

## Investigating the trend of precipitation and minimum and maximum temperatures of East Azarbaijan Province using the Coupled Model of the Sixth Report (CMIP6)

Nazli Zenozi Alamdari<sup>1</sup>, Behrooz Sobhani<sup>2\*</sup>, Mehdi Islahi<sup>3</sup> and Masihallah Mohammadi<sup>4</sup>

<sup>1</sup> PhD Student of Hydrology and Meteorology, Department of Natural Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

<sup>2</sup> Professor, Department of Natural Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

<sup>3</sup> PhD Student, Department of Natural Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

<sup>4</sup> PhD Student, Department of Natural Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Received: 18 January 2024

Accepted: 10 June 2024

### Extended Abstract

#### Introduction

Climate is a complex system that is changing primarily due to the increase in greenhouse gases. To study the effects of climate change on agricultural, hydrological, and environmental systems, general circulation models (GCMs) are used to simulate climate variables. These models, based on approved Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) scenarios, enable the modeling of climate parameters over extended periods. Globally, various centers and models simulate future climatic conditions using different emission scenarios, physical structures, and computational approaches. The simulations from CMIP6 GCMs form the foundation for many IPCC conclusions regarding future climate changes. These data are utilized directly or after downscaling to evaluate local and regional climate changes (IPCC, 2021). This study analyzes and predicts trends in precipitation and minimum and maximum temperatures in East Azerbaijan Province under climate change conditions from 2021 to 2100.

#### Materials and methods

This study aims to investigate precipitation and minimum and maximum temperatures and their trends from 2021 to 2100 across stations in Tabriz, Ahar, Jolfa, Maragheh, and Miyaneh. Data from 12 CMIP6 models (ACCESS-CM2, BCC-CSM2-MR, CESM2, CNRM-CM6-1, CanESM5, MIROC6, MRI-ESM2-0, IPSL-CM6A-LR, GISS-E2-1-G, HadGEM3-GC31-LL, NESM3, and NorESM2-MM) were used under three Shared Socioeconomic Pathways (SSP1-2.6, SSP2-4.5, and SSP5-8.5). The Kling-Gupta Efficiency (KGE) method was applied to identify the best models for simulating precipitation and temperature by comparing historical model data (1989–2018) with observed data from selected stations. Bias correction of model outputs was then used to forecast climate variables under the SSP scenarios. Finally, the mean time series of precipitation and minimum and maximum temperatures for the future period were compared with historical data to quantify changes over the 80-year horizon (2021–2100) for East Azerbaijan Province.

#### Results and discussion

The performance of 12 CMIP6 climate models was evaluated for generating past and present climate data (1989–2018). Based on uncertainty analysis, the BCC-CSM2-MR and MIROC6 models were identified as the best for simulating precipitation and temperature. These models were used, with bias correction, to predict precipitation and minimum and maximum temperatures for the future period (2021–2100) under optimistic, moderate, and pessimistic scenarios for East Azerbaijan Province. The results revealed that in all scenarios, annual temperatures are projected to increase while annual precipitation will decrease. Annual maximum temperatures across the selected stations are expected to increase by 0.57–6.41°C, while annual minimum temperatures will rise by 0.46–4.89°C. Precipitation is projected to decrease by 2.3% to 9.18%. The highest temperature increase and precipitation decrease are expected at Jolfa and Tabriz stations, respectively.

#### Conclusions

\* Corresponding author: sobhani@uma.ac.ir

This study demonstrates that CMIP6 models effectively simulate future climate parameters and align well with historical climate data for East Azerbaijan Province. The high accuracy of these simulations makes them suitable for forecasting future climatic conditions and facilitating macro-level management strategies. Such strategies can enhance resource productivity, particularly in water resource management, to address the challenges posed by climate change.

**Keywords:** BCC-CSM2-MR model, Climate change, MIROC6 model, Rainfall, SSP emission scenario

Cite this article: Zenozi Alamdari, N., Sobhani, B., Islahi, M., Mohammadi, M., 2025. Investigating the trend of precipitation and minimum and maximum temperatures of East Azarbaijan Province using the Coupled Model of the Sixth Report (CMIP6). *Watershed Engineering and Management* 16(4), 482-499.

© 2025, The Author(s). Published by Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI). This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>)



## بررسی روند بارش و دماهای کمینه و بیشینه استان آذربایجان شرقی با استفاده از مدل‌های جفت شده گزارش ششم (CMIP6)

نازلی زنوزلی علمداری<sup>۱</sup>، بهروز سبحانی<sup>۲\*</sup>، مهدی اصلاحی<sup>۳</sup> و مسیح اله محمدی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، گروه جغرافیایی طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

<sup>۲</sup> استاد تمام، گروه جغرافیایی طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

<sup>۳</sup> دانش آموخته دکتری، گروه جغرافیایی طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

<sup>۴</sup> دانش آموخته دکتری، گروه جغرافیایی طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۸

### چکیده مبسوط

#### مقدمه

تغییرات آب و هوایی با تغییر بارش و دما به چرخه هیدرولوژیک، منابع آب قابل دسترس و تقاضای آب و انرژی اثر می‌گذارد. در این راستا، پیش‌بینی تغییرات بارش و دما به وسیله مدل‌های گزارش ششم تغییر اقلیم به دلیل افزایش دقت در بروندا آنها می‌تواند کمک شایانی برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب در دوره آتی باشد. این مدل‌ها قادر به مدل‌سازی پارامترهای اقلیمی با استفاده از سناریوهای تأیید شده هیات بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC) برای یک دوره بلندمدت هستند. هم‌اکنون در سطح جهانی مراکز و مدل‌های گوناگونی برای مدل‌سازی وضعیت اقلیم دهه‌های آینده کره زمین با استفاده از سناریوهای انتشار، ساختار فیزیکی و محاسباتی گوناگونی وجود دارد. شبیه‌سازی‌های حاصل از مدل‌های گردش عمومی جو که بخشی از CMIP6 هستند، مبنایی برای بسیاری از نتیجه‌گیری‌های هیئت بین‌الدول در ارتباط با تغییرات اقلیمی آینده است. از این داده‌ها به صورت مستقیم و یا پس از ریزمقیاس‌نمایی برای ارزیابی تغییرات اقلیمی آینده در مقیاس‌های محلی و منطقه‌ای استفاده می‌شود. این پژوهش، سعی در تحلیل و پیش‌بینی روند بارش و دمای کمینه و بیشینه استان آذربایجان شرقی تحت شرایط تغییر اقلیم در دوره ۲۰۲۱ تا ۲۱۰۰ دارد.

### مواد و روش‌ها

این پژوهش برای بررسی و پیش‌بینی بارش و دمای کمینه و بیشینه و تعیین روند آنها با استفاده از مدل‌های اقلیمی گزارش ششم (CMIP6) گردش عمومی جو و شبیه‌ساز صحیح اریبی در دوره آتی (۲۰۲۱ تا ۲۱۰۰) در ایستگاه‌های تبریز، اهر، جلفا، مراغه و میانه انجام شده است. برای ارزیابی روند بارش، دما بیشینه و کمینه استان تا پایان قرن ۲۱، از داده‌های ۱۲ مدل (ACCESS-CM2، BCC-CSM2-MR، CESM2، CNRM-CM6-1، CanESM5، MIROC6، MRI، IPSL-CM6A-LR، GISS-E2-1-G، HadGEM3-GC31-LL، NESM3 و NOR-ESM2-MM) از مجموعه مدل‌های در دسترس CMIP6 با سه سناریوی (SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5) استفاده شد. برای شناسایی بهترین مدل برای شبیه‌سازی داده‌های بارش و دما دوره آتی (۲۰۲۱ تا ۲۱۰۰) از روش کلینگ-کوپتا استفاده شد و داده‌های تاریخی هر مدل را با داده‌های مشاهداتی (۲۰۱۸-۱۹۸۹) ایستگاه‌های منتخب مورد ارزیابی قرار گرفت. در ادامه، از برون داد تصحیح اریبی شده مدل‌های اقلیمی برای پیش‌نگری داده‌های تحت سناریوهای SSP در دوره آینده استفاده شد.

در مرحله آخر، میانگین سری‌های زمانی بارش و دمای کمینه و بیشینه دوره آینده در هر سناریو با ترکیب نتایج مدل‌ها در دوره پایه (تاریخی) مقایسه شدند تا میزان تغییرات دما کمینه، دمای بیشینه و بارش ۸۰ سال آینده (۲۰۲۱ تا ۲۱۰۰) استان آذربایجان شرقی تعیین شود.

### نتایج و بحث

در این پژوهش، عملکرد ۱۲ مدل اقلیمی از مجموعه مدل‌های گزارش ششم تغییر اقلیم در بازه تولید داده‌های اقلیمی در زمان گذشته (۱۹۸۹ تا ۲۰۱۸) بررسی شد. بر اساس نتایج بررسی عدم قطعیت دو مدل BCC-CSM2-MR و MIROC6 که بهترین شبیه‌سازی را برای بارش و دما داشتند، برای پیش‌بینی پارامترهای بارش و دمای کمینه و بیشینه با استفاده از تصحیح اریبی برای دوره آینده (۲۰۲۱ تا ۲۱۰۰) تحت سه سناریوی خوش‌بینانه، متوسط و بدبینانه در استان آذربایجان شرقی مورد استفاده قرار گرفت و در نهایت متوسط تغییرات دما بیشینه و کمینه و بارش در افق ۲۰۲۱ تا ۲۱۰۰ به صورت نقشه و نمودار ارائه شد. نتایج نشان داد که در تمام سناریوهای انتشار، دمای سالانه افزایش و بارندگی سالانه کاهش پیدا خواهد کرد. دمای میانگین بیشینه سالانه سه سناریوی SSP در ایستگاه‌های منتخب (تبریز، مراغه، میانه، جلفا و اهر) به ترتیب ۲/۱، ۱/۲، ۳/۴، ۵/۲ و ۱ درجه سلسیوس و دمای کمینه سالانه به ترتیب سه، ۲/۹، ۳/۳، شش و ۱/۴ درجه سلسیوس افزایش و بارش به طور میانگین در سه سناریوی (SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5) در ایستگاه منتخب به ترتیب ۳/۲، ۲/۹، ۳/۱، ۳ و ۲/۴ درصد کاهش خواهد یافت.

### نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش بیانگر این امر است که از بین ۱۲ مدل CMIP6 مورد ارزیابی در این پژوهش، دو مدل بهینه BCC-CSM2-MR و MIROC6 به خوبی توانسته‌اند، شبیه‌سازی پارامترهای بارش و دما را برای دوره‌های آینده شبیه‌سازی کنند و می‌توان با صحت بالا از این داده‌های شبیه‌سازی شده برای آینده‌نگری مناسب‌تر از شرایط آب و هوایی در دوره‌های آتی استفاده کرد و به کمک آن مدیریت کلان آینده را در زمینه‌های بهره‌وری مناسب‌تر از منابع و به خصوص منابع آبی ارتقاء بخشید.

### واژه‌های کلیدی: باران، تغییر اقلیم، سناریو انتشار SSP، مدل MIROC6، مدل BCC-CSM2-MR

### مقدمه

مقیاس مکانی و زمانی به طور یکنواخت رخ داده است. پژوهشگران در مطالعاتی که در چند دهه اخیر داشتند، اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب را مهم‌ترین و حیاتی‌ترین مسأله در بسیاری از مناطق خشک دنیا مطرح و بیان کرده‌اند که متغیرهای اقلیمی از جمله دما و بارندگی می‌تواند تأثیر بسیار مهمی بر منابع آب در دسترس آینده بگذارد. مطالعات نشان می‌دهد که بخش‌های کشاورزی و اقتصاد با کوچک‌ترین تغییر در میزان دما و بارش دچار آسیب‌های جدی می‌شوند (Jahangir et al., 2022).

پیش‌بینی منابع آب در سال‌های اخیر، امری مهم به شمار می‌رود تا هم منابع آب بهینه مصرف شود و هم

در حال حاضر از مهم‌ترین چالش‌های پیش روی جهان، مسأله تغییر اقلیم و چگونگی روبرویی با این موضوع است. اهمیت موضوع تا حدی است که سازمان ملل متحد، نهادی را با عنوان هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم<sup>۱</sup> تأسیس کرده تا تغییر اقلیم را در سطح جهانی مورد پایش قرار دهد و نقش فعالیت‌های بشر در تغییر اقلیم را مورد بررسی قرار دهد (Pedersen et al., 2022). گزارش‌های هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، بیانگر روند افزایش دمای هوا قابل ملاحظه با سرعتی بی‌سابقه در قرن گذشته در جهان است (IPCC., 2014) که در

<sup>1</sup> Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

سازمان‌دهی شده از مدل‌سازی اقلیمی جهانی است که برای شناخت مکانیسم‌های مختلف آب و هوایی طراحی شده است (Eyring et al., 2016). مدل موجود در CMIP6 به‌طور کلی وضوح بیشتری همراه با بهبود فرایندهای پویا دارند و سناریوهای انتشار مشترک اجتماعی و اقتصادی SSP/RCP برای شبیه‌سازی تغییر اقلیم آینده اعمال شده است (O'Neill et al., 2016). خروجی مدل‌های گزارش ششم تحت سناریوهای جدید خطوط سیر بخش‌های مشترک اقتصادی و اجتماعی (SSPs) هستند و غلظت‌های مختلف گازهای گلخانه‌ای (RCP) را نیز ارائه می‌دهد. سناریوهای گزارش ششم که شامل پنج زیرگروه اصلی هستند، به شاخص‌های کمی همچون جمعیت، شهرنشینی، توسعه اقتصادی منطقه‌ای و فرا منطقه‌ای و سناریوهای تعمیم یافته (اثرات، سازگاری و کاهش آسیب پذیری)، برنامه انرژی و تغییرات کاربری اراضی تأکید دارد. از جمله این سناریوهای SSP1-1.9، SSP2-2.6، SSP3-3.4، SSP4-3.4، SSP4-6.0، SSP5-3.4 و SSP5-8.5 اشاره کرد.

مطالعات متعددی برای ارزیابی دقت مدل‌های GCM در سطح جهانی و ایران با استفاده از روش‌های مختلف مقیاس گاهی انجام گرفته است. Fentaw et al. (2018) با استفاده از پروژه CORDEX-Africa تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 به بررسی تغییرات دما و بارش حوزه آبخیز Tekeze (با موقعیت جغرافیایی ۱۱ درجه ۴۰ دقیقه تا ۱۴ درجه و ۳۲ دقیقه عرض شمالی و ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۹ دقیقه و ۵۰ درجه طول شرقی با حوزه آبخیز ۴۳۰۰۰ کیلومترمربع) در اتیوپی پرداختند. آنها در این پژوهش افزایش متوسط دما ۱/۰۷ تا ۲/۲۱ درجه سلسیوس را به ترتیب برای سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 و افزایش ۴۸ درصدی بارش را برای دوره‌های (ژوئن-سپتامبر) و (ژانویه-اکتبر) و کاهش ۵۲ درصدی بارش در دوره (می-فوریه) را پیش‌بینی کردند.

Shiferaw et al., (2018) در پژوهش خود از خروجی پنج مدل گردش عمومی جو برای شبیه‌سازی شرایط آینده اقلیمی در حوزه آبخیز Ilala در شمال اتیوپی استفاده کردند. نتایج پژوهش این محققان بیانگر افزایش ۱/۷ و ۴/۷ درجه سلسیوس دمای کمینه و

باعث حفظ و پیش‌بینی وضعیت آینده منابع آب شود تا نسل‌های آینده از آن بهره‌مند شوند (Alami et al., 2015). به گزارش IPCC در ایران نیز مقدار بارش در تعدادی از ایستگاه‌ها از جمله ایستگاه‌های استان آذربایجان شرقی رو به کاهش اعلام شده است (Pooralihosein et al., 2013). توزیع مکانی اثرات ناشی از تغییرات اقلیم یکنواخت نیست و لذا، برآورد متغیرهای اقلیمی برای دوره آتی در مقیاس منطقه‌ای ضروری است.

تا کنون مدل‌های اقلیمی ابزارهای مؤثر بسیاری برای شبیه‌سازی‌های اقلیمی در دوره‌های گذشته و آینده توسعه داده شده است (Van Vuuren et al., 2011)، ولی اصلی‌ترین ابزاری که به‌وسیله IPCC به‌منظور بررسی اثرات تغییر اقلیم بر دما و بارش جهانی مورد توسعه قرار گرفته است، مدل گردش عمومی جو-اقیانوس (AOGCM) هستند.

این مدل‌ها در حقیقت دقیق‌ترین ابزار برای کمی کردن اثرات تغییر اقلیم بر روی متغیرهای هواشناسی به‌شمار می‌روند. این مدل‌ها بر اساس قوانین فیزیکی که با استفاده از روابط ریاضی در یک شبکه سه‌بعدی در اطراف کره زمین حل می‌شوند، استوار هستند (Pachauri et al., 2014).

مجموعه نتایج مربوط به ویژگی‌های و خروجی‌های این مدل‌ها، در گزارش‌های دوره‌ای موسوم به گزارش‌های ارزیابی، در طی سال‌های گذشته منتشر شده است که در هر گزارش مجموعه ارتقاهایی در خصوص مدل‌های AOGCM صورت گرفته است. هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، از سال ۲۰۱۶ تدوین گزارش ششم ارزیابی تغییر اقلیم (AOGCM) را با همکاری مراکز تحقیقاتی مختلف در سطح جهان آغاز کرده است. نتیجه این همکاری منجر به فراهم سازی زمینه تولید مدل‌های جدید برای پیش‌بینی آتی جهان و تکمیل آن تا سال ۲۰۲۲ خواهد بود (Tebaldiet al., 2021) با وجود این، در حال حاضر نیز خروجی برخی از مدل‌های گفته شده به‌تدریج از طریق پایگاه اطلاعاتی IPCC در اختیار عموم قرار گرفته است.

فاز ششم پروژه مقایسه متقابل مدل جفت‌شده (CMIP6)، الگوی تکامل و ویژگی‌های سازگار فازهای قبلی CMIP را ادامه می‌دهد و شامل سناریوهای جدید

MRI-ESM-2-0 بیشترین دقت را نسبت به دو مدل دیگر دارد. در ادامه آنها با استفاده از مدل MRI-ESM-2-0 آینده ایران را تحت سناریوهای SSP2-4.5 و SSP5-8.5 پیش‌بینی کردند. (Dehghani et al., 2021). صحت و کارایی مدل‌های منتخب CMIP5 را با استفاده از روش‌های آماری تصحیح خطا مورد ارزیابی قرار دادند که نتایج پژوهش بیانگر مدل برتر متناسب با نوع شاخص آماری و دوره زمانی مختلف متفاوت است.

(Ansari et al., 2022) بر اساس مطالعاتی که در حوزه‌های آبخیز ایران انجام داد، دریافت که بارش دوره آبی در برخی از حوزه‌های آبخیز کشور از جمله حوزه‌های شرقی افزایش یافته، در برخی دیگر مانند حوزه‌های غربی کاهش خواهد یافت. بنابراین، گرمایش هوا منجر به ایجاد الگوهای متغیر در بارندگی شده که خود باعث وقوع مخاطرات سیل یا خشکسالی از مکانی به مکان دیگر می‌شود.

با توجه به در دسترس قرار گرفتن نتایج مدل‌های گزارش ششم IPCC و تحول صورت گرفته در زمینه توسعه این مدل‌ها نسبت به گزارش قبلی IPCC (واداشت گازهای گلخانه‌ای و خط سیرهای اجتماعی-اقتصادی جهت سناریوها)، هدف از انجام این پژوهش بررسی اثرات تغییر اقلیم بر دما و بارش ایستگاه‌های هواشناسی استان‌های آذربایجان شرقی و اردبیل بر اساس ترکیبی از خروجی مدل‌های AOGCM مربوط به گزارش ششم IPCC است. نتایج این پژوهش می‌تواند میزان تأثیرگذاری تغییر اقلیم را بررسی و برای سازگاری با این شرایط راهکارهای مربوط را با توجه به حجم قابل توجه بهره‌برداری به‌وسیله مدیران اتخاذ کند.

### مواد و روش‌ها

**محدوده مورد مطالعه:** 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. (Farajnia and Moravej, 2020). از لحاظ وسعت در بین استان‌های کشور در رتبه دهم قرار دارد. در حالت

بیشینه و عدم تغییرات قابل توجه بارش در این حوضه را نشان می‌دهد. (Garcia et al., 2019) مشخصه‌های دمای هوا و سطح زمین را با شبیه‌سازی‌های تاریخی و آینده ۳۲ مدل CMIP5 در امریکای شمالی مطالعه کردند. نتایج مطالعات نشان داد، دمای سطح زمین که ارتباط تنگاتنگی با الگوهای جوی دارد، در امریکای شمالی روندی افزایشی داشته است.

(Nie et al., 2020) فرین‌های دمای ماهانه و سطح زمین را با استفاده از نسخه‌های CMIP5 و CMIP6 مدل BCC مقایسه کردند. نتایج آنها نشان داد نسخه CMIP6 نسبت به نسخه CMIP5 در تغییرپذیری متقابل هر دو فرین گرم و سرد عملکرد بهتری دارد. همچنین، در نسخه CMIP6 مدل BCC به دلیل به‌روز رسانی، طرح‌واره کسر ابر (Cloud Fraction Scheme) مقدار RMSE کمتری نسبت به CMIP5 داشته است. (Zhang et al., 2021) با استفاده از ۴۲ مدل آب و هوایی از شش فاز پروژه مدل جفت‌شده (CMIP6) طی دوره ۱۹۹۵-۲۰۱۴ کارایی مدل CMIP6 را برای شبیه‌سازی داده‌های دما و بارش در منطقه سین کیانگ چین مورد ارزیابی قرار دادند.

نتایج نشان می‌دهد که مدل‌ها می‌توانند به‌طور قابل اعتمادی توزیع‌های جغرافیایی دو متغیر را به تصویر بکشند. درجه حرارت متوسط منطقه‌ای ۰/۱ درجه سانتی‌گراد برای میانگین سالانه، -۱/۶ درجه سانتی‌گراد در بهار، ۰/۵ درجه سانتی‌گراد در تابستان، ۰/۲- درجه سانتی‌گراد در پاییز و ۱/۳ درجه سانتی‌گراد در زمستان است. شبیه‌سازی دما خطایی کمتری نسبت به بارش داشته و بارش سالانه و فصلی بیش از حد تخمین زده می‌شود. (Qin et al., 2021) در مطالعات خود در شمال غرب چین با استفاده از داده‌های دما و بارش سال‌های ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۴ و مدل جفت‌شده (CMIP6) نشان دادند که بارش و دما در قرن بیست و یکم بر مبنای SSP‌های مختلف روند افزایشی داشته که این افزایش در آینده دور نسبت به آینده نزدیک و متوسط به میزان قابل توجهی بیشتر خواهد بود ولی دقت داده‌های دما بهتر از بارش شبیه‌سازی شده است.

(Zarrin and Dadashi Roudbari., 2020) استفاده از سه مدل CMIP6 دما کشور ایران را شبیه‌سازی کردند. نتایج مطالعه نشان داد که مدل

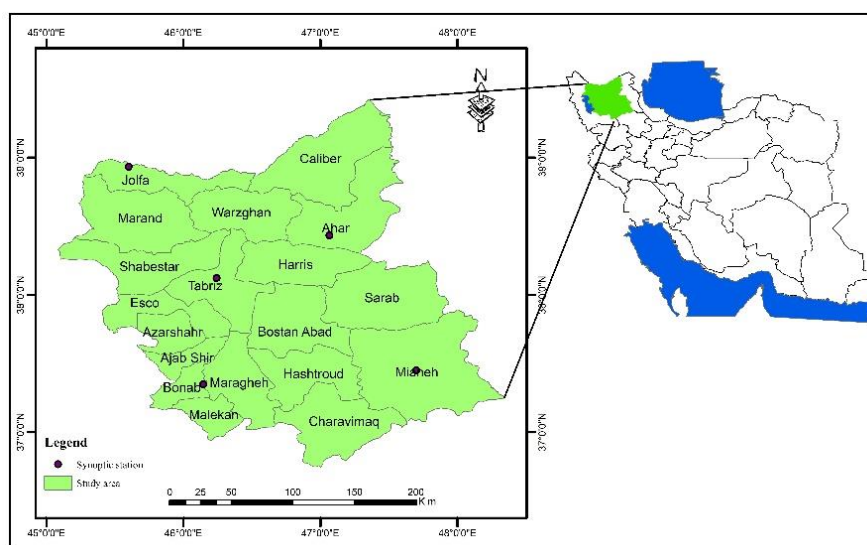
جدول ۱، میانگین بارش و دمای سالانه و طول و عرض جغرافیایی هر ایستگاه را نشان می‌دهد.

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 کمینه ۳۰ سال برای افزایش دقت تحلیل‌ها است. مشخصات این ایستگاه‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

کلی، استان آذربایجان شرقی یک منطقه کوهستانی محسوب می‌شود که حدود ۴۰ درصد از سطح آن کوهستانی ۲/۲۸ درصد را تپه ماهورها و ۳۱/۸ درصد را زمین‌های هموار (از جمله دشت‌های میان کوهی) فرا گرفته است. این استان به علت توپوگرافی 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 در این استان ۲۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر است (ahangir and Gharadaghi, 2020)



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه  
Fig. 1. Geographical location of the study area

جدول ۱- ایستگاه‌های هواشناسی مور استفاده در پژوهش

Table 1. Meteorological stations used in the research

Station	Station type	Longitude	Latitude	Average rainfall (mm)	Average temperature (°C)	Above sea level (m)
Tabriz	synoptic	46.17	38.05	284.8	12.1	1361
Maragheh	synoptic	46.16	37.24	250.3	14.45	1777.7
Mianeh	synoptic	47.42	37.27	278	14	1110
Jolfa	synoptic	45.40	38.45	217.5	15.1	736.2
Ahar	synoptic	47.04	38.26	284.1	11.6	1395.5

جلسه کارگروه تحقیقات آب و هوای جهان (WCRP) در اکتبر ۲۰۱۳ در ویکتوریا کانادا تشکیل شد (O'Neill et al., 2016).

فعالیت اصلی در فاز شش پروژه متقابل مدل جفت شده (CMIP6) پروژه متقابل سناریو (ScenarioMIP<sup>3</sup>) است، که پیش‌بینی این مدل‌های اقلیمی ترکیبی از

مدل CMIP6: پیش‌بینی تغییر اقلیم نقش اساسی در بهبود درک سامانه اقلیم و همچنین مشخص کردن خطرات اجتماعی آن در آینده دارد. فعالیت‌های CMIP6<sup>1</sup> با تمرکز بر روی سناریوها در سال ۲۰۱۳ در میان اندیشمندان آب و هوایی شکل گرفت. کمیته رهبری علمی ScenarioMIP<sup>2</sup> این پروژه را از هفدهمین

<sup>3</sup> Senario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP)

<sup>1</sup> Phase 6 of the Coupled Model Intercomparison Project (CMIP6)

<sup>2</sup> Scientific Steering Committee

استاندارد می‌کند و دوم اینکه، امکان بررسی دقیق‌تر خطوط سیر گوناگون را که به‌وسیله آنها می‌توان به نتایج اقلیمی آینده دست پیدا کرد را می‌دهد. پیش‌بینی اقلیمی پروژه CMIP6 به‌دلیل تولید به‌وسیله نسخه‌های به‌روز شده مدل‌های اقلیمی و استفاده از سناریوهای مبتنی بر SSP بر اساس داده‌های به‌روز شده در روند انتشار، متفاوت از پروژه‌های CMIP5 است.

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 غیره را در برمی‌گیرد) و مرتبط با سناریوهای غلظت گازهای گلخانه‌ای RCPs است (Eyring et al., 2016). این ساختار جدید دو عنصر مهم را در فضای طراحی شده سناریوها فراهم می‌آورد، اول، تمام فرضیات اجتماعی اقتصادی را در هر سناریو

جدول ۲- مشخصات مدل‌های CMIP6 مورد استفاده در پژوهش (Jato-Espino et al., 2019, Nourani et al., 2021)

Table 2. Specifications of CMIP6 models used in the research (Jato-Espino et al., 2019, Nourani et al., 2021)

Row	Model name	Spatial segregation of the model (degree)	Name of the research center	Developing country
1	ACCESS-CM2	1.87 × 1.25°	Australian Research Council Centre of Excellence for Climate System Science, Beijing Climate Center,	Australia
2	BCC-CSM2-MR	1.12° × 1.12°	China Meteorological Administratio	China
3	CESM2	1.25° × 0.94°	Community Earth System Model Contributors Centre National de	USA
4	CNRM-CM6-1	1.4° × 1.4°	Recherches MétéorologiquesScientifique (CNRM)	France
5	CanESM5	2.81° × 2.78°	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis- Canada	Canada
6	MIROC6	1.4° × 1.4°	National Institute for Environmental Studies, The University of Tokyo	Japan
7	MRI-EMS2-0	1.12° × 1.12°	Meteorological Research Institute	Japan
8	IPSL-CM6A-LR	2.5° × 1.26°	Institut Pierre-Simon Laplace	France
9	GISS-E2-1-G	2.5° × 2°	NASA Goddard Institute for Space Studies	USA
10	HadGEM3-GC31-LL	1.88° × 1.25°	Meteorological Office Hadley Centre	UK
11	NESM3	1° × 1.3°	Nanjing university of Information and Technology (NUIST)	China
12	NOR-ESM2-MM	0.94° × 1.25°	Norwegian Climate Center	Norway

و عوامل محیطی را بر اساس تجزیه و تحلیل‌های یکپارچه‌ای از تأثیرات اقلیمی، آسیب‌پذیری، سیاست‌های مرتبط با سازگاری و تعدیل توصیف می‌کنند (O'Neill et al., 2016).

این مجموعه سناریو امکان کاوش ساختاری تغییر اقلیم (۱۹۵۰ تا ۲۱۰۰) را در سطحی سازگار با محدود کردن افزایش میانگین درجه حرارت جهانی در سال ۲۱۰۰ میلادی تا ۱/۵ درجه سانتی‌گراد با احتمال تقریبی ۶۶ درصد فراهم می‌کند (Rogelj et al., 2018).

سناریوهای انتشار SSP: سناریوهای خط سیرهای مشترک اجتماعی-اقتصادی (SSPs) گروه جدید از سناریوها انتشار غیراقلیمی ناشی از مدل‌های جفت‌شده فاز ششم تغییر اقلیم (CMIP6) در راستای گزارش ششم ارزیابی تغییر اقلیم (AR6) هستند. این سناریوها به هدف ارائه پیش‌آگاهی‌هایی در مسیر مشترک اجتماعی-اقتصادی عرضه شده‌اند. این سناریوها تغییرات جایگزین احتمالی در جنبه‌های اجتماعی مانند عوامل جمعیتی، اقتصادی، فناوری، اجتماعی، حاکمیت



(SSP4) و توسعه کاربرد سوخت‌های فسیلی (SSP5) توصیف می‌کنند.

با توجه به پژوهش (O'Neill et al., 2017)، SSPها شرایط آبی را بر اساس پنج رویکرد بنیادین توسعه پایدار (SSP1)، توسعه مبتنی بر سیاست‌های بینابین (SSP2)، گسترش رقابت منطقه‌ای (SSP3)، نابرابری

جدول ۳- تمام سناریوهای مورد استفاده در مجموعه آزمایشی ScenarioMIP به همراه ویژگی‌های مرتبط آنها (Gidden et al., 2019)

Table 3. All the scenarios used in the ScenarioMIP test set along with their related features (Gidden et al., 2019)

Scenario name	SSP	Target forcing level(Wm-2)	Scenario type	Tier	IAM	Contributing to other MIPs
SSP1-1.9	1	1.9	Mitigation	2	IMAGE	ScenarioMIP
SSP1-2.6	1	2.6	Mitigation	1	IMAGE	ScenarioMIP
SSP2-4.5	2	4.5	Mitigation	1	MESSAGE-GLOBIOM	ScenarioMIP, VIACS AB, CORDEX, GeoMIP, DAMIP, DCPD
SSP3-7.0	3	7	Baseline	1	AIM/CGE	ScenarioMIP, AerChemMIP, LUMIP
SSP3-LowNTCF	3	6.3	Mitigation	2	AIM/CGE	ScenarioMIP, AerChemMIP, LUMIP
SSP4-3.4	3	3.4	Mitigation	2	GCAM4	ScenarioMIP
SSP4-6.0	4	6	Mitigation	2	GCAM4	ScenarioMIP, GeoMIP
SSP5-3.4-OS	4	3.4	Mitigation	2	REMIND-MAGPIE	ScenarioMIP
SSP5-8.5	5	8.5	Baseline	1	REMIND-MAGPIE	ScenarioMIP, C4MIP, GeoMIP, ISMIP6, RFMIP

$$\beta = \frac{\mu_s}{\mu_o} \quad (3)$$

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})(O_i - \bar{O})]^2}{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2 \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{n}} \quad (5)$$

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

تعیین وزن (وزن‌دهی) مدل‌های GCM در ایستگاه‌های منتخب با هدف کاهش عدم قطعیت در نتایج حاصل از مدل‌های CMIP6 این مدل‌ها بر مبنای دقت محاسبه شده در مراحل قبل بر اساس رابطه (۶) وزن‌دهی شدند (Chen et al., 2011).

$$W_m = \frac{1/1-KGM_m}{\sum_{m=1}^7 (1/1-KGM_m)} \quad (6)$$

که در رابطه بالا،  $W_m$  وزن هر کدام از مدل‌های AOGCM در هر ماه برای برآورد دما و بارش است. مقدار تغییرات دما و بارش در دوره آبی (۲۰۲۱-۲۱۰۰)

رتبه‌بندی مدل‌های GCM بر اساس دقت در

شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی: برای تعیین دقت هر یک از مدل‌های CMIP6، نتایج شبیه‌سازی بارش و دما هر حوضه در دوره تاریخی (۱۹۸۹ تا ۲۰۱۸) با آمار مشاهداتی مورد مقایسه قرار گرفت. در این مرحله، از سنجه آماری کلینگ-گویتا (KGE) برای تعیین میزان دقت هر مدل (رابطه‌های 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، 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 و بارش دوره تاریخی بهتر خواهد بود (Knoben et al., 2019).

مبنای این مدل‌ها، توانایی آنها در شبیه‌سازی مقادیر مشاهداتی دوره پایه (۲۰۱۸ - ۱۹۸۹) بوده. وزن‌دهی این مدل‌ها براساس رابطه‌های (۱ تا ۵) صورت گرفت.

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

که در آن:

$$a = \frac{\sigma_s}{\sigma_o} \quad (2)$$

مدل بر حسب تابع توزیع تجمعی گاما ( $f_Y$ ) و تابع معکوس آن ( $f_Y^{-1}$ ) مطابق رابطه (۱۲ و ۱۳) و تصحیح می‌شوند.

$$P_{control}^*(d) = F_Y^{-1}(F_Y(P_{control}(d))) \quad (12)$$

$$P_{control}^*(d) = F_Y^{-1}(F_Y(P_{scenario}(d))) \quad (13)$$

$$\left| \alpha_{control,m}, \beta_{control,m} \right| \left| \alpha_{observed,m}, \beta_{observed,m} \right|$$

در رابطه‌های بالا، منظور از  $P_{control}$  و  $P_{scenario}$  بارش ثبت شده و شبکه است. همچنین  $P^*$  نشان‌دهنده ارزیابی تصحیح شده،  $P$  بارش و  $d$  سری زمانی روزانه است.  $f_Y$  و  $f_Y^{-1}$  نیز به ترتیب توابع توزیع تجمعی گاما ( $CDF_s$ ) و معکوس آنها را نشان می‌دهد.

**پیش‌بینی دما و بارش دوره آبی در مقیاس ایستگاه‌های منتخب:** پس از ارزیابی و وزن‌دهی مدل‌ها که در مراحل پیش انجام شد، به منظور پیش‌بینی تغییرات دما و بارش استان آذربایجان شرقی در طی ۸۰ سال آینده (۲۱۰۰-۲۰۲۱)، متغیرهای دما و بارش مدل‌های مختلف CMIP6 تحت سناریوهای انتشاری (SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5) استخراج شد. سپس نتایج مدل‌ها (سری‌های زمانی بارش و دمای کمینه و بیشینه) بر اساس وزن‌های محاسبه شده برای هر ایستگاه سینوپتیک ترکیب شدند. به طوری که برای هر ایستگاه سینوپتیک و هر سناریو انتشار، یک سری زمانی بارش و یک سری دمای بیشینه و کمینه حاصل شد. در مرحله بعد، از سری زمانی میانگین گیری شده و برای هر سناریو یک مقدار متوسط تعیین شد. در مرحله آخر، میانگین سری‌های زمانی بارش و دمای کمینه و بیشینه دوره آبی در هر سناریو با ترکیب نتایج مدل‌ها در دوره پایه (تاریخی) مقایسه شدند تا میزان تغییرات دما کمینه، دمای بیشینه و بارش ۸۰ سال آینده استان آذربایجان شرقی تعیین شود.

### نتایج و بحث

**رتبه‌بندی مدل‌های CMIP6 بر اساس توانایی شبیه‌سازی در دوره تاریخی:** به منظور رتبه‌بندی مدل‌های گزارش ششم IPCC در شبیه‌سازی متغیرهای بارش و کمینه و بیشینه دما، شاخص ترکیبی کلینگ - گویتا استفاده شد. به گونه‌ای که شاخص ترکیبی کلینگ

نسبت به دوره پایه (۲۰۱۸-۱۹۸۹) برای هر ماه از رابطه‌های ۷ تا ۱۰ محاسبه شد.

$$\Delta T = \sum_{m=1}^7 (W_m \times \Delta T_m) \quad (7)$$

$$\Delta T_m = \bar{T}_m(2021-2100) - \bar{T}_m(1989-2018) \quad (8)$$

$$\Delta P = \sum_{m=1}^7 (W_m \times \Delta P_m) \quad (9)$$

$$\Delta P_m = \frac{\bar{P}_m(2021-2100)}{\bar{P}_m(1989-2018)} \quad (10)$$

که در رابطه‌های بالا،  $\Delta T_m$  و  $\Delta P_m$  متوسط ۸۰ ساله تغییرات دما و بارش پیش‌بینی شده به وسیله 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 آریبی:** روش آریبی بر مبنای رویکردهای مختلفی مانند نگاشت توزیع احتمال، نگاشت توابع توزیع تجمعی تجربی، نگاشت چندک و نگاشت توزیع چگالی کذرنال ارائه شده (McGinnis et al, 2015) که در مطالعات متعدد برای ارزیابی بارش‌هایی شبکه‌ای و ثبت شده استفاده می‌شود. این روش با تصحیح میانگین، انحراف استاندارد و چندک‌ها با یکسان‌سازی توابع توزیع خروجی‌های مدل و داده‌های مشاهداتی کار می‌کند.

در روش آریبی فرض بر این است که بارش شبیه‌سازی شده و مشاهده شده، توزیع پیشنهادی یکسانی را دنبال می‌کنند که به نوبه خود ممکن است باعث ایجاد آریبی شود. بر این اساس برای توزیع رویدادهای بارشی، غالباً توزیع گاما به شکل  $\alpha$  و مقیاس  $\beta$  استفاده می‌شود (Gunavathi and Selvasidhu, 2021, 2022, Yeboah et al, 2022).

$$f_Y(x|\alpha, \beta) = x^{\alpha-1} \times \frac{1}{\beta^\alpha \times \Gamma(\alpha)} \times e^{-\frac{x}{\beta}}; \geq 0; \alpha, \beta > 0 \quad (11)$$

در این معادله،  $f_Y$  تابع توزیع گاما،  $x$  متغیر تصادفی،  $\alpha$  نشان‌دهنده تابع گاما است و  $\beta$  به ترتیب، شکل و مقیاس پارامتری هستند که برای هر توزیع گاما با استفاده از تخمین بیشینه درست‌نمایی تعیین می‌شود.  $e$  نیز عدد ثابت اولیر (۲/۷۱۸۲۲۸) یک ثابت مهم است که در بسیاری از زمینه‌ها یافت می‌شود و پایه لگاریتم‌های طبیعی است (Teutschbein and Seibert, 2012).

قبل از اجرای روش آریبی، روش مقیاس‌گذاری شدت محلی برای تعیین روزهای مرطوب با استفاده از آستانه‌های خاص اعمال می‌شود. سپس خروجی‌های

است که بیانگر عملکرد بهتر مدل‌ها در شبیه‌سازی متغیر دما است (جدول ۲).  
 با توجه به جدول ۳، 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 پیش‌بینی بارش نشان می‌دهد که مدل MIROC6 ایستگاه‌های استان را دقیق‌تر شبیه‌سازی می‌کند.

- گوپتا در هر ایستگاه برای هر یک از ۱۲ مدل محاسبه شد و بر مبنای مقادیر آن، مدل‌ها در هر ایستگاه رتبه‌بندی شدند. به طوری که مدلی که در هر ایستگاه دارای بالاترین مقدار شاخص ترکیبی کلینگ - گوپتا بوده به‌عنوان مدل برتر در شبیه‌سازی متغیر مربوط معرفی شده است. به‌طور کلی مقادیر شاخص ترکیبی کلینگ - گوپتا در شبیه‌سازی متغیرهای بارش و کمینه و بیشینه دما بیشتر از ۰/۵ بوده، عملکرد قابل قبول مدل‌ها را نشان می‌دهد. از طرف دیگر، نتایج شاخص ترکیبی کلینگ - گوپتا بیانگر این مطلب است که شبیه‌سازی دما نسبت به بارش از دقت بالاتری برخوردار

جدول ۴- مقادیر KGE مدل‌های برتر در شبیه‌سازی بارش در استان آذربایجان شرقی

Table 4. KGE values of top models in simulating precipitation in East Azarbaijan province

Top model						Station
MIROC6	CanESM5	CNRM-CM6-1	CESM2	BCC-CSM2-MR	ACCESS-CM2	
0.83	0.89	0.91	0.86	0.96	0.94	Tabriz
0.89	0.89	0.94	0.91	0.98	0.91	Maragheh
0.89	0.94	0.92	0.89	0.95	0.88	Mianeh
0.86	0.91	0.94	0.91	0.97	0.95	Jolfa
0.84	0.92	0.93	0.88	0.95	0.89	Ahar
Top model						Station
NOR-ESM2-MM	NESM3	HadGEM3-GC31-LL	GISS-E2-1-G	IPSL-CM6A-LR	MRI-EMS2-0	
0.94	0.94	0.86	0.91	0.86	0.86	Tabriz
0.92	0.87	0.89	0.95	0.91	0.89	Maragheh
0.94	0.91	0.88	0.92	0.89	0.82	Mianeh
0.95	0.89	0.89	0.92	0.92	0.81	Jolfa
0.91	0.93	0.91	0.91	0.89	0.86	Ahar

جدول ۵- مقادیر KGE مدل‌های برتر در شبیه‌سازی دما در استان آذربایجان شرقی

Table 4. KGE values of top models in simulating temperature in East Azarbaijan province

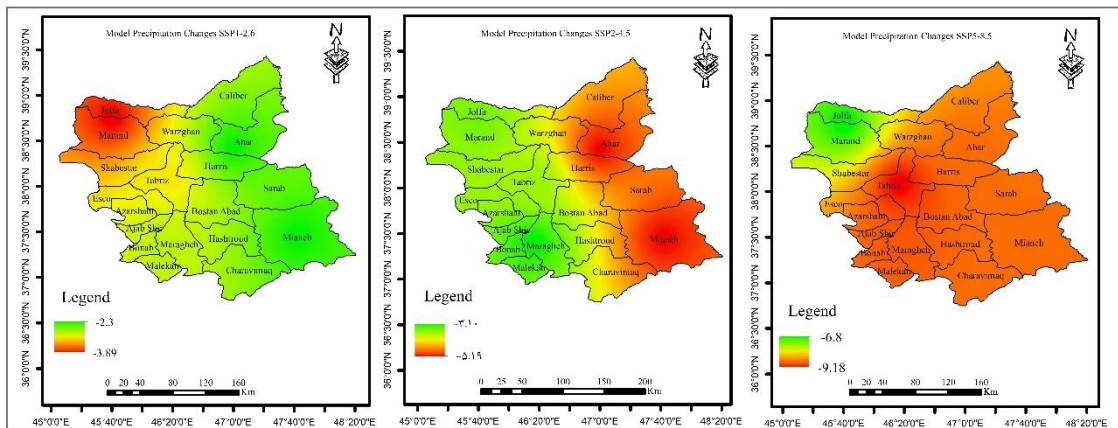
Top model						Station
MIROC6	CanESM5	CNRM-CM6-1	CESM2	BCC-CSM2-MR	ACCESS-CM2	
0.73	0.53	0.71	0.56	0.72	0.69	Tabriz
0.74	0.49	0.69	0.59	0.71	0.62	Maragheh
0.65	0.56	0.53	0.51	0.65	0.66	Mianeh
0.71	0.58	0.66	0.59	0.66	0.59	Jolfa
0.69	0.52	0.48	0.63	0.65	0.61	Ahar
Top model						Station
NOR-ESM2-MM	NESM3	HadGEM3-GC31-LL	GISS-E2-1-G	IPSL-CM6A-LR	MRI-EMS2-0	
0.59	0.64	0.71	0.62	0.49	0.68	Tabriz
0.54	0.63	0.69	0.58	0.48	0.65	Maragheh
0.48	0.56	0.53	0.63	0.56	0.59	Mianeh
0.53	0.52	0.62	0.59	0.42	0.62	Jolfa
0.59	0.62	0.53	0.58	0.51	0.58	Ahar

میانگین در سه سناریوی SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 نشان داده شده است.  
 بر اساس نتایج به‌دست آمده از سناریوی SSP1-2.6 به‌عنوان سناریوی خوش‌بینانه، بارش استان در نقاط مختلف از ۲/۳- درصد (شرق استان) تا ۳/۸۹- درصد در شهرستان جلفا و مرند تغییر خواهد کرد. در سناریوی

تغییرات بارش طی دوره آتی (۲۰۲۱ تا ۲۱۰۰) در استان آذربایجان شرقی: بررسی تغییرات بارش در ۸۰ سال آتی به‌وسیله مقایسه مقدار متوسط بارش در هر سناریوی SSP با متوسط دوره پایه صورت گرفته است. در شکل ۲، دامنه تغییرات بارش ۸۰ ساله آینده استان آذربایجان شرقی نسبت به دوره گذشته به‌صورت

سال آتی بر اساس سناریوی SSP5-8.5، بیشتر مناطق استان شاهد کاهش بارش بیش از هفت درصد خواهند بود. تغییرات بارش سالانه ایستگاه‌های منتخب استان آذربایجان شرقی در شکل ۳ نشان داده شده است. بر اساس این نمودار ایستگاه تبریز بیشترین کاهش و ایستگاه جلفا کمترین کاهش بارش را شاهد خواهد بود. همچنین، بر اساس جدول بارش ماهانه (جدول ۶) ایستگاه‌ها، استان آذربایجان شرقی در افق ۲۱۰۰، در ماه‌های تابستان و پاییز، بارش استان افزایشی و در ماه‌های پربارش بهار و زمستان کاهش خواهد بود.

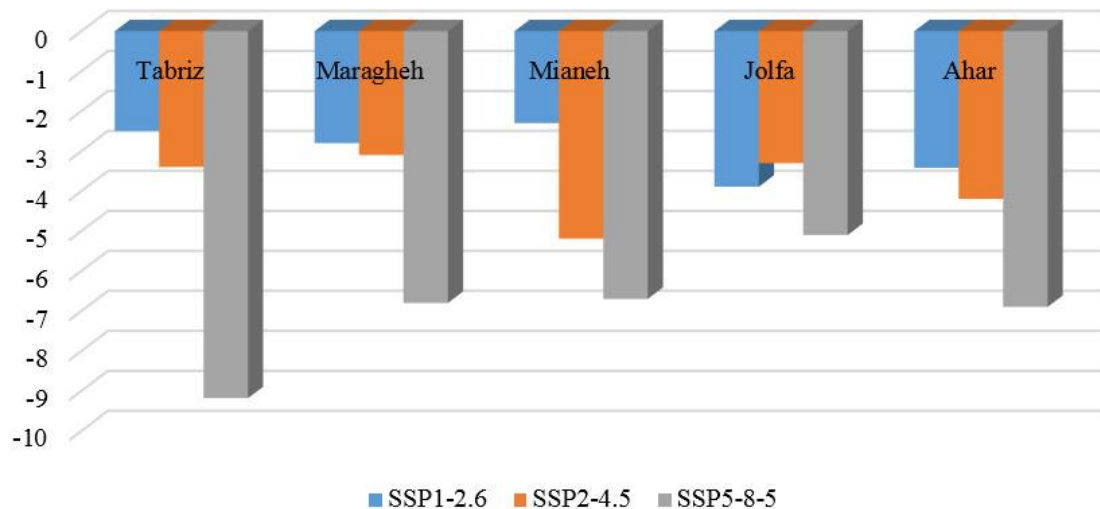
متوسط (SSP2-4.5)، مقادیر بارش در دامنه‌ای بین ۳/۱- درصد در غرب استان تا ۵/۱۹- درصد در شهرستان‌های میانه و اهر و هریس متغیر خواهد بود که نواحی کاهشی بارش در این سناریو کاملاً برخلاف سناریوی خوش‌بینانه است. در سناریوی SSP5-8.5 به‌عنوان سناریوی بدبینانه تغییرات حدود ۶/۸- درصد در شهرستان جلفا و مرند تا ۹/۱۸- درصد در شهرستان تبریز از خود نشان می‌دهد. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که شدت کاهش بارش در دو سناریوی SSP2-4.5 و SSP5-8.5 نسبت به سناریوی SSP1-2.6 هم از نظر مکانی و هم از نظر مقدار بیشتر است. در طی ۸۰



شکل ۲- تغییرات بارش 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

Fig. 2. Precipitation changes in the next 80 years (2021 to 2100) compared to the base period (1989 to 2018) under three scenarios SSP1-2.6, SSP2-4.5 and SSP5-8.5

### Rainfall changes in the next 80 years



شکل ۳- تغییرات سالانه بارش ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب استان آذربایجان شرقی تحت سناریوهای SSP  
Fig. 3. Annual rainfall changes of selected synoptic stations of East Azarbaijan province under SSP scenarios

جدول ۶- تغییرات ماهانه بارش ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب استان آذربایجان شرقی تحت سناریوهای SSP

Table 4. Monthly precipitation changes of selected synoptic stations of East Azarbaijan province under SSP scenarios

Station	Scenario	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Tabriz	observations	20.3	23.5	35.6	48.5	48.9	24.4	6.8	3.6	6.4	15.5	28.8	22.9
	SSP1-2.6	9.0	29.2	38.0	57.1	42.2	23.1	7.3	5.1	6.4	15.5	23.7	23.2
	SSP2-4.5	19.7	20.8	35.4	55.1	40.5	22.2	5.6	5.1	6.5	16.2	23.3	18.3
	SSP5-8.5	13.4	25.7	32.8	52.6	31.5	20.1	5.6	5.4	8.3	15.1	23.7	17.8
Maragheh	observations	26.9	28.6	38.9	52.9	50.9	9.4	3.2	1.8	3.9	11.1	44.6	33.0
	SSP1-2.6	15.9	34.3	41.3	61.5	44.2	8.1	3.7	3.3	3.9	11.1	39.5	33.3
	SSP2-4.5	26.6	25.9	38.7	59.5	42.5	7.2	2.0	3.3	4.0	11.8	39.1	28.4
	SSP5-8.5	20.3	30.8	36.1	57.0	33.5	5.1	2.0	3.6	5.8	10.7	39.5	27.9
Mianeh	observations	27.9	28.6	31.1	39.6	46.1	14.5	7.9	3.1	4.6	14.3	34.6	27.4
	SSP1-2.6	20.0	33.6	36.4	50.9	35.5	11.7	8.5	5.8	4.6	13.3	31.1	27.1
	SSP2-4.5	27.8	26.4	31.0	44.2	32.3	10.5	5.5	5.3	4.7	13.9	32.2	24.5
	SSP5-8.5	24.4	31.2	30.5	44.5	23.0	7.4	5.6	5.2	6.1	12.2	30.2	25.0
Jofa	observations	10.8	8.7	15.6	30.7	42.0	26.9	7.2	3.2	5.5	14.1	21.1	13.4
	SSP1-2.6	3.5	13.2	21.5	38.7	26.8	20.2	4.9	7.9	4.9	11.3	20.0	15.0
	SSP2-4.5	12.6	8.5	20.2	37.5	26.1	18.7	2.2	7.2	3.3	11.3	18.6	13.7
	SSP5-8.5	8.9	12.6	19.8	40.6	16.6	16.0	1.5	7.9	6.1	8.9	17.9	13.0
Ahar	observations	18.4	18.8	26.6	37.1	57.4	30.4	11.4	6.6	8.3	20.6	32.1	19.8
	SSP1-2.6	10.5	23.8	31.9	48.4	46.8	27.6	12.0	9.3	8.3	19.6	28.5	19.5
	SSP2-4.5	18.3	16.6	26.5	41.7	43.6	26.4	9.0	8.8	8.4	20.2	29.7	17.0
	SSP5-8.5	14.9	21.4	26.0	42.0	34.3	23.3	9.1	8.7	9.8	18.5	27.6	17.4

میانگین بیشینه ماه‌های مختلف نسبت به دوره پایه افزایش پیدا خواهد کرد ولی مقدار این افزایش در ماه‌های و تحت سناریوهای مختلف متفاوت است. تحت تمامی سناریوها بیشترین افزایش دمای بیشینه برای ماه‌های Sep، Aug، Jul و Jun است و کمترین آن برای ماه‌های Jan و Feb است.

#### تغییرات کمینه دما طی دوره آتی (۲۰۲۱ تا ۲۱۰۰)

در استان آذربایجان شرقی: بر اساس نتایج به‌دست آمده از میانگین داده‌های کمینه دمای ماهانه (جدول ۸)، بیشترین مقدار افزایش دمای کمینه در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه در ماه‌های Sep و Aug رخ خواهد داد. این در حالی است که کمترین میزان افزایش دما در ماه‌های Nov و Oct رخ می‌دهد.

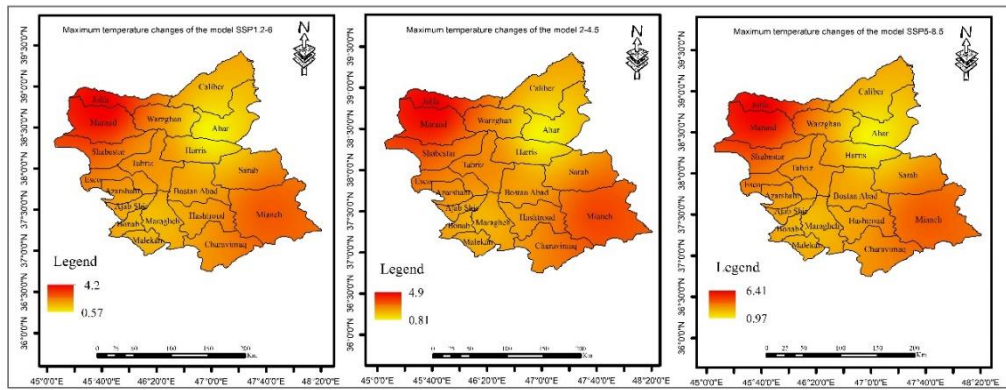
مقادیر سالانه تغییرات کمینه دمای ایستگاه‌های سینوپتیک استان آذربایجان شرقی در شکل ۶ ارائه شده است. نتایج نشان‌دهنده این مطلب است که در شهرستان جلفا در سناریوهای انتشار سه سناریوهای انتشار SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 به ترتیب به میزان ۳/۷۱، ۳/۲۹ و ۴/۸۹ درجه سلسیوس و کمترین افزایش کمینه دما در شهرستان اهر به ترتیب به میزان ۰/۴۶، ۱/۴۴ و ۱/۲۷ 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.

#### تغییرات بیشینه دما طی دوره آتی (۲۰۲۱ تا ۲۱۰۰)

در استان آذربایجان شرقی: تغییرات سالانه بیشینه 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 ۰/۵۷ تا ۴/۲ درجه سلسیوس وجود خواهد داشت.

در سناریوی SSP2-4.5 این افزایش دما در نقاط مختلف استان بین ۰/۸۱ تا ۴/۹۱ درجه سلسیوس خواهد بود و بر اساس سناریوی بدبینانه SSP5-8.5 افزایش دمای بیشینه در سطح استان چیزی بین ۰/۹۷ در شهرستان اهر تا ۶/۴۱ درجه سلسیوس در شهرستان جلفا و مرند تجربه خواهد شد. مقادیر سالانه تغییرات دمای بیشینه ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب استان آذربایجان شرقی در شکل ۵ ارائه شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده، دمای سالانه بیشینه در سناریوهای انتشار SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 در ایستگاه تبریز به ترتیب ۲/۶۷، ۲/۱۸ و ۳/۰۸، ایستگاه مراغه به میزان ۱/۵، ۲/۲۴ و دو، ایستگاه میانه ۲/۳۰، ۳/۵۲ و ۴/۴۲، ایستگاه جلفا ۴/۳۰، ۴/۹۰ و ۶/۴۱ و در ایستگاه اهر ۰/۵۷، ۰/۸۱ و ۰/۹۸ درجه سلسیوس افزایش پیدا خواهد کرد.

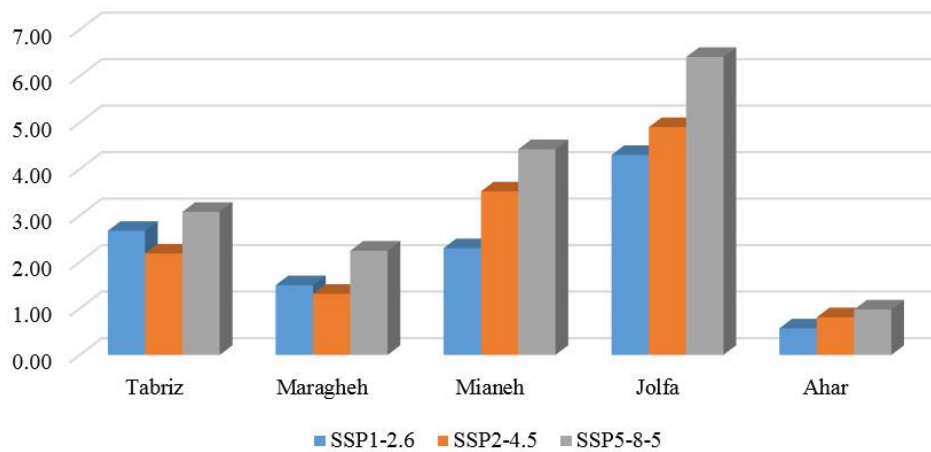
در حالت کلی ایستگاه جلفا بیشترین و ایستگاه اهر کمترین افزایش دما را از خود نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۷ تحت تمامی سناریوها در اقلیم آینده مقدار



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

Fig. 4. Maximum temperature changes in the next 80 years (2021 to 2100) compared to the base period (1989 to 2018) under three scenarios SSP1-2.6, SSP2-4.5 and SSP5-8.5

Maximum temperature changes in the next 80 years

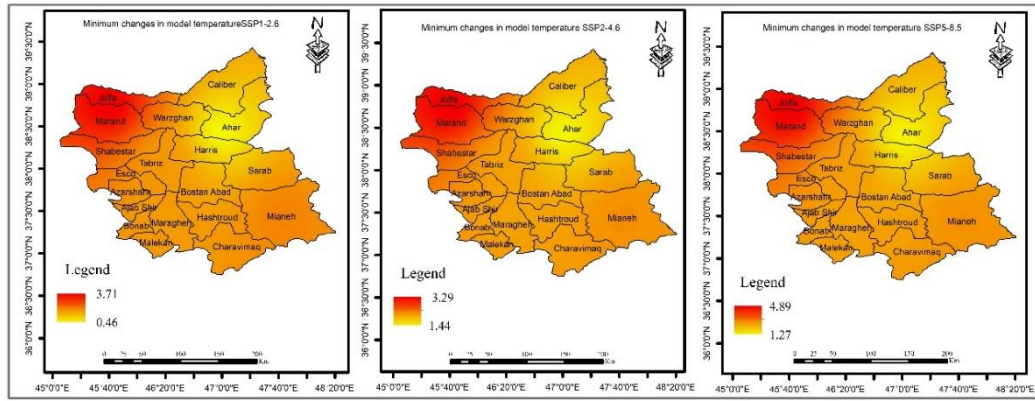


شکل ۵- تغییرات سالانه بیشینه دما ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب استان آذربایجان شرقی تحت سناریوهای SSP  
Fig. 5. Annual maximum temperature changes of selected synoptic stations of East Azarbaijan province under SSP scenarios

جدول ۷- تغییرات ماهانه بیشینه دما ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب استان آذربایجان شرقی تحت سناریوهای SSP

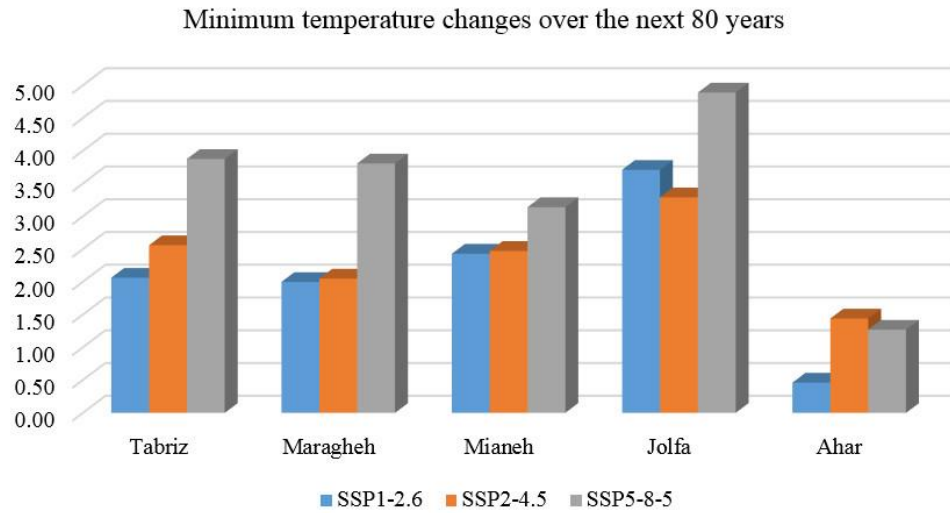
Table 6. Monthly maximum temperature changes of selected synoptic stations of East Azarbaijan province under SSP scenarios

Station	Scenario	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Tabriz	observations	2.9	3.5	8.5	15.0	20.6	27.3	32.0	33.2	29.6	23.1	14.4	7.1
	SSP1-2.6	0.4	1.2	5.7	14.0	21.5	29.7	34.4	33.7	27.7	17.7	8.1	1.5
	SSP2-4.5	0.4	2.2	7.1	14.4	21.7	30.8	35.3	34.6	28.9	19.1	8.8	2.2
	SSP5-8.5	1.2	3.0	7.8	15.8	23.6	31.6	37.0	36.8	30.2	20.2	9.6	3.2
Maragheh	observations	4.2	4.4	9.0	15.5	20.8	27.7	32.2	33.4	29.9	23.3	14.6	7.8
	SSP1-2.6	0.8	2.8	7.5	15.7	23.3	31.8	36.5	35.9	29.9	19.9	9.9	2.8
	SSP2-4.5	1.5	3.7	8.9	16.2	23.6	32.9	37.5	36.9	31.0	21.4	10.6	3.6
	SSP5-8.5	2.5	4.6	9.7	17.7	25.5	33.7	39.0	38.8	32.5	22.5	11.5	4.6
Mianeh	observations	-0.6	0.1	5.9	12.0	17.2	23.5	27.3	28.2	24.9	18.2	10.3	3.7
	SSP1-2.6	0.1	2.0	6.6	15.0	22.5	30.7	35.1	34.4	28.6	18.8	9.0	2.2
	SSP2-4.5	1.0	3.0	8.0	15.4	22.6	31.8	36.0	35.3	29.7	20.3	9.8	3.0
	SSP5-8.5	1.8	3.8	8.8	16.8	24.5	32.5	37.6	37.3	31.2	21.4	10.6	4.0
Jolfa	observations	8.3	4.0	5.3	19.1	24.4	30.8	34.3	35.4	32.1	25.4	16.5	11.5
	SSP1-2.6	9.3	2.6	6.6	14.7	22.3	30.1	35.3	34.7	28.5	18.6	9.5	3.2
	SSP2-4.5	12.0	3.6	7.9	15.2	22.4	31.3	36.3	35.5	29.7	20.0	10.2	4.0
	SSP5-8.5	11.6	4.2	8.6	16.6	24.2	32.2	37.9	37.8	31.0	21.2	10.9	4.9
Ahar	observations	4.1	3.8	8.1	14.3	19.1	25.0	27.4	28.7	25.8	21.1	13.6	7.3
	SSP1-2.6	4.6	4.2	8.7	17.0	21.5	29.7	34.4	33.7	27.7	21.3	13.1	7.3
	SSP2-4.5	4.4	5.2	10.1	17.4	21.7	30.8	35.3	34.6	28.9	21.9	13.8	7.8
	SSP5-8.5	5.2	6.0	10.8	18.8	23.6	31.6	37.0	36.8	30.2	22.4	14.6	8.2



شکل ۴- 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

Fig. 6. Minimum temperature changes in the next 80 years (2021 to 2100) compared to the base period (1989 to 2018) under three scenarios SSP1-2.6, SSP2-4.5 and SSP5-8.5



شکل ۷- تغییرات سالانه کمینه دما ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب استان آذربایجان شرقی تحت سناریوهای SSP

Fig. 7. Minimum annual temperature changes of selected synoptic stations of East Azarbaijan province under SSP scenarios

جدول ۸- تغییرات ماهانه کمینه دما ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب استان آذربایجان شرقی تحت سناریوهای SSP

Table 9. Minimum monthly temperature changes of selected synoptic stations of East Azarbaijan province under SSP scenarios

Station	Scenario	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Tabriz	observations	-5.9	-6.1	-1.9	3.2	8.1	13.0	17.5	18.8	15.1	9.1	3.0	-2.5
	SSP1-2.6	-4.2	-3.5	-0.8	4.0	9.0	13.7	16.3	17.8	14.2	8.8	2.1	-2.4
	SSP2-4.5	-5.0	-2.4	0.4	4.4	9.3	13.8	17.4	18.5	15.0	9.4	2.6	-3.4
	SSP5-8.5	-3.9	-1.3	0.8	5.3	10.4	14.3	18.6	20.4	16.2	10.2	3.2	-2.6
Maragheh	observations	-3.3	-3.3	-0.1	4.8	9.4	14.5	19.0	20.2	16.4	10.9	5.1	0.0
	SSP1-2.6	-3.5	-2.2	-0.2	4.9	9.2	13.8	16.6	15.6	10.9	6.7	1.4	-1.5
	SSP2-4.5	-2.6	-1.5	0.8	5.3	9.6	14.9	17.7	16.4	11.7	7.4	1.9	-0.7
	SSP5-8.5	-1.5	-0.4	1.2	6.3	10.8	15.7	19.0	18.4	13.2	8.5	2.4	0.0
Mianeh	observations	-1.1	0.7	4.2	9.7	15.4	19.3	18.7	14.5	9.6	5.5	2.9	-1.8
	SSP1-2.6	0.1	1.4	5.3	10.0	15.8	20.2	19.7	15.2	10.4	6.0	3.5	-1.0
	SSP2-4.5	0.9	2.6	5.7	11.0	16.9	20.9	20.9	17.1	11.6	6.9	3.9	-0.2
	SSP5-8.5	1.1	0.6	3.7	9.0	14.9	18.9	18.9	15.1	9.6	4.9	1.9	-2.2
Jolfa	observations	-4.1	-4.0	0.3	6.4	11.6	17.1	22.1	23.2	18.7	11.7	5.1	-0.3
	SSP1-2.6	-4.5	-2.7	0.1	7.1	12.3	18.6	22.9	24.0	19.6	13.2	6.3	-0.4
	SSP2-4.5	-1.5	-2.6	8.7	12.8	17.3	20.8	21.0	16.1	12.6	12.7	6.8	0.9
	SSP5-8.5	-1.4	-2.4	5.7	11.1	16.1	20.7	23.7	22.2	17.5	12.6	7.9	2.3
Ahar	observations	-4.1	-4.7	-1.4	2.9	7.1	11.1	14.7	15.8	12.8	8.3	3.5	-1.4
	SSP1-2.6	-4.0	-0.9	2.7	4.2	8.2	12.8	15.5	15.3	12.3	8.3	4.6	-1.3
	SSP2-4.5	-3.2	-2.0	1.8	6.6	11.5	14.3	15.0	15.6	12.9	8.2	3.3	-0.6
	SSP5-8.5	-2.1	-0.8	2.2	7.5	9.2	15.2	16.5	16.8	14.0	9.0	3.9	0.2

۰/۵۷ تا ۶/۴۱) درجه سلسیوس در ایستگاه‌های مختلف استان آذربایجان شرقی طی ۸۰ سال آینده خواهد بود. نکته‌ای که باید به آن توجه کرد در اثر پدیده تغییر اقلیم بارش دوره‌های آبی در سطح استان کاهش خواهد یافت. این در صورتی است که این نوع از مدل‌های تغییر اقلیم دارای عدم قطعیت بوده، می‌بایست در زمان تصمیم‌گیری مدیران و کارشناسان مربوطه عدم قطعیت مدل‌های اقلیمی لحاظ شود.

با توجه به موقعیت استراتژیکی استان آذربایجان شرقی هم از لحاظ مجاورت با کشورهای همسایه و هم از لحاظ فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی، کمبود منابع آبی ناشی از کاهش بارش و افزایش دما و در نتیجه افزایش تبخیر و تعرق می‌تواند منجر به بروز مشکلات عدیده‌ای در سطح استان و منطقه شود. مقایسه پژوهش‌های مختلفی که بر اساس مدل‌های گزارش پنجم انجام شده است نشان داد که در برخی از تحقیقات انجام شده (Ahangir and Gharadaghi, 2020) مقدار بارش در ایستگاه‌های تبریز و میانه افزایش در ایستگاه سراب کاهش پیدا خواهد کرد و مقدار دمای بیشینه کاهش پیدا خواهد کرد که با نتایج این پژوهش مطابقت ندارد.

در صورتی که مطالعات (Pooralihosein and Massah Bavani, 2013) از کاهش ۷۵ تا ۱۵۰ میلی‌متری بارش و افزایش ۲/۹ تا ۳/۱۵ درجه سلسیوسی دما و پژوهش (Jahangir and Mohammadi, 2018) از کاهش بارش و افزایش دما (۱/۵ تا ۳) درجه سلسیوسی تا سال ۲۰۶۵ حکایت دارد که با پژوهش حاضر مطابقت دارد.

### تشکر و قدردانی

نویسندگان این پژوهش، از دانشگاه محقق اردبیلی برای حمایت‌های مالی و معنوی تشکر و قدردانی می‌کند.

### تعارض منافع

در این مقاله تضاد منافع وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

افزایش دما و کاهش بارش پیش‌بینی شده در نواحی مختلف جهان (از جمله کشور ایران)، قبلاً نیز در مطالعات مختلف مورد اشاره قرار گرفته است (Zarrin et al., 2021, et al., 2023, Rezayi zaman, Iranshahi et al., 2023). در این پژوهش نیز سناریوهای انتشار دارای بیشترین افزایش گازهای گلخانه‌ای بیشترین مقدار افزایش دما و کاهش بارش را پیش‌بینی کردند.

### نتیجه‌گیری

به‌طور کلی می‌توان گفت که توانایی مدل‌های GCM در پیش‌بینی اقلیم آینده به آب و هوای هر منطقه و متغیرهای آب و هوایی پیش‌بینی شده متفاوت خواهد بود. با توجه به حجم بالای داده‌های مدل‌های GCM و افزایش دقت این مدل‌ها در گزارش ششم IPCC، تعیین مدل‌های مناسب CMIP6 در پیش‌بینی دما و بارش در ایستگاه‌های سینوپتیک مختلف و انتخاب مدل‌های برتر به‌منظور بررسی اثرات تغییر آب و هوا بر بارش و دمای بیشینه و کمینه ضرورت دارد.

از این رو، در پژوهش حاضر برای تعیین میزان دقت هر مدل CMIP6 که اخیراً به‌وسیله IPCC منتشر شده است از سنجه آماری کلینگ - گوپتا (KGE) استفاده شد. با توجه به نتایج به‌دست آمده مدل BCC-CSM2-MR بیشترین دقت را از بین ۱۲ مدل CMIP6 انتخاب شده برای شبیه‌سازی دمای بیشینه و کمینه و مدل MIROC6 دقیق‌تر شبیه‌سازی را برای بارش در ایستگاه‌های منتخب استان آذربایجان شرقی دارد. همچنین مقادیر بالاتر سنجه آماری کلینگ - گوپتا در پیش‌بینی دما (۰/۹۵ تا ۰/۹۸) نسبت به مقادیر پیش‌بینی بارش (۰/۶۵ تا ۰/۷۵) بیانگر توانایی بالای مدل‌های CMIP6 در پیش‌بینی دما دارد.

نتایج پیش‌بینی متغیر بارش به‌وسیله مدل‌های اقلیمی تحت سه سناریوهای انتشار SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 در افق ۲۰۲۱ تا ۲۱۰۰ برای استان آذربایجان شرقی نشان داد که دامنه تغییرات بارش حدود ۲/۳- تا ۶/۸- درصد کاهش خواهد یافت و افزایش دما کمینه به‌طور میانگین در دامنه (۰/۴۶ تا ۴/۸۹) درجه سلسیوس و دامنه تغییرات بیشینه دما حدود



## منابع مورد استفاده

- Ahangir, M.H., Gharadaghi, L., 2022. Assessing the Performance of SDSM models in downscaling annual precipitation and temperature values simulated via CANESM2 model: a case study of East Azerbaijan Province. *Desert Ecosys. Engin.* 10, 45-60 (in Persian).
- Alami, M.T., Aghabalae, B., Ahmadi, M.H., Farzin, S., 2015. Optimum allocation of water resources by using system dynamics. *J. Water Engin.* 23, 99-110.
- 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. *Iran. Water Res. J.* 16, 11-24. (in Persian).
- Chen, W., Jiang, Z., Li, L., 2011. Probabilistic projections of climate change over China under the SRES A1B scenario using 28 AOGCMs. *J. Climate.* 24, 4741-4756.
- Dehghani, M., Kaviani, A., Habibnejad, M., Ghorbani, M., Jafarian, Z., 2021. An assessment of uncertainty of regional climate change models, error correction methods and forecasting climate change in Birjand Township. *JWMR.* 12, 42-53 (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. *Geosci. Model Develop.* (Online), 9 (LLNL-JRNL-736881).
- Eyring, V., Bony, S., Meehl, G.A., 2016. Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. *Geosci. Model Develop.* 9(19), 37-58.
- farajnia, A., Moravej, K., 2020. Agro climatic zoning of Saffron culture in East Azarbayjan Province. *J. Saffron Res.* 7, 251-267 (in Persian).
- Fentaw, F., Hailu, D., Nigussie, A., Melesse, A., 2018. Climate change impact on the hydrology of Tekeze Basin, Ethiopia: Projection of Rainfall-Runoff for Future Water Resources Planning, *Water Conserv. Sci. Engin.* 3(4), 267-278.
- Garcia, A., Cuesta-Valero, F.J., Beltrami, H., Smerdon, J.E., 2019. Characterization air and ground temperature relationships within the CMIP5 historical and future climate simulations. *J. Geophys. Res.: Atmosph.* 124, 3903-3929.
- 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. *Geosci. Model Develop. Discus.* 12, 1443-1475.
- Gunavathi, S., Selvasidhu, R., 2021. Assessment of various bias correction methods on precipitation of regional climate model and future projection. *Research Square.*
- Iranshahi, M., Ebrahimi, B., Yousefi, H., Moridi, A., 2023. Investigating the effects of climate change on temperature and precipitation using neural network and CMIP6, case study: Aleshtar and Khorramabad Stations. *Water Irriga. Manage.* 12, 821-845 (in Persian).
- Jahangir, M.H., Gharadaghi, L., 2022. Assessing the performance of SDSM Models in downscaling annual precipitation and temperature values simulated Via CANESM2 Model: a case study of East Azerbaijan Province. *Desert Ecosys. Engin.* 10, 45-60 (in Persian).
- Jahangir, M.H., Mohammadi, A., 2018. Climatic zoning of East Azerbaijan by LARS-WG down scaling model for 2011-2065. *Geograph. (Regional Planning)* 8, 119-130 (in Persian).
- Jato-Espino, D., Sillanpää, N., Charlesworth, S.M., Rodriguez-Hernandez, J., 2019. A simulation-optimization methodology to model urban catchments under non-stationary extreme rainfall events. *Environ. Model. Software.* 122, 103960.
- Knoben, W.J., Freer, J.E., Woods, R.A., 2019. Inherent benchmark or not? Comparing Nash-Sutcliffe and Kling-Gupta efficiency scores. *Hydrol. Earth Sys. Sci.* 23, 4323-4331.
- McGinnis, S., Nychka, D., Mearns, L.O., 2015. A new distribution mapping technique for climate model bias correction. In *Machine learning and data mining approaches to climate science.* Springer, Cham. 91-99.
- Nie, S., Fu, S., Cao, W., Jia, X., 2020. Comparison of monthly air and land surface temperature extremes simulated using CMIP5 and CMIP6 versions of the Beijing Climate Center climate model. *Theoret. Applied Climatol.* 1-16.
- Nourani, V., Rouzegari, N., Molajou, A., Baghanam, A.H., 2020. An integrated simulation optimization framework to optimize the reservoir operation adapted to climate change scenarios. *J. Hydrol.* 587, 125018.
- O'Neill, B.C., Kriegler, E., Ebi, K.L., Kemp-Benedict, E., Riahi, K., Rothman, D.S., Solecki, W., 2017. The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. *Global Environ. Change.* 42, 169-180.
- O'Neill, B.C., Tebaldi, C., Vuuren, D.P.V., Eyring, V., Friedlingstein, P., Hurtt, G., Meehl, G.A., 2016. The scenario model intercomparison project (ScenarioMIP) for CMIP6. *Geosci. Model Develop.* 9, 3461-3482.

- Pachauri, R.K., Allen, M.R., Barros, V.R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., Church, J.A., Clarke, L., Dahe, Q., Dasgupta, P., Dubash, N.K., 2014. Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to The Fifth Assessment Report of The Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC.
- Patil, S.D., Stieglitz, M., 2015. Comparing spatial and temporal transferability of hydrological model parameters. *J. Hydrol.* 525, 409-417.
- Pedersen, J.T.S., Vuuren, D., Gupta, J., Santos, F.D., Jae Edmonds, J., Swart, R., 2022. IPCC emission scenarios: How did critiques affect their quality and relevance 1990–2022?. *Global Environ. Change* 75, 102538, ISSN 0959-3780.
- Pooralihosein, S.S., Massah Bavani, A., 2013. Risk analysis and assessment of impacts of climate change on temperature and precipitation of East Azerbaijan in 2013-2022. *J. Earth Space Physics.* 39, 191-208 (in Persian).
- Pooralihosein, S.H., Massah Bavani, A.R., 2013. Risk analysis and assessment of impacts of climate change on temperature and precipitation of East Azerbaijan in 2013-2022. *J. Earth Space Physics.* 39, 191-208 (in Persian).
- Qin, J., Su, B., Tao, H., Wang, Y., Huang, J., Jiang, T., 2021. Projection of temperature and precipitation under SSPs-RCPs Scenarios over northwest China. *Frontiers Earth Sci.* 15, 23-37.
- Rezayi Zaman, M., Massah Bavani, A.R., Javadi, S., 2023. Evaluation of the effects of SSP scenarios of Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) on water resources and agricultural crop in Hashtgerd region with the approach of applying an adaptation strategy. *J. Environ. Sci. Technol.* 24, 93-107 (in Persian).
- Rogelj, J., Popp, A., Calvin, K.V., Luderer, G., Emmerling, J., Gernaat, D., Tavoni, M., 2018. Scenarios towards limiting global mean temperature increase below 1.5 C. *Nat. Climate Change* 8, 325-332.
- Semenov, M.A., 2008. Simulation of extreme weather events by a stochastic weather generator. *Climate Res.* 35, 203-212.
- Shiferaw, H., Gebremedhin, A., Gebretsadkan, T., Zenebe, A., 2018. Modelling hydrological response under climate change scenarios using SWAT model: the case of Ilala watershed, Northern Ethiopia. *Model. Earth Syst. Environ.* 4, 437-449.
- Tebaldi, C., Debeire, K., Eyring, V., Fischer, E., Fyfe, J., Friedlingstein, P., Knutti, R., Lowe, J., O'Neill, B., Sanderson, B., van Vuuren, D., 2021. Climate model projections from the scenario model intercomparison project (ScenarioMIP) of CMIP6. *Earth Sys. Dynamics.* 12, 253-293.
- Teutschbein, C., Seibert, J., 2012. Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: Review and evaluation of different methods. *J. Hydrol.* 456, 12-29.
- Van Vuuren, D.P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G.C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J.F., Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S.J., Rose, S.K., 2011. The representative concentration pathways: An overview. *Climatic Change.* 109, 5-31
- Yeboah, K.A., Akpoti, K., Kobo-bah, A.T., Ofosu, E.A., Siabi, E.K., Mortey, E.M., Okyereh, S.A., 2022. Assessing climate change projections in the Volta Basin using the CORDEX-Africa climate simulations and statistical bias correction. *Environ. Challenges.* 6, 1-18.
- Zarrin, A., Dadashi Roudbari, A.A., 2020. Projection the long-term outlook iran future temperature based on the output of The Coupled Model Intercomparison Project Phase (CMIP6). *J. Earth Space Physics.* 46, 583-602 (in Persian).
- Zarrin, A., dadashi-rodbari, A., Salehabadi, N., 2021. Projected temperature anomalies and trends in different climate zones in Iran based on CMIP6. *Iran. J. Geophys.* 15, 35-54 (in Persian).
- Zhang, X., Hua, L., Jiang, D., 2021. Assessment of CMIP6 model performance for temperature and precipitation in Xinjiang, China. *Atmosph. Oceanic Sci. Letters.* 15, 100128.