

## Research Paper

# Projection of Future Climatic Variables based on CMIP5 and CMIP6 Models in the Gedarchay Catchment (West Azarbaijan)

Sanaz Azimi-Habashi<sup>1</sup>, Mirhassan Miryaghoubzadeh<sup>2</sup> , Mahdi Erfanian<sup>3</sup> and Khadijeh Javan<sup>4</sup>

1- MSc in Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran

2- Associate Professor, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran,  
(Corresponding author: m.miryaghoubzadeh@urmia.ac.ir)

3- Associate Professor, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran

4- Associate Professor, Faculty of Literature and Humanities, Urmia University, Urmia, Iran

Received: 21 February, 2024

Accepted: 25 May, 2024

### Extended Abstract

**Background:** The primary issue facing the Earth in this century is the increase in global temperatures and changes in climate variables due to industrialization and rising greenhouse gas emissions. Therefore, it is crucial to investigate temperature trends and climatic changes on both global and regional scales. While several general circulation models have been developed to predict future climate states, different and new methods have been invented to use the output of these models on regional and local scales due to the lack of optimal use of the output of these models caused by the limitation in spatial resolution on the local scale. The Gedarchay watershed is significant for its Gedarchay river basin and groundwater resources—especially in agriculture—, hence it has been the focus of various studies. However, no research has yet studied the impacts of climate change under SSP scenarios of the 6<sup>th</sup> report, which incorporate socio-economic factors. Thus, this study aims to analyze future changes in climate variables for the Gedarchay Naghadeh watershed under the RCP emission scenarios of the fifth report (CMIP5) and the SSP scenarios of the sixth report (CMIP6), integrating greenhouse gas emissions and socioeconomic activities. The findings could significantly inform future water resource policymaking and planning.

**Methods:** This research utilized the SDSM microscale exponential model to analyze climatic variable changes in the Gedarchay Naghadeh watershed in northwestern Iran. The model's effectiveness was first assessed for climate variables, followed by predictions extending to 2100. Calibration and recalibration were performed using observational data from the Mahabad Synoptic Station and NCEP data. The model's performance was evaluated using correlation coefficients, mean absolute error, and mean square error. After confirming the model's reliability, outputs from the CanESM2 and CanESM5 models were studied for the periods 2031-2050 and 2081-2100 under the RCP 2.6, 4.5, 8.5 and SSP1-2.6, 2-4.5, 5-8.5 scenarios by the microscale SDSM statistical model.

**Results:** The model's evaluation and recalibration were done using NCEP, CanESM2, and CanESM5 data to forecast and compare precipitation, maximum, and minimum temperatures for the Mahabad station across two periods 2031-2050 and 2081-2100, against a baseline. The accuracy of the SDSM model was assessed using average absolute error statistics, and the errors for precipitation, maximum, and minimum temperatures were 1.645, 0.029, and 0.031, respectively, with CanESM2; their values were 0.73, 1.10, and 1.89. Correlation coefficients were also calculated, yielding 0.998, 0.999, and 0.999 for the CanESM2 model and 0.999, 0.993, and 0.971 for the CanESM5 model. The mean squared errors were 2.240, 0.043, and 0.045 for CanESM2, and 0.89, 1.49, and 2.07 for CanESM5. Results indicate that the average maximum temperature is projected to rise by 0.93 °C from 2031 to 2050 under the RCP scenario but it remains stable from 2081 to 2100. Increases of 1.24 °C in 2031-2050 and 0.35 °C in 2081-2100 were anticipated under the SSP scenario. The average minimum temperature increases for the RCP scenario were 0.27 and 0.28 °C for the respective periods, and 0.46 and 0.43 °C for the SSP scenario. Rainfall is projected to rise by 0.59 and 0.38 mm in the RCP scenario during the two periods, compared to increases of 2.15 and 1.64 mm, respectively, under the SSP scenario.

**Conclusion:** The evaluation of the SDSM model's accuracy in predicting precipitation, maximum temperature, and minimum temperature using R, MAE, and RMSE statistics indicates a strong alignment between predicted values and the base period. Results show an increase in precipitation and minimum temperature in both the near and distant futures, with a rise in maximum

temperature in the near future and stability in the distant future. Given the significance of climate change and its impacts on agriculture, the environment, and water resources, it is essential for managers and planners to implement effective solutions. These include altering cultivation patterns, using drought-resistant crops, establishing early warning systems, training farmers in climate adaptation methods, and promoting renewable energy to mitigate climate change effects.

**Keywords:** Climate Change, CMIP5, CMIP6, Gedarchay Basin, RCP Scenarios, SSP Scenarios

**How to Cite This Article:** Azimi-Habashi, S., Miryaghoubzadeh, M., Erfanian, M., & Javan, Kh. (2024). Projection of Future Climatic Variables based on CMIP5 and CMIP6 Models in the Gedarchay Catchment (West Azarbaijan). *J Watershed Manage Res*, 15(2), 1-16. DOI: [10.61186/jwmr.15.2.1](https://doi.org/10.61186/jwmr.15.2.1)



## مقاله پژوهشی

## پیش‌نگری متغیرهای اقلیمی دما و بارش بر اساس برونداد مدل‌های CMIP5 و CMIP6 در حوزه آبخیز گدارچای (آذربایجان غربی)

ساناز عظیمی حبشی<sup>۱</sup>، میرحسین میریعقوب‌زاده<sup>۲</sup>، مهدی عرفانیان<sup>۳</sup> و خدیجه جوان<sup>۴</sup>

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران  
 ۲- دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران، (نویسنده مسوول: m.miryaghoubzadeh@urmia.ac.ir)  
 ۳- دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران  
 ۴- دانشیار، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۰۲  
 تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۳/۵  
 صفحه: ۱ تا ۱۶

## چکیده مبسوط

**مقدمه و هدف:** مهم‌ترین معضل کره زمین در قرن حاضر، افزایش دمای کره زمین و تغییر در متغیرهای اقلیمی به‌علت صنعتی‌شدن جوامع و افزایش گازهای گلخانه‌ای می‌باشد. از این‌رو بررسی روند افزایش دما و تغییر در متغیرهای اقلیمی در مقیاس جهانی و منطقه‌ای بسیار مهم می‌باشد. تاکنون برای پیش‌نگری وضعیت آبی اقلیم، مدل‌های گردش عمومی متعددی طراحی شده‌است؛ ولی به‌علت عدم استفاده بهینه از خروجی این مدل‌ها به‌علت محدودیت در تفکیک مکانی در مقیاس محلی، روش‌های مختلف و جدیدی به‌منظور استفاده از خروجی این مدل‌ها در مقیاس منطقه‌ای و محلی ابداع شده‌است. حوزه آبخیز گدارچای به‌واسطه وجود رودخانه گدار و آب‌های زیرزمینی، از اهمیت ویژه‌ای به‌ویژه در بخش کشاورزی برخوردار است و مطالعات مختلفی بر روی آن انجام شده است. حوزه آبخیز گدارچای به‌واسطه وجود رودخانه گدار و آب‌های زیرزمینی، از اهمیت ویژه‌ای به‌ویژه در بخش کشاورزی برخوردار است و مطالعات مختلفی بر روی آن انجام شده است. ولی تاکنون مطالعه‌ای در خصوص بررسی اثرات تغییر اقلیم تحت سناریوهای SSP گزارش ششم که اثر فعالیت‌های اجتماعی-اقتصادی را در نظر می‌گیرد، در این حوزه صورت نگرفته است. لذا هدف اصلی این پژوهش، بررسی تغییرات متغیرهای اقلیمی برای دوره‌های آبی در حوزه آبخیز گدار نقده در شرایط سناریوهای انتشار RCP در گزارش پنجم (CMIP5) و سناریوهای SSP گزارش ششم (CMIP6) که ترکیب مقادیر انتشار گازهای گلخانه‌ای و فعالیت‌های اجتماعی-اقتصادی است، می‌باشد. نتایج این مطالعه می‌تواند برای سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی منابع آب در آینده مؤثر باشد.

**مواد و روش‌ها:** در این پژوهش جهت بررسی تغییرات متغیرهای اقلیمی در حوزه آبخیز گدار نقده واقع در شمال غرب کشور از مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM استفاده شده است. ابتدا میزان کارایی این مدل برای متغیرهای اقلیمی مورد ارزیابی قرار گرفت، سپس متغیرهای مذکور تا سال ۲۱۰۰ پیش‌نگری شد. کالیبراسیون و واسنجی مدل SDSM با استفاده از داده‌های مشاهداتی ایستگاه سینوپتیک مه‌باد و داده‌های NCEP انجام شد، همچنین برای ارزیابی مدل از معیارهای ضریب همبستگی، میانگین خطای مطلق و مجذور میانگین مربعات خطا استفاده شد و پس از اطمینان از کارایی مدل، خروجی‌های مدل CanESM2 و CanESM5 در دوره‌های زمانی ۲۰۳۱-۲۰۵۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ در حوزه آبخیز گدار نقده، تحت سناریوهای RCP 2.6, 4.5, 8.5 و 2.6, 4.5, 8.5 توسط مدل آماری SDSM ریزمقیاس انجام گرفت.

