R. J., & Taylor, K. E. (2016). Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. *Geoscientific Model Development (Online)*. 9 (LLNL-JRNL-736881).
- Fang, G H., Yang, J., Chen, Y. N., Zammit, C. (2015). Comparing bias correction methods indownscaling meteorological variables for a hydrologic impact study in an arid area in China. *Hydrology and Earth System Sciences*. 19, 2547-2559.
- farajnia, A., & Moravej, K. (2020). Agro climatic Zoning of Saffron Culture in East Azarbayjan Province. *Journal of Saffron Research*, 7(2), 251-267. (In Persian).

- Gidden, M., Riahi, K., Smith, S., Fujimori, S., Luderer, G., Kriegler, E., & Calvin, K. (2019). Global emissions pathways under different socioeconomic scenarios for use in CMIP6: a dataset of harmonized emissions trajectories through the end of the century. *Geoscientific Model Development Discussions*, 12 (4), 1443-1475.
- Hatfield, J.L., and Prueger, J.H. (2015). Temperature extremes: Effect on plant growth and development. *Weather Clim. Extr.* 10, 4-10.
- heidari S, Goodarzi M, Shamsipoor A A, Bazgir S, Abdolahi Kakrudi A. (2018). Evaluating Statistical Methods for Detecting Trend of Precipitation (Case Study: Kermanshah Province). *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 12 (42) :81-90. (In Persian).
- IPCC. (1995). *ClimateChange1994*, In: Houghten JT., Meira Filno L G., Bruce J.P., Lee H., Callender, B.T., Haites E.F., Harris.
- Jahangir, M. H., & Mohammadi, A. (2018). Climatic zoning of East Azerbaijan by LARS-WG down scaling model for 2011-2065. *Geography (Regional Planning)*, 8(30), 119-130.
- Javadi, Z., Fallah-Ghalhari, G., & Entezari, A. (2014). The role of climatic parameters on yield of almond Case Study: Sabzevar. *Journal of Climate Research*, 17(17), 125-141. (In Persian).
- Jin Z., Zhuang Q., Wang J., Archontoulis S.V., Zobel Z., and Kotamarthi V.R. (2017). The combined and separate impacts of climate extremes on the current and future US rainfed maize and soybean production under elevated CO₂. *Global Change Biology*. 23(7): 2687-2704.
- Knoben, W. J., J. E. Freer and R. A. Woods. (2019). Inherent benchmark or not? Comparing Nash-Sutcliffe and Kling-Gupta efficiency scores. *Hydrology and Earth System Sciences*. 23(10), 4323-4331.
- kouzegaran, S., Mousavi Baighi, M., Khashai Seyuki, A., Babaiyan, I. (2018). Modeling of the Saffron Yield Based on Meteorological Extreme Events (Case study: Birjand). *Journal of Saffron Research*, 5(2), 217-229. (In Persian).
- López-Díaz, F., Conde, C., and Sánchez, O. (2013). Analysis of indices of extreme temperature events at Apizaco, Tlaxcala, Mexico: 1952-2003. *Atmósfera*, 26 (3): 349-358.
- Majumder, M. (2015). *Impact of urbanization on water shortage in face of climatic aberrations*. Springer.
- Mehran, A., AghaKouchak, A., & Phillips, T. J. (2014). Evaluation of CMIP5 continental precipitation simulations relative to satellite-based gauge-adjusted observations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 119 (4), 1695-1707.
- Patil, S. D. and M. Stieglitz. (2015). Comparing spatial and temporal transferability of hydrological model parameters. *Journal of Hydrology* 525, 409-417.
- Powell, J.P., and Reinhard, S. (2016). Measuring the effects of extreme weather events on yields. *Weather Clim. Extr.* 12, 69-79.
- Semenov, M. A. (2008). Simulation of extreme weather events by a stochastic weather generator. *Climate Research* 35(3), 203-212.
- Stone, P., and Nicolas, M. (1994). Wheat cultivars vary widely in their responses of grain yield and quality to short periods of post-anthesis heat stress. *Func. Plant Biol.* 21, 887-900.
- Stouffer R. J. Eyring V. Meehl G. A. Bony S. Senior C. Stevens B. and Taylor K. E. 2017. CMIP5 scientific gaps and recommendations for CMIP6. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 98(1): 95-105.
- Zarrin, A., dadashi-rodbari, A., & Salehabadi, N. (2021). Projected temperature anomalies and trends in different climate zones in Iran based on CMIP6. *Iranian Journal of Geophysics*, 15(1), 35-54. (In Persian).
- Zheng, B., Chenu, K., Fernanda Dreccer, M., and Chapman, S.C. (2012). Breeding for the future: what are the potential impacts of future frost and heat events on sowing and flowering time requirements for Australian bread wheat (*Triticum aestivum*) varieties? *Glob. Chang. Biol.* 18, 2899-2914.