**یافته‌ها:** ارزیابی و واسنجی مدل با استفاده از داده‌های NCEP صورت گرفته و با استفاده از داده‌های CanESM2 و CanESM5، میزان بارش، دمای حداکثر و حداقل برای ایستگاه مه‌باد برای دو دوره ۲۰۳۱-۲۰۵۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ پیش‌بینی و با دوره پایه مقایسه گردید. ارزیابی دقت مدل SDSM بر اساس آماره‌های میانگین خطای مطلق، با استفاده از خروجی مدل CanESM2، برای بارش، دمای حداکثر و دمای حداقل، به‌ترتیب، ۰/۱۶۴۵، ۰/۰۲۹ و ۰/۰۳۱ است. استفاده از مدل CanESM5، برای بارش، دمای حداکثر و دمای حداقل، به‌ترتیب، ۰/۰۷۳، ۰/۱۸۹ و ۰/۱۸۹، ضریب همبستگی با استفاده از مدل CanESM2، برای بارش، دمای حداکثر و دمای حداقل، به‌ترتیب، ۰/۹۹۹، ۰/۹۹۹ و ۰/۹۹۹ است. مجذور میانگین مربعات خطا نیز با استفاده از مدل CanESM2 به‌ترتیب ۰/۲۷۴۰، ۰/۰۴۳ و ۰/۰۴۵ و با استفاده از مدل CanESM5 به‌ترتیب ۰/۹۹۳، ۰/۷۷۱ و ۰/۹۹۳ بدست آمد. مجذور میانگین مربعات خطا نیز با استفاده از مدل CanESM2 به‌ترتیب ۰/۲۷۴۰، ۰/۰۴۳ و ۰/۰۴۵ و با استفاده از مدل CanESM5 به‌ترتیب ۰/۹۹۳، ۰/۷۷۱ و ۰/۹۹۳ بدست آمده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده، میانگین دمای حداکثر در دوره ۲۰۳۱-۲۰۵۰ و تحت سناریوی RCP، به‌میزان ۰/۹۳ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته ولی در دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ ثابت خواهد ماند. در حالی که تحت سناریوی SSP، در دوره ۲۰۳۱-۲۰۵۰ به‌میزان ۱/۲۴ درجه سانتی‌گراد و برای دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ حدود ۰/۳۵ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. افزایش میانگین دمای حداقل تحت سناریوی RCP در دوره اول و دوم به‌ترتیب ۰/۲۷ و ۰/۲۸، درجه سانتی‌گراد و تحت سناریوی SSP در دوره اول و دوم به‌ترتیب ۰/۴۶ و ۰/۴۳ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. افزایش میزان بارش نیز تحت سناریوی RCP، در دو دوره به‌ترتیب ۰/۵۹ و ۰/۳۸ میلی‌متر و تحت سناریوی SSP، در دو دوره به‌ترتیب ۲/۱۵ و ۱/۶۴ میلی‌متر خواهد بود.

**نتیجه‌گیری:** با توجه به نتایج حاصل از ارزیابی دقت مدل SDSM در پیش‌نگری بارش، دمای حداکثر و دمای حداقل بر اساس آماره‌های R، MAE و RMSE، انطباق زیادی بین مقادیر پیش‌نگری شده و دوره پایه وجود دارد. طبق نتایج به‌دست آمده، افزایش میزان بارش و دمای حداقل برای دوره‌های آینده نزدیک و آینده دور و نیز افزایش دمای حداکثر در دوره آینده نزدیک و ثابت آن در آینده دور مشاهده شد. با توجه به اهمیت پدیده تغییر اقلیم و به‌تبع آن، اثرات تغییر اقلیم در کشاورزی، محیط زیست و وضعیت منابع آبی و طبیعی لازم است کلیه مدیران، برنامه‌ریزان و مسئولین ذی‌ربط راهکارهای مناسب و لازم مانند تغییر الگوی کشت، استفاده از گونه‌های کشاورزی مقاوم به خشکی، ایجاد سیستم‌های پیش‌آگاهی و آموزش شیوه‌های سازگاری با تغییر اقلیم برای کشاورزان و نیز استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر را برای تعدیل و کاهش خسارات ناشی از تغییرات اقلیم اتخاذ نمایند.

**واژه‌های کلیدی:** تغییر اقلیم، سناریوهای RCP، سناریوهای SSP، گدار نقده، مدل CMIP5، مدل CMIP6

## مقدمه

(2007). تغییرات اقلیمی ناشی از گرمایش جهانی، به‌ویژه، یک عامل مهم در پیش‌بینی و ارزیابی منابع آبی آینده است (Kim *et al.*, 2014). تغییر در اقلیم، اثرات منفی زیادی در منابع آب، نوع بارش و زمان آن، تعداد وقوع سیلاب، تولید رواناب و کلیه سیستم‌های انسانی مرتبط با عناصر اقلیمی مانند کشاورزی، صنایع و امثال آن دارد (Zhang *et al.*, 2012).

طبق تعریف، اقلیم، شرایط مختلف آب و هوایی از جمله دمای هوا، میزان بارش، شدت و ضعف جبهه‌های هوایی، در یک بازه زمانی مشخص در یک منطقه مشخص می‌باشد، همچنین اقلیم یک سامانه متشکل از برهمکنش مولفه‌های مختلف زمین با یکدیگر و با خورشید می‌باشد (Change,

جهلم، شدت و فراوانی فرین‌های دمایی گرم احتمالاً بیشتر و شدت و فراوانی فرین‌های دمایی سرد در آینده کمتر خواهد بود. گولاچا و مولنگو (Gulacha, & Mulungu, 2017)، مطالعاتی در حوزه رودخانه وامی-روو<sup>۲</sup> در تانزانیا با تولید سناریوهای تغییر اقلیم با استفاده از مدل SDSM با هدف بررسی تأثیر دما و بارندگی در آنالیز منابع آبی در بازه زمانی ۳۰ ساله (۱۹۶۱-۱۹۹۰) انجام داده‌اند. کالیبراسیون و اعتبارسنجی با داده‌های ایستگاه‌های زمینی و مرکز ملی پیش‌بینی محیط زیست ایالات متحده (NCEP<sup>۳</sup>) صورت گرفته‌است. مدل کالیبره شده SDSM در داده‌های سناریوی GCM (A2 و B2) مورد استفاده قرار گرفت. طبق نتایج به‌دست آمده از این تحقیق، در بازه زمانی ۲۰۲۰-۲۰۸۰، متوسط حداکثر دمای ماهانه پیش‌نگری شده روند افزایشی (از ۰/۲ به ۷/۵ درجه سانتی‌گراد) و دمای حداقل روند کاهشی (۰/۴- به ۱/۵- درجه سانتی‌گراد) خواهد داشت. همچنین پتانسیل وقوع سیل و خشک‌سالی در حوزه مشهود می‌باشد که نیاز به انجام اقدامات مدیریتی می‌باشد.

کوندو و همکاران (Kundu et al., 2017)، برای پیش‌نگری رفتار آبی مؤلفه‌های بیلان آب، اثرات تکی و ترکیبی دو عامل تغییرات اقلیم و کاربری اراضی در حوزه رودخانه نارمادا<sup>۴</sup> در هندوستان را با به‌کارگیری مدل SWAT و مدل SDSM مورد بررسی قرار داده‌اند. بر طبق نتایج به‌دست آمده، اثرات تکی و ترکیبی هر دو عامل تغییر اقلیم و تغییر کاربری در ۱۲ زیرحوضه مورد مطالعه نشان دهنده افزایش تحویل آب و کاهش تبخیر و تعرق در آینده می‌باشد.

داورپناه و همکاران (Davaranpanah et al., 2021)، به ارزیابی خشک‌سالی و ترسالی آبی در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه، تحت سناریوهای اقلیمی RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5 در دو دوره ۲۰۳۱-۲۰۵۰ و ۲۰۷۰-۲۰۵۱ با مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM پرداخته‌اند. همچنین وضعیت خشک‌سالی و روند آن در دوره پایه (۱۹۸۶-۲۰۰۵) و دوره‌های آبی با استفاده از داده‌های بارش و شاخص بارش استاندارد (SPI<sup>۵</sup>) مورد بررسی قرار گرفته‌است. طبق نتایج به‌دست آمده، احتمال خشک‌سالی در ایستگاه‌های حوزه آبریز دریاچه ارومیه در آینده زیاد است.

مرتضوی و همکاران (Mortazavifar et al., 2019)، اثرات تغییر اقلیم بر متغیرهای بارش و دما براساس سناریوهای واداشت تابشی (RCP) را در ایستگاه‌های بابلسر و قراخیل استان مازندران با مدل SDSM، بررسی کرده‌اند. با توجه به نتایج حاصل از ارزیابی دقت مدل SDSM بر اساس شاخص MAE, RMSE, NSE و R<sup>2</sup>، در مرحله صحت‌سنجی، انطباق زیادی بین مقادیر شبیه‌سازی شده و دوره پایه وجود داشت. طبق نتایج به‌دست آمده در هر دو ایستگاه و تحت هر سه سناریوی RCP، کاهش بارش متوسط سالانه و افزایش دمای متوسط سالانه مشاهده شده‌است.

محمدی و همکاران (Mohamadi et al., 2020)، میزان بارندگی ایستگاه تبریز را با استفاده از خروجی مدل‌های CanESM2 و HadCM3 و مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM پیش‌نگری کردند. در این تحقیق، از داده‌های CanESM2 تحت سناریوهای RCP و از داده‌های HadCM3 تحت

(Ye & Grimm, 2013). ارزیابی تغییر اقلیم و پیامدهای حاصل از آن بر فرآیندهای هیدرولوژی حوزه برای اتخاذ تصمیمات و انجام فعالیت‌های مدیریتی منابع آب در دوره‌های آبی امر مهمی می‌باشد (Baede et al., 2001; Zahabioun et al., 2010). طبق شواهد موجود حال حاضر، تغییر اقلیم، سیستم‌های زیست‌کره را به‌صورت مختلفی تحت تأثیر خود قرار داده است که می‌تواند تغییر در دمای اقیانوس‌ها، اسیدی شدن آب دریاها و اقیانوس‌ها و افزایش ظاهری میانگین تراز سطح دریا را نام برد (Change, 2007; Vermeer, & Rahmstorf, 2009).

مدل‌سازی امر مهم و ضروری در تجزیه و تحلیل و بررسی سیستم‌های واقعی، می‌باشد. برای دانستن رفتار سیستم در همان لحظه و یا لحظات آینده و حتی شبیه‌سازی سیستم‌های واقعی، مدل‌ها می‌توانند بسیار مؤثر باشند. با توجه به ویژگی‌های اصلی مدل‌سازی (یعنی استوار و منطقی بودن ساختار آن و افزایش توان پژوهشگر در پیش‌بینی وضع آینده سیستم)، می‌توان به نتایج مطلوب در زمینه اهداف مدیریتی دست یافت (Goodarzi et al., 2017). مدل‌های اقلیمی بسیاری برای شبیه‌سازی‌های اقلیمی برای دوره‌های گذشته و آینده توسعه داده شده‌است. در مدل CMIP5، فاز پنجم پروژه مقایسه متقابل مدل جفت شده، بیش از ۴۰ مدل مورد استفاده قرار می‌گیرد، سناریوهای RCP که شامل ۴ سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 و RCP8.5. براساس مقادیر واداشت تابشی (وات بر مترمربع) معرفی شده‌اند. سناریوهای RCP، متوسط افزایش دمای جهانی را تا سال ۲۱۰۰ نسبت به ۳۰ سال گذشته، به‌طور میانگین ۲ درجه سلسیوس پیش‌بینی کرده‌اند (Chen, & Sun, 2015; Van Vuuren et al., 2011). مدل CMIP6، فاز ششم پروژه مقایسه متقابل مدل جفت شده، مدل تکامل یافته مدل CMIP5 است که شامل سناریوهای جدید سازماندهی شده از مدل‌سازی اقلیمی جهانی می‌باشد (Eyering et al., 2016). سناریوهای گزارش ششم شامل ۵ زیرگروه اصلی می‌باشند که به شاخص‌های کمی، سناریوهای تعمیم یافته، برنامه انرژی و تغییرات کاربری اراضی تاکید دارند (Fallah et al., 2021). تحقیقات و مطالعات متعددی در زمینه تغییر اقلیم در خارج و داخل ایران صورت گرفته‌است:

محمود و بابل (Mahmood, & Babel, 2014)، تغییرات آبی در شاخص‌های حدی (فرین) دما در حوزه رودخانه جهلم<sup>۱</sup> واقع در مرز بین پاکستان و هند را با استفاده از مدل SDSM تحت سناریوهای A2 و B2 انجام داده‌اند. طبق نتایج به‌دست آمده، در دوره‌های آینده و تحت هر دو سناریو، تقریباً همه شاخص‌های حدی به‌جز شاخص سردترین روزها (TXn) افزایش در میانگین سالانه را خواهند داشت. شدت تغییرات دمای شب‌ها بیشتر از تغییرات دمای روز خواهد بود و همچنین تعداد روزهای گرم و شب‌های گرم افزایش و روزهای سرد و شب‌های سرد در هر سه دوره آینده کاهش خواهد یافت. در تمام فصول روند افزایشی در حوزه مشهود بوده که این اثرات در بهار (روزها و شب‌های گرم) و در زمستان (روزهای سرد و روزهای یخبندان) بسیار جدی‌تر است. به‌طور کلی در حوضه

تابستان گرم (Cfa) و اقلیم برفی با تابستان خشک و بسیار گرم ((Dsa))، مدل CAMS-CSM1-0 بهترین عملکرد را دارد. بی‌هنجاری دما در دهه‌های آتی در هر دو سناریو در ایران مثبت خواهد بود و توزیع آن از توپوگرافی پیروی می‌کند. همچنین روند دما در ایران افزایشی خواهد بود. متوسط شیب روند دما در ایران طی دوره‌های آتی به‌ازای هر سال، ۰/۰۵ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد داشت.

روشنی و حمیدی (Roshani, & Hamidi, 2022)، با استفاده از سه مدل ACCESS-CM2، NESM3 و HadGEM3-GC31-LL از مدل‌های CMIP6 به شبیه‌سازی پارامترهای آب و هوایی ایستگاه ساری، با استفاده از سناریوهای SSP پرداخته‌اند که مناسب‌ترین مدل ACCESS-CM2 تعیین شده‌است. برای ریزمقیاس‌نمایی از مدل LARS-WG6 در دو دوره زمانی (۲۰۴۱-۲۰۶۰) و (۲۰۸۱-۲۱۰۰) استفاده کرده‌اند. طبق نتایج به‌دست آمده، میانگین دما از ۱/۱۶ تا ۴/۰۹ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت و میانگین بارش سالانه نیز در حدود ۲۴ تا ۳۶ درصد افزایش می‌یابد. همچنین نتایج تحلیل روند، برای دمای حداکثر و حداقل، روند صعودی و برای بارش روند کاهشی را نشان می‌دهد.

حوزه آبخیز گذارچای به‌واسطه وجود رودخانه گذار و آب‌های زیرزمینی، از اهمیت ویژه‌ای به‌ویژه در بخش کشاورزی برخوردار است و مطالعات مختلفی بر روی آن انجام شده است. ولی تاکنون مطالعه‌ای در خصوص بررسی اثرات تغییر اقلیم تحت سناریوهای SSP گزارش ششم که اثر فعالیت‌های اجتماعی-اقتصادی را در نظر می‌گیرد، در این حوزه صورت نگرفته است. لذا هدف اصلی این پژوهش، بررسی تغییرات متغیرهای اقلیمی برای دوره‌های آتی در حوزه آبخیز گذار نقره در شرایط سناریوهای انتشار RCP در گزارش پنجم (CMIP5) و سناریوهای SSP گزارش ششم (CMIP6) که ترکیب مقادیر انتشار گازهای گلخانه‌ای و فعالیت‌های اجتماعی-اقتصادی است، می‌باشد. نتایج این مطالعه می‌تواند برای سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی منابع آب در آینده مؤثر باشد.

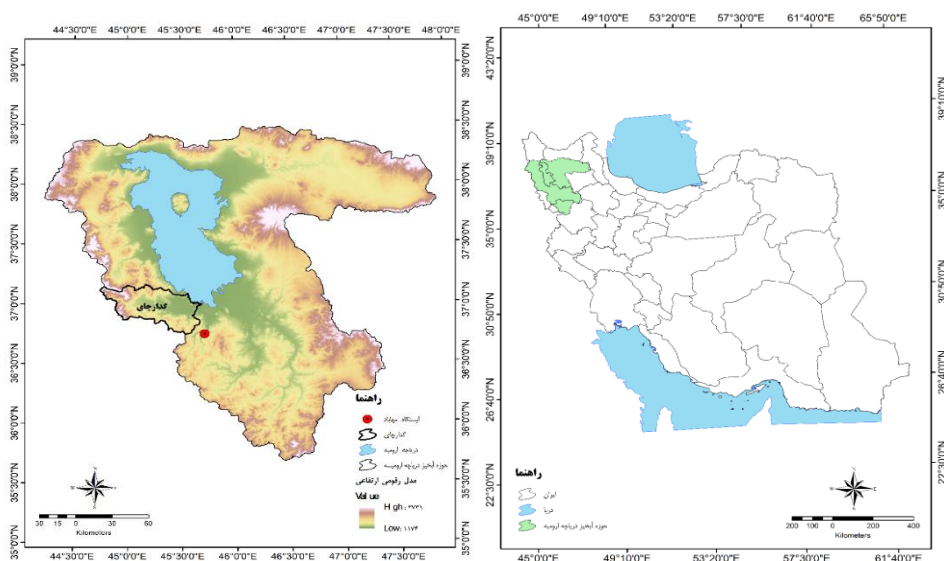
#### مواد و روش‌ها

در حوضه مورد مطالعه ۴ ایستگاه هواشناسی واقع شده‌است. در این پژوهش به‌دلیل نیاز به طول دوره آماری بیشتر، تنها داده‌های ایستگاه مهاباد به‌علت داشتن آمار طولانی‌مدت، قابل استفاده بوده است. منطقه مورد مطالعه، در شمال غرب کشور در استان آذربایجان غربی، از سمت شرق به دریاچه ارومیه و از غرب به کوه‌های اربیل و نازدار داغ و از شمال به کوه حاجی عبدالله و از جنوب به کوه سیلکان محدود شده‌است. رودخانه دائمی گذارچای، سومین رودخانه بزرگ حوزه آبریز دریاچه ارومیه می‌باشد. این حوزه در عرض جغرافیایی ۴۵' ۳۶" تا ۱۰' ۳۷" شمالی و طول جغرافیایی ۴۵' ۴۳" تا ۴۵' ۴۳" واقع شده‌است. منطقه مورد مطالعه کوهستانی، با ارتفاع متوسط ۲۳۸۰ متر از سطح آزاد آب دریا و مساحت ۲۲۳۰ کیلومتر مربع می‌باشد.

سناریوهای A2 و B2 جهت پیش‌نگری میزان بارندگی استفاده شده‌است. بر اساس نتایج به‌دست آمده با استفاده از سناریوهای A2 و B2، افزایش متوسط بارندگی ماهانه طی سه دوره آتی، ۲۰۱۰-۲۰۳۹، ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ به‌ترتیب، ۱۱/۲۲ و ۹/۵۸، ۱۱/۶۹ و ۱۲/۶۲، ۱۲/۷۷ و ۱۳/۱۰ میلی‌متر خواهد بود. همچنین نتایج به‌دست آمده با استفاده از سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5، افزایش متوسط بارندگی ماهانه طی سه دوره آتی به‌ترتیب، ۶/۲۹، ۷/۵۹، ۷/۵۳ و ۷/۲۸، ۸/۰۹، ۷/۴۳ و ۷/۹۰، ۱۰/۵۰، ۷/۰۸ میلی‌متر خواهد بود. بیشترین میزان افزایش بارندگی در همه دوره‌های و با استفاده از هر دو مدل، مربوط به فصل بهار بوده که دلیل اصلی آن گرمایش جهانی و به‌تبع آن تغییر الگو و مقدار بارش می‌باشد. همتی و میریعقوبزاده (Hemmati, & Miryaghoubzadeh, 2021)، با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM، در حوزه آبخیز آق‌چای (آذربایجان غربی) به پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی بر پایه مدل HadCM3 پرداخته‌اند. متغیرهای اقلیمی، بارش و دمای حداقل و حداکثر، در دوره آینده، ۲۰۲۰-۲۰۵۰ و ۲۱۰۰-۲۰۷۰، تحت سناریوهای A2 و B2 پیش‌نگری شد و طبق نتایج به‌دست آمده، به‌ترتیب، افزایش ۳/۴۸ و ۵/۶ درجه سانتی‌گراد در دمای حداکثر و طی سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۵۰ و ۲۱۰۰-۲۰۷۰ و همچنین افزایش دما طی سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۵۰ و ۲۱۰۰-۲۰۷۰ برای دمای حداقل مشاهده شده‌است. در سال‌های ۲۰۷۰-۲۱۰۰، افزایش بارش در اکثر ماه‌های سال به‌میزان حداکثر ۹۴/۶۴ و حداقل ۱/۳۴ درصد می‌باشد.

گودرزی و همکاران (Goodarzi et al., 2017)، تأثیرات تغییر اقلیم بر روی بارش و دمای حداکثر و حداقل حوزه کرخه در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ را بررسی نموده و برای ریزمقیاس‌نمایی از مدل SDSM استفاده کردند. طبق نتایج به‌دست آمده، کاهش حدود ۲ درصدی بارش در ایستگاه‌های کرمانشاه و خرم‌آباد و کاهش ۴ درصدی در ایستگاه حمیدیه مشاهده شده‌است. افزایش دمای حداکثر برای ایستگاه‌های فوق به‌ترتیب ۱۱ و ۹ و ۳ درصد و افزایش دمای حداقل به‌ترتیب ۲۴ و ۴ و ۱ درصد می‌باشد. با توجه به نتایج حاصل، از شمال حوزه به‌سمت جنوب، تأثیرات تغییر اقلیم بر دمای حداکثر و حداقل کمتر خواهد شد.

زرین و همکاران (Zarrin et al., 2021) با استفاده از خروجی سه مدل BCC-CSM2-MR، CAMS-CSM1-0 و MRI-ESM2-0 از مدل‌های CMIP6، به بررسی بی‌هنجاری و روند دما در پهنه‌های مختلف اقلیمی ایران پرداختند. برای تصحیح اریبی خروجی مدل از روش عامل تغییر دلتا و برای مطالعه روند از آزمون من-کندال و برای شیب روند از آزمون سن استفاده شده است. نتایج بررسی مدل‌ها در هفت پهنه اقلیمی ایران نشان داد که مدل BCC-CSM2-MR در دو پهنه BWh (بیابان خشک و بسیار گرم) و BSh (نیمه بیابانی خشک و بسیار گرم) عملکرد بهتری دارد و در پنج پهنه اقلیمی دیگر (بیابان خشک و سرد (Bwk)، نیمه بیابانی خشک و سرد (BSk)، معتدل با تابستان‌های خشک (Csa)، معتدل پرباران با



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز گدار نقره در ایران و استان آذربایجان غربی  
Figure 1. Geographical location of Gedar Chai Watershed in Iran and West Azarbaijan

از داده‌های مدل CanESM2 تحت سناریوهای RCP 2.6، 4.5، 8.5 و داده‌های CanESM5، تحت سناریوهای SSP1-2.6، 2-4.5 و 5-8.5 برای پیش‌نگری متغیرهای اقلیمی در دوره پایه (۱۹۸۶-۲۰۰۵) و دو دوره آینده سی‌ساله (۲۰۳۱-۲۰۵۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰) استفاده شد. مشخصات ایستگاه در جدول ۱ آورده شده است.

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل داده‌های ایستگاه سینوپتیک مهاباد، داده‌های اقلیمی و داده‌های پیش‌بینی کننده (NCEP) بوده است. داده‌های ایستگاه سینوپتیک شامل دمای حداقل و حداکثر و بارش روزانه از ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۵ می‌باشد که همراه با داده‌های NCEP وارد مدل SDSM شدند. در این پژوهش از داده‌های NCEP، برای انتخاب پیش‌بین‌ها یا متغیرهای مؤثر بر پیش‌بینی دما و بارش

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی ایستگاه سینوپتیک مهاباد

Table 1. Geographic specification of Mahabad synoptic station

مشخصات جغرافیایی Geographical information				
عرض جغرافیایی latitude	طول جغرافیایی Longitude	ارتفاع (متر) Height (meters)	نوع ایستگاه Station type	نام ایستگاه Station name
36°45'	45°42'	1449	سینوپتیک	مهاباد

دارد و نیز در نهایت برای تکمیل داده‌های شبکه‌ای نیاز به ریزمقیاس آماری دارد (Goodarzi *et al.*, 2017). اساس کار مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری، مدل SDSM، بر پایه ارتباط بین متغیرهای مستقل اتمسفری (فشار سطح دریا، نیروی جریان هوا در سطح زمین و ...) و متغیرهای وابسته زمینی نظیر بارش، دما و ... استوار است. انتخاب متغیرهای مستقل که ارتباط منطقی و مناسبی با متغیرهای وابسته داشته باشند، از اهمیت خاصی برخوردار است (Kermani, & Tourin, 2012). در این تحقیق، برای ریزمقیاس‌نمایی آماری متغیرهای اقلیمی، از مدل SDSM، گزارش پنجم و داده‌های مدل CanESM2، تحت سناریوهای RCP 2.6، 4.5، 8.5 و گزارش ششم و داده‌های CanESM5، تحت سناریوهای SSP1-2.6، 2-4.5 و 5-8.5 استفاده شده است. داده‌های مربوط به متغیرهای NCEP و مدل‌های CanESM2 و CanESM5، از وب‌سایت شبکه تغییر اقلیم کانادا (CCDS) دریافت شده است. هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم در تدوین گزارش پنجم ارزیابی خود (AR5) از سناریوهای جدید RCP به‌عنوان نماینده‌های خطوط سیر غلظت‌های گوناگون گازهای گلخانه‌ای استفاده کرده است.

## روش تحقیق

برای ارزیابی تغییرات اقلیمی از مدل‌های گردش عمومی (GCMs) که خصوصیات فیزیکی، چرخش‌ها و حرکات اتمسفری را تحلیل می‌کنند، استفاده می‌شود. این مدل‌ها که به سه نوع، چرخش عمومی جو (AGCM)، چرخش عمومی اقیانوس (OGCM) و مزدوج (AOGCM) می‌باشند، برای بازسازی اقلیم گذشته و یا پیش‌نگری اقلیم آینده بکار گرفته می‌شوند (Kim *et al.*, 1984; Shaemi, & Wilby, & Dawson, 2007; Habibinokhandan, 2009; Wilby & Harris, 2006). هدف مدل‌های GCM، محاسبه شاخص‌های اقلیم در شبکه‌های مشخص می‌باشد. مدل‌های گردش عمومی به‌علت بزرگ مقیاس بودن سلول محاسباتی آن‌ها به‌لحاظ مکانی و زمانی نسبت به منطقه مورد مطالعه، برای پیش‌بینی‌های منطقه‌ای و نقطه‌ای مورد استفاده نمی‌باشند و نیاز به ریزمقیاس‌نمایی دارند (Kim *et al.*, 1984; Wilby, & Harris, 2006). برای ریزمقیاس‌نمایی خروجی مدل‌های GCM، از دو روش دینامیکی و آماری استفاده می‌شود که روش دینامیکی نیاز به داده‌های زیاد، ابر رایانه‌ها، هزینه و زمان زیادی

اقتصادی- اجتماعی و غلظت‌های مختلف گازهای گلخانه‌ای را ارائه می‌دهند. سناریوهای گزارش ششم که شامل ۵ زیرگروه اصلی هستند به شاخص‌های کمی (جمعیت، شهرنشینی، توسعه اقتصادی منطقه‌ای و فرامنطقه‌ای و ...) و سناریوهای تعمیم یافته (اثرات، سازگاری و کاهش آسیب‌پذیری)، برنامه انرژی و تغییرات کاربری اراضی و ... تأکید دارد. پنج سناریوی اصلی SSP شامل SSP1-2.6، SSP2-4.5، SSP3-7، SSP4-6.0، SSP5-8.5 و RCP2.6، RCP4.5، RCP6.0 و RCP8.5 موجود در CMIP5 می‌باشند (Ye, & Grimm, 2013; Gupta et al., 2020). متغیرهای NCEP شامل ۲۶ متغیر مستقل اتمسفری می‌باشد که از بین این‌ها، متغیرهایی که بالاترین ضریب همبستگی و کمترین واریانس خطا با داده‌های پیش‌بینی شونده را دارند انتخاب می‌شوند. فهرست متغیرهای NCEP به شرح زیر در جدول ۲ ارائه شده‌است:

این سناریوها تحت عنوان سناریوهای واداشت تابشی می‌باشند. واداشت تابشی، تفاوت بین انرژی تابشی دریافتی از خورشید و انرژی بازگشتی به جو توسط زمین می‌باشد. واداشت تابشی که می‌تواند مهم‌ترین علت تغییر اقلیم باشد، برای ارزیابی و مقایسه هر یک از عوامل طبیعی و انسانی تغییر اقلیم مورد استفاده قرار می‌گیرد. سناریوهای جدید انتشار دارای چهار خط سیر کلیدی با نام‌های RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 می‌باشند که بر اساس میزان واداشت تابشی آن‌ها در سال ۲۱۰۰ نام‌گذاری شده‌اند (Change, 2007). جهت دستیابی به نیازهای عملی و برنامه‌ریزی جامعه در حال رشد و بهبود مشکلات موجود در گزارش پنجم، نسل جدید مدل‌های جفت شده تحت عنوان CMIP6 معرفی شده‌است (Eyring 2016). سناریوهای SSP در مدل‌های CMIP6، تغییرات اقتصادی- اجتماعی جهان را تا سال ۲۱۰۰ پیش‌نگری می‌کنند (Zarrin et al., 2021). این سناریوها خطوط سیر بخش‌های مشترک

جدول ۲- متغیرهای پیش‌بینی کننده NCEP (منبع IPCC)

ردیف	نام پیش‌بینی کننده	ردیف	نام پیش‌بینی کننده
Rank	The name of the predictor	Rank	The name of the predictor
1	فشار میانگین سطح دریا (mslp)	14	واگرایی در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال (p5_zh)
2	سرعت جریان هوای ژئوستروفیک سطحی (p_f)	15	سرعت مداری در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال (p8_u)
3	مؤلفه سرعت مداری سطحی (p_u)	16	سرعت نصف‌النهاری در ۸۵۰ هکتوپاسکال (p8_v)
4	مؤلفه سرعت نصف‌النهاری سطحی (p_v)	17	تاوایی در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال (p8_z)
5	تاوایی سطحی (p_z)	18	ارتفاع ژئوپتانسیل ۸۵۰ هکتوپاسکال (p850)
6	جهت باد سطحی (p_th)	19	جهت باد در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال (p8_th)
7	واگرایی سطحی (p_zh)	20	واگرایی در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال (p8_zh)
8	سرعت جریان هوای ژئوستروفیک در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال (p5_f)	21	سرعت جریان هوای ژئوستروفیک در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال (p8_f)
9	سرعت مداری در ۵۰۰ هکتوپاسکال (p5_u)	22	مجموع بارش (prcp)
10	سرعت نصف‌النهاری ۵۰۰ هکتوپاسکال (p5_v)	23	رطوبت ویژه در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال (s500)
11	تاوایی در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال (p5_z)	24	رطوبت ویژه در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال (s850)
12	ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال (p500)	25	رطوبت ویژه سطحی (shum)
13	جهت باد در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال (p5_th)	26	میانگین دما در ارتفاع ۲ متری (temp)

## مدل SDSM

این مدل به منظور ریزمقیاس‌سازی داده‌های آبی بارندگی و دمای حداقل و دمای حداکثر مورد استفاده قرار می‌گیرد، این مدل از ابزار پشتیبان تصمیم براساس رگرسیون خطی چندگانه، برای ریزمقیاس‌نمایی داده‌های اقلیمی استفاده می‌کند (Change, 2007). مدل SDSM، تولید کننده تصادفی آب و هوا و رگرسیون خطی چندگانه را یکپارچه می‌کند (Kundu et al., 2017). داده‌های روزانه اقلیمی محلی (بارش و دما) و داده‌های بزرگ مقیاس NCEP، در این مدل مورد استفاده قرار می‌گیرد سپس با استفاده از متغیرهای پیش‌بینی کننده و متغیرهای محلی (متغیرهای پیش‌بینی شونده) برای دوره پایه و آینده شبیه‌سازی می‌شود (Wilby et al., 2002). مدل SDSM شامل هفت مرحله به شرح ذیل می‌باشد: کنترل کیفیت و تبدیل داده‌ها، انتخاب متغیرهای مستقل مناسب، واسنجی مدل، تولید داده‌های هواشناسی زمان حاضر با استفاده از متغیرهای مستقل مشاهده‌ای، تحلیل آماری داده‌های مشاهده شده، نمایش هندسی خروجی مدل، تولید داده‌های هواشناسی آینده با استفاده از متغیرهای مستقل (Wilby et al., 2007). ارزیابی و واسنجی مدل با استفاده از داده‌های NCEP صورت می‌گیرد و با استفاده از داده‌های CanESM2 و CanESM5،

میزان بارش، دمای حداکثر و حداقل برای ایستگاه مهاباد برای دو دوره ۲۰۳۱-۲۰۵۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ پیش‌بینی و با دوره پایه مقایسه می‌گردد.

## ارزیابی مدل

در این تحقیق، برای ارزیابی و مقایسه دقت روش‌ها و سناریوهای مدل، از سه آماره، میانگین خطای مطلق (MAE) و مجذور میانگین مربعات خطا (RSME) و ضریب همبستگی (R) استفاده شده است که روابط آنها به شرح ذیل می‌باشد، که  $S_i$  مقدار بارندگی برآورد شده توسط مدل،  $O_i$  مقدار بارندگی مشاهده‌ای،  $N$  تعداد کل مشاهدات می‌باشد. RMSE میانگین انحراف مقادیر شبیه‌سازی شده از مقادیر اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد که نشان دهنده اطمینان مدل می‌باشد. هرچه مقدار RMSE و MAE به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان دهنده آن است که شبیه‌سازی بهتر صورت گرفته است. که  $S_i$  مقدار بارندگی برآورد شده توسط مدل،  $S_i^-$  میانگین مقدار بارندگی برآورد شده،  $O_i$  مقدار بارندگی مشاهده‌ای،  $O_i^-$  میانگین مقدار بارندگی مشاهده‌ای،  $N$  تعداد کل مشاهدات می‌باشد. RMSE میانگین انحراف مقادیر شبیه‌سازی شده از مقادیر اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد که نشان دهنده اطمینان مدل می‌باشد. هرچه مقدار RMSE و MAE به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان

1- <https://climate-scenarios.canada.ca>

2- Mean Absolute Error

3- Root Mean Squared Error

4- Correlation Coefficient

بدین منظور داده‌های NCEP مورد استفاده قرار گرفت. در این پژوهش برای بررسی میزان کارایی مدل از میانگین خطای مطلق (MAE) و مجذور میانگین مربعات خطا (RSME) و ضریب همبستگی (R) استفاده شد. با توجه به مقادیر جدول ۳ نتایج حاصل از محاسبات معیار میانگین خطای مطلق و مجذور میانگین مربعات خطا و ضریب همبستگی برای متغیر دما نشان از توانایی مدل SDSM در ریزمقیاس نمایی آماری داده‌های بزرگ مقیاس دارد. شکل ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷ مقایسه میانگین و واریانس ماهانه دمای حداقل و حداکثر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مدل CanESM2 و CanESM5 را نشان می‌دهد.

دهنده آن است که شبیه‌سازی بهتر صورت گرفته است. در حالت ایده‌آل که مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده با هم برابر باشد مقادیر عددی RMSE و MAE برابر صفر خواهد بود (Jolliffe, & Stephenson, 2012).

$$1) MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |S_i - O_i|}{N}$$

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

$$3) R = \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O}_i)(S_i - \bar{S}_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O}_i)^2 \sum_{i=1}^N (S_i - \bar{S}_i)^2}}$$

### نتایج و بحث ارزیابی مدل

بیشترین میزان همبستگی پیش‌بینی‌کننده‌های NCEP با متغیرهای دمایی و بارش در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۳- متغیرهای پیش‌بینی‌کننده

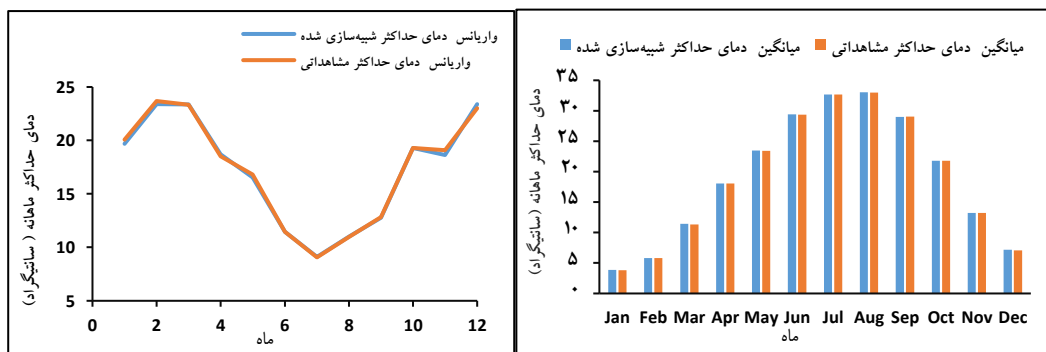
Table 3. Predictor Variables

متغیر Variable	بارش precipitation	دمای حداقل Minimum temperature	دمای حداکثر Maximum temperature
CMIP5	p1fgl, p1ugl, p5ugl	s850gl, tempgl	p500gl, temgl
CMIP6	Temp, p8-z, s850	p500, temp	p500, temp

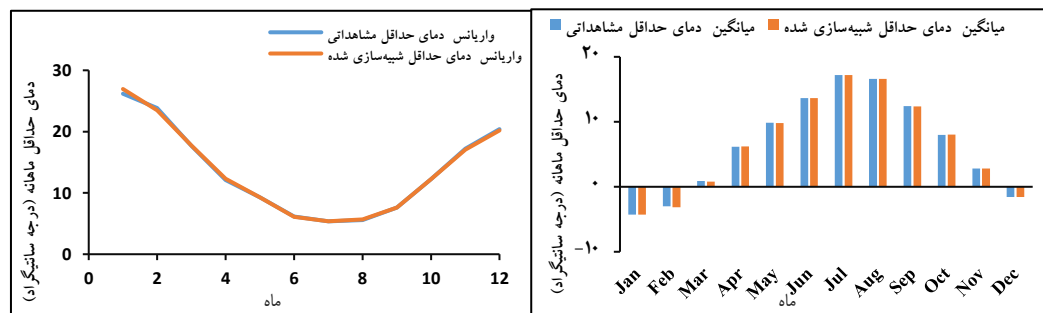
جدول ۴- مقادیر ضریب همبستگی، میانگین خطای مطلق و مجذور میانگین مربعات خطا

Table 4. Correlation Coefficient, Mean absolute error and Root mean squared error

متغیر Variable	بارش precipitation		دمای حداکثر Maximum temperature		دمای حداقل Minimum temperature		R
	precipitation		Maximum temperature		Minimum temperature		
	CMIP6	CMIP5	CMIP6	CMIP5	CMIP6	CMIP5	
R	0.999	0.998	0.993	0.999	0.971	0.999	
میانگین خطای مطلق	0.730	1.645	1.100	0.029	1.890	0.031	
مجذور میانگین مربعات خطا	0.890	2.240	1.490	0.043	2.070	0.045	

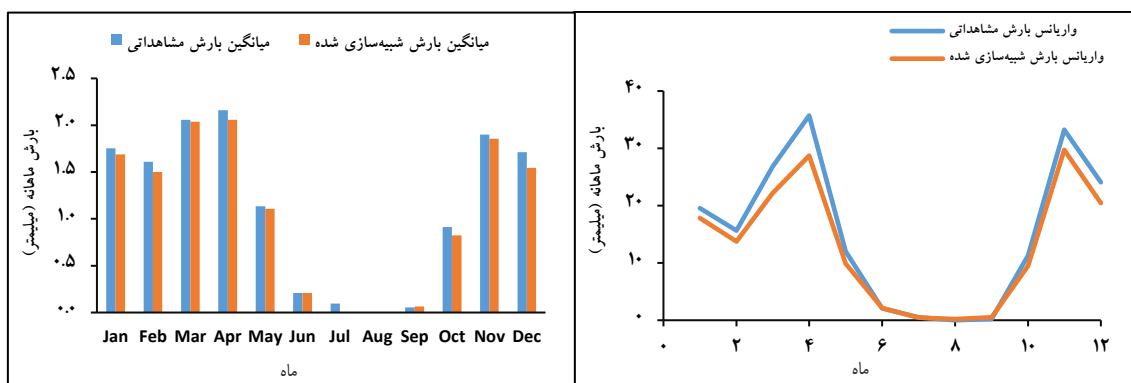


شکل ۲- میانگین و واریانس ماهانه دمای حداکثر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دوره پایه با مدل CanESM2  
Figure 2. Monthly mean and variance of observed and simulated maximum temperature during the base period in CanESM2

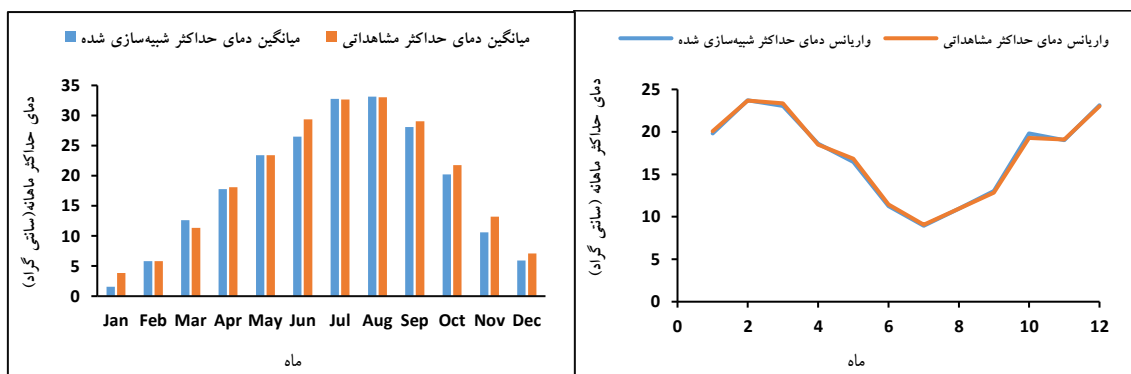


شکل ۳- میانگین و واریانس ماهانه دمای حداقل مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دوره پایه با مدل CanESM2  
Figure 3. Monthly mean and variance of observed and simulated minimum temperature during the base period in CanESM2

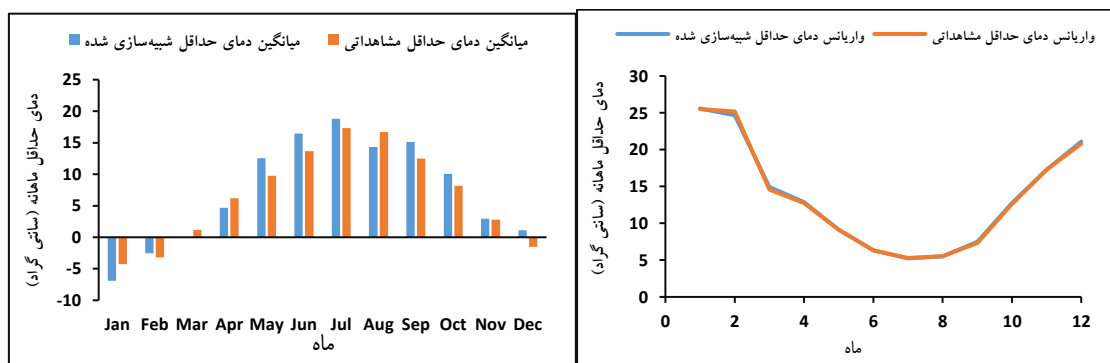




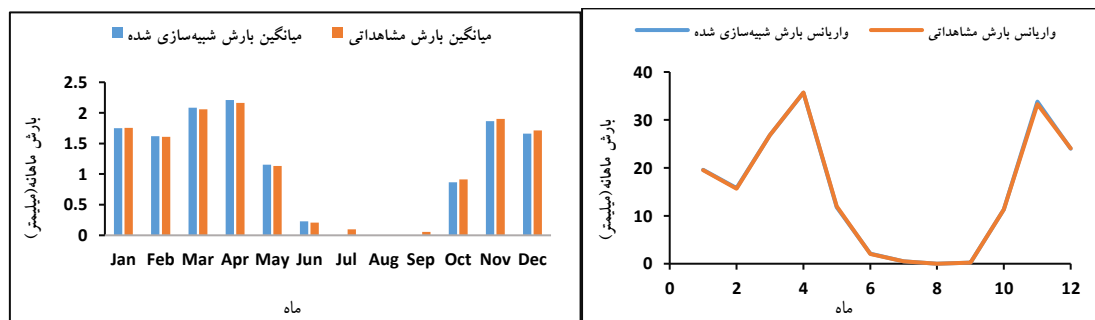
شکل ۴- میانگین و واریانس ماهانه بارش مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در دوره پایه با مدل CanESM2  
Figure 4. Monthly mean and variance of observed and simulated precipitation during the base period in CanESM2



شکل ۵- میانگین و واریانس ماهانه دمای حداکثر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در دوره پایه با مدل CanESM5  
Figure 5. Monthly mean and variance of observed and simulated maximum temperature during the base period in CanESM5



شکل ۶- میانگین و واریانس ماهانه دمای حداقل مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در دوره پایه با مدل CanESM5  
Figure 6. Monthly mean and variance of observed and simulated minimum temperature during the base period in CanESM5



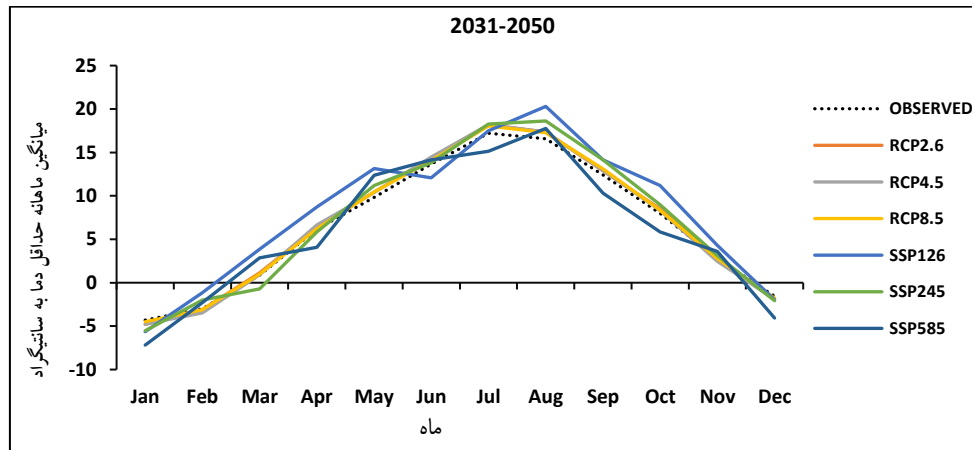
شکل ۷- میانگین و واریانس ماهانه بارش مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در دوره پایه با مدل CanESM5  
Figure 7. Monthly mean and variance of observed and simulated precipitation during the base period in CanESM5

### شبیه سازی متغیرهای اقلیمی

پس از اطمینان از صحت و کارایی مدل SDSM در شبیه سازی متغیرهای دما و بارش حوزه آبخیز گذار نقره، خروجی های مدل CanESM2 و CanESM5 تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP8.5 و سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5، SSP3-7.0 برای دوره های ۲۰۳۱-۲۰۵۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ ریزمقیاس شده و مقادیر بارش و دمای حداقل و دمای حداکثر پیش نگری شده با مقادیر در دوره پایه مورد مقایسه قرار گرفت.

**تغییرات دمای حداقل دوره ۲۰۳۱-۲۰۵۰ (آینده نزدیک)**  
 با توجه به شکل ۸ و جدول ۴، مدل CanESM2 تحت هر سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 در ماه های آوریل، می، ژوئن، جولای، آگوست و سپتامبر افزایش دما و در ماه های ژانویه، فوریه و دسامبر کاهش دما را پیش بینی کرده

است. تنها در ماه مارس سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 افزایش دما و در ماه نوامبر سناریوی RCP4.5، افزایش دما را نسبت به دوره مشاهداتی پیش بینی کرده است. بیشترین افزایش دما مربوط به ماه جولای تحت سناریوهای RCP2.6 و به میزان ۰/۹۹ درجه سانتی گراد و بیشترین کاهش دما مربوط به ماه های ژانویه سناریوهای RCP2.6 و RCP4.5 و به میزان ۰/۴۸ سانتی گراد می باشد. طبق نتایج پیش بینی شده مدل CanESM5 تحت سناریوی SSP در اکثر ماه های سال بیشترین افزایش دما نسبت به دوره مشاهداتی به میزان ۳/۷۲ درجه سانتی گراد تحت سناریوی SSP1-2.6 و در ماه آگوست بوده است. همچنین کاهش دما نسبت به دوره مشاهداتی مربوط به ماه های ژانویه و دسامبر بوده که بیشترین کاهش مربوط به ماه ژانویه، تحت سناریوی SSP5-8.5 و به میزان ۲/۸۸ درجه سانتی گراد پیش بینی کرده است.



شکل ۸- میانگین دمای حداقل ماهانه مشاهداتی و شبیه سازی شده دوره ۲۰۳۱-۲۰۵۰ تحت سناریوهای RCP و SSP  
 Figure 8. Monthly mean of observed and simulated minimum temperature in 2031-2050 period under RCP And SSP scenarios

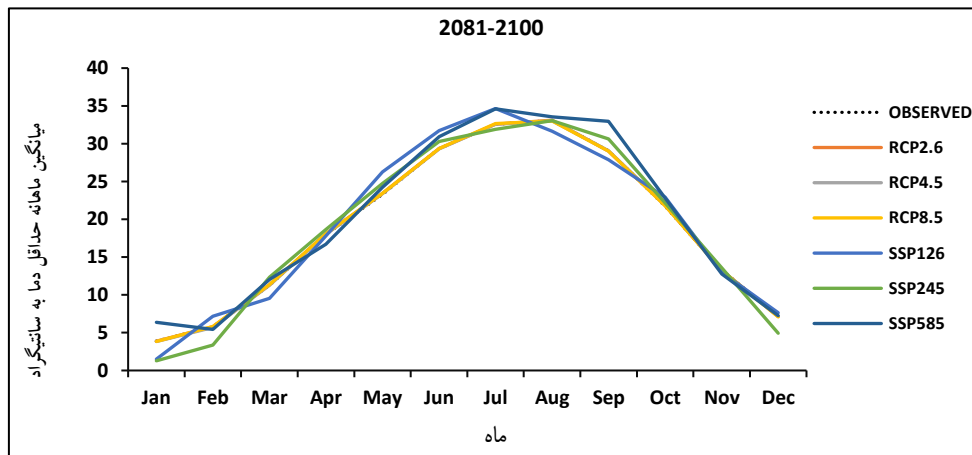
جدول ۵- میانگین دمای حداقل ماهانه مشاهداتی و شبیه سازی شده دوره ۲۰۳۱-۲۰۵۰ تحت سناریوهای RCP و SSP  
 Table 5. Monthly mean of observed and simulated minimum temperature in 2031-2050 period under RCP And SSP scenarios

دسامبر Dec.	نوامبر Nov.	اکتبر Oct.	سپتامبر Sep.	آگوست Aug.	جولای Jul.	ژوئن Jun.	می May	آوریل Apr.	مارس Mar.	فوریه Feb.	ژانویه Jan.	
-1.58	2.79	8.00	12.40	16.58	17.21	13.66	9.84	6.17	0.87	-3.01	-4.30	مشاهداتی
-1.85	2.82	8.49	12.87	17.34	18.20	14.33	10.41	6.42	1.13	-3.11	-4.78	RCP2.6
-1.91	2.44	8.33	12.91	17.34	18.18	14.47	10.43	6.66	0.91	-3.48	-4.78	RCP4.5
-1.77	2.79	8.35	13.11	17.29	18.05	14.07	10.45	6.21	0.98	-3.11	-4.49	RCP8.5
-1.96	4.28	11.19	14.13	20.30	17.48	12.09	13.15	8.72	3.88	-1.15	-5.64	SSP1-2.6
-2.09	3.14	8.98	14.13	18.62	18.28	13.80	11.20	5.84	-0.72	-2.01	-5.54	SSP2-4.5
-4.08	3.60	5.83	10.32	17.76	15.12	14.15	12.37	4.06	2.87	-2.31	-7.18	SSP5-8.5

درجه سانتی گراد می باشد. طبق نتایج به دست آمده از پیش بینی مدل CanESM5 تحت سناریوی SSP، در ماه های مارس تا نوامبر افزایش و در ماه دسامبر کاهش و در ماه های ژانویه و فوریه تحت دو سناریوی SSP1-2.6 و SSP5-8.5 افزایش و تحت سناریوی SSP2-4.5 کاهش دما نسبت به دوره مشاهداتی پیش بینی شده است. که بیشترین افزایش دما در ماه آگوست تحت سناریوی SSP1-2.6 و به میزان ۳/۷۸ درجه سانتی گراد نسبت به دوره مشاهداتی پیش بینی شده است. همچنین بیشترین کاهش دما مربوط به ماه ژانویه تحت سناریوی SSP5-8.5 به میزان ۰/۹۵ درجه سانتی گراد خواهد بود.

### تغییرات دمای حداقل دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ (آینده دور)

با توجه به شکل ۹ و جدول ۵، مدل CanESM2 تحت هر سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 در ماه های آوریل، می، ژوئن، جولای، آگوست، سپتامبر اکتبر و نوامبر افزایش دما و در ماه های ژانویه، فوریه و دسامبر کاهش دما را پیش بینی کرده است. تنها در ماه مارس سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 افزایش دما را نسبت به دوره مشاهداتی پیش بینی کرده است. بیشترین افزایش دما مربوط به ماه آگوست سناریوی RCP8.5 و به میزان ۱ درجه سانتی گراد و بیشترین کاهش دما مربوط به ماه های ژانویه در سناریوی RCP2.6 به میزان ۰/۵



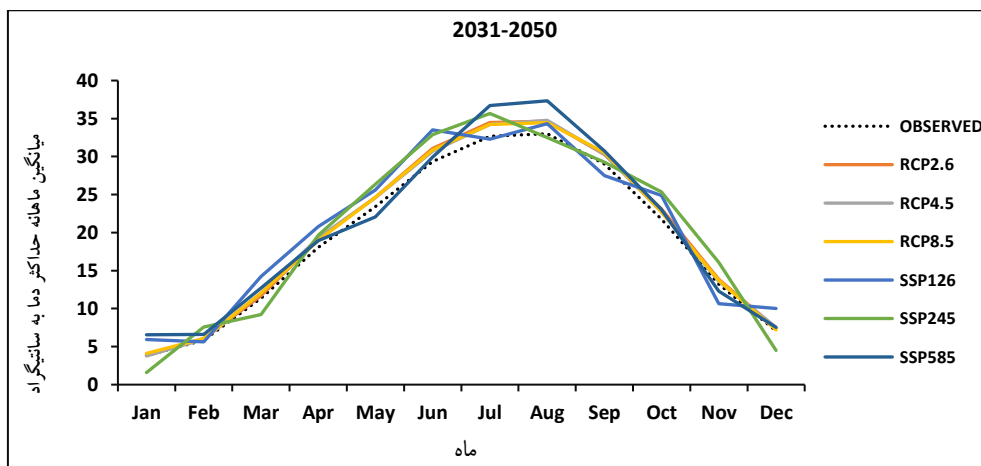
شکل ۹- میانگین دمای حداقل ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ تحت سناریوهای RCP و SSP  
Figure 9. Monthly mean of observed and simulated minimum temperature in 2081-2100 period under RCP And SSP scenarios

جدول ۶- میانگین دمای حداقل ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ تحت سناریوهای RCP و SSP  
Table 6. Monthly mean of observed and simulated minimum temperature in 2081-2100 period under RCP And SSP scenarios

دسامبر Dec.	نوامبر Nov.	اکتبر Oct.	سپتامبر Sep.	اگوست Aug.	جولای Jul.	ژوئن Jun.	می May	آوریل Apr.	مارس Mar.	فوریه Feb.	ژانویه Jan.	
7.11	13.28	21.73	29.06	33.07	32.59	29.34	23.30	18.01	11.26	5.78	3.88	مشاهداتی
7.16	13.23	21.82	29.04	33.11	32.60	29.35	23.42	18.07	11.33	5.77	3.87	RCP2.6
7.14	13.25	21.88	29.08	33.03	32.59	29.34	23.39	18.01	11.29	5.67	3.83	RCP4.5
7.08	13.22	21.78	29.02	33.01	32.65	29.36	23.42	18.08	11.35	5.83	3.84	RCP8.5
7.65	12.97	22.92	27.87	31.64	34.65	31.75	26.28	17.82	9.55	7.18	1.50	SSP1-2.6
4.93	13.57	22.18	30.64	33.05	31.89	30.30	24.75	18.65	12.34	3.37	1.28	SSP2-4.5
7.25	12.74	22.82	32.95	33.57	34.61	30.93	24.24	16.72	12.05	5.43	6.36	SSP5-8.5

۱/۸ درجه سانتی‌گراد است. همچنین افزایش دما تحت سناریوهای SSP در ماه‌های اکتبر، ژوئن، آوریل و فوریه نسبت به دوره مشاهداتی پیش‌بینی شده‌است ولی بیشترین افزایش به میزان ۴/۳۳ درجه سانتی‌گراد تحت سناریوی SSP5-8.5 در اگوست می‌باشد. کاهش دمای حداکثر نیز به صورت پراکنده در ماه‌های مختلف سال پیش‌بینی شده‌است که کمترین افزایش دمای حداکثر در ماه ژانویه تحت سناریوی SSP2-4.5 به میزان ۲/۲۵ درجه سانتی‌گراد پیش‌بینی شده است.

**تغییرات دمای حداکثر دوره ۲۰۳۱-۲۰۵۰ (آینده نزدیک)**  
در شکل ۱۰ و جدول ۶ تغییرات دمای حداکثر منطقه مطالعاتی در دوره ۲۰۳۱-۲۰۵۰ نسبت به دوره مشاهداتی ارائه شده است. هر سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 افزایش دما را در اکثر ماه‌های سال پیش‌نگری می‌کنند. تنها در ماه ژانویه دو سناریوی RCP2.6 و RCP4.5 تغییرات دمایی نشان نمی‌دهند و در بقیه ماه‌ها هر سه سناریو افزایش دما را نشان می‌دهند. بیشترین افزایش هم مربوط به ماه جولای سناریوی RCP2.6 و ماه اگوست سناریوی RCP4.5 به میزان



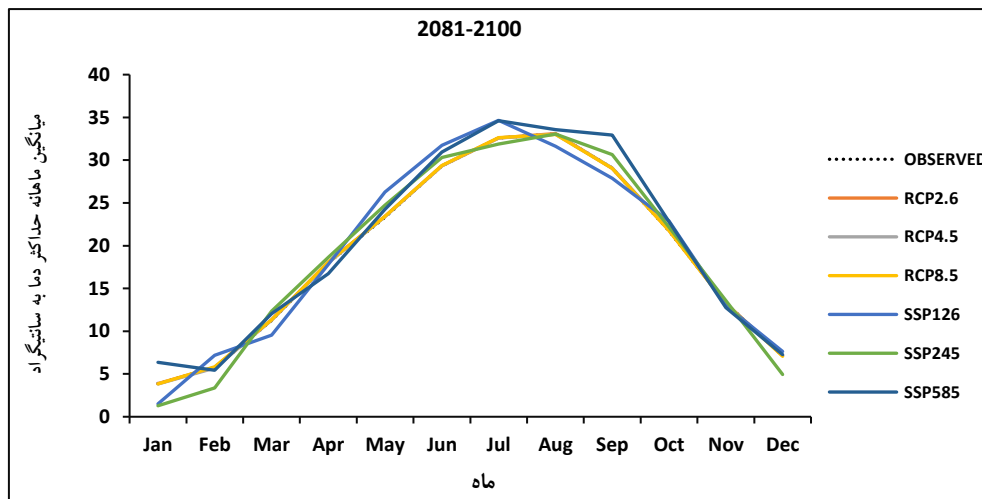
شکل ۱۰- میانگین دمای حداکثر ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دوره ۲۰۳۱-۲۰۵۰ تحت سناریوهای RCP و SSP  
Figure 10. Monthly mean of observed and simulated maximum temperature in 2031-2050 period under RCP and SSP scenarios

جدول ۷- میانگین دمای حداکثر ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دوره ۲۰۳۱-۲۰۵۰ تحت سناریوهای SSP و RCP  
Table 7. Monthly mean of observed and simulated maximum temperature in 2031-2050 period under RCP And SSP scenarios

دسامبر Dec.	نوامبر Nov.	اکتبر Oct.	سپتامبر Sep.	اگوست Aug.	جولای Jul.	ژوئن Jun.	می May	آوریل Apr.	مارس Mar.	فوریه Feb.	ژانویه Jan.	
7.08	13.22	21.78	29.02	33.01	32.65	29.36	23.42	18.08	11.35	5.83	3.84	مشاهداتی
7.42	13.83	23.11	30.29	34.65	34.47	31.05	24.61	19.15	11.71	6.07	3.82	RCP2.6
7.55	13.61	22.73	30.33	34.77	34.24	30.68	24.57	19.34	12.03	5.96	3.78	RCP4.5
7.19	13.74	22.75	30.53	34.47	34.24	30.85	24.64	18.97	12.03	6.05	4.11	RCP8.5
10.04	10.66	24.86	27.49	34.33	32.27	33.53	25.61	20.79	14.22	5.63	5.91	SSP1-2.6
4.49	16.08	25.36	29.24	32.50	35.67	32.87	26.35	19.67	9.21	7.57	1.59	SSP2-4.5
7.55	12.29	23.04	30.75	37.34	36.73	29.94	22.05	18.94	12.71	6.60	6.56	SSP5-8.5

نسبت به دوره مشاهداتی پیش‌بینی شده‌است درحالی‌که بیشترین افزایش به میزان ۲ درجه سانتیگراد تحت سناریوی SSP1-2.6 می‌باشد. کمترین افزایش دمای حداکثر در ماه ژانویه و فوریه پیش‌بینی شده است که بیشترین کاهش دمای حداکثر تحت سناریوی SSP2-4.5 به میزان ۲/۵۷ درجه سانتیگراد پیش‌بینی شده است.

**تغییرات دمای حداکثر دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ (آینده دور)**  
در شکل ۱۱ و جدول ۷، تغییرات دمای حداکثر منطقه مطالعاتی دوره ۲۰۳۱-۲۰۵۰ نسبت به دوره مشاهداتی ارائه شده است. در دو سناریوی RCP2.6, RCP8.5 تغییرات دمایی جزئی به میزان ۰/۱ درجه سانتیگراد افزایش را نشان می‌دهند و در سناریوی RCP4.5 تغییراتی را نشان نمی‌دهند. افزایش دما تحت سناریوهای SSP در ماه‌های اکتبر، سپتامبر، ژوئن و می



شکل ۱۱- میانگین دمای حداکثر ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ تحت سناریوهای RCP و SSP  
Figure 11. Monthly mean of observed and simulated maximum temperature in 2081-2100 period under RCP And SSP scenarios

جدول ۸- میانگین دمای حداکثر ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ تحت سناریوهای SSP و RCP  
Table 8. Monthly mean of observed and simulated maximum temperature in 2081-2100 period under RCP And SSP scenarios

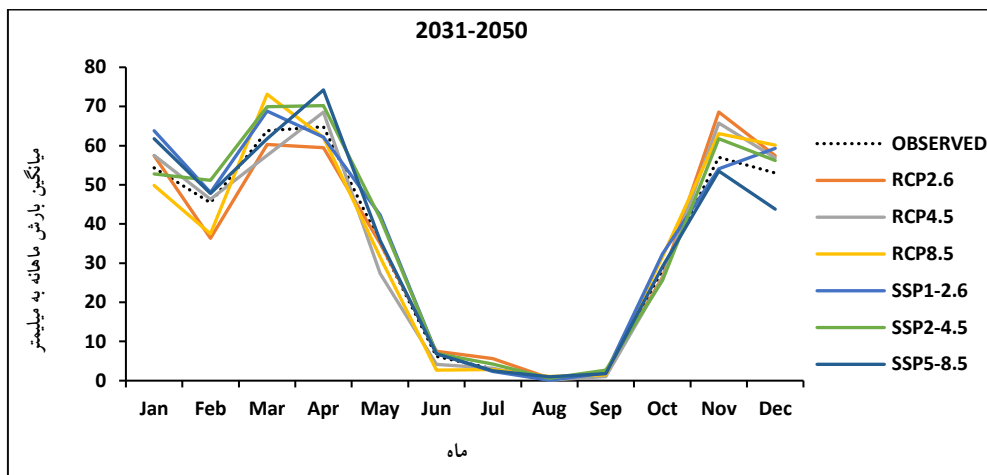
دسامبر Dec.	نوامبر Nov.	اکتبر Oct.	سپتامبر Sep.	اگوست Aug.	جولای Jul.	ژوئن Jun.	می May	آوریل Apr.	مارس Mar.	فوریه Feb.	ژانویه Jan.	Mean
7.11	13.28	21.73	29.06	33.07	32.59	29.34	23.30	18.01	11.26	5.78	3.88	مشاهداتی
7.16	13.23	21.82	29.04	33.11	32.60	29.35	23.42	18.07	11.33	5.77	3.87	RCP2.6
7.14	13.25	21.88	29.08	33.03	32.59	29.34	23.39	18.01	11.29	5.67	3.83	RCP4.5
7.08	13.22	21.78	29.02	33.01	32.65	29.36	23.42	18.08	11.35	5.83	3.84	RCP8.5
7.65	12.97	22.92	27.87	31.64	34.65	31.75	26.28	17.82	9.55	7.18	1.50	SSP1-2.6
4.93	13.57	22.18	30.64	33.05	31.89	30.30	24.75	18.65	12.34	3.37	1.28	SSP2-4.5
7.25	12.74	22.82	32.95	33.57	34.61	30.93	24.24	16.72	12.05	5.43	6.36	SSP5-8.5

می‌کند. هر سه سناریوی RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5 و RCP8.5 در ماه‌های نوامبر و دسامبر افزایش بارندگی را پیش‌بینی نموده‌اند. بیشترین افزایش بارندگی مربوط به ماه نوامبر سناریوی RCP2.6 ب‌میزان ۱۱/۵ میلی‌متر می‌باشد و بیشترین میزان کاهش بارش مربوط به ماه فوریه سناریوی RCP2.6 به میزان ۹/۱ میلی‌متر می‌باشد. همچنین بیشترین میزان بارش تحت

**تغییرات بارش دوره ۲۰۵۰-۲۰۳۱ (آینده نزدیک)**  
در شکل ۱۲ و جدول ۸، نتایج میزان اختلاف میانگین بارش ماهانه مشاهداتی و پیش‌نگری شده ارائه شده است. میزان تغییرات بارش دوره ۲۰۳۱-۲۰۵۰ نسبت به دوره پایه از روند یکنواختی برخوردار نمی‌باشد. مدل CanESM2 در برخی از ماه‌ها میزان بارش را بیشتر و در برخی ماه‌ها نیز کمتر پیش‌بینی

میزان بارش در این دوره نیز مربوط به ماه آگوست در تمامی سناریوها پیش‌بینی شده است که در این دوره کمترین میزان بارش در ماه آگوست و تحت سناریوی SSP1-2.6 به میزان ۰/۷ پیش‌بینی شده است.

سناریوهای SSP در ماه‌های فوریه، می، ژوئن و سپتامبر پیش‌بینی شده است ولی بیشترین افزایش در ماه آوریل و تحت سناریوی SSP5-8.5 به میزان ۹/۳۹ میلی‌متر می‌باشد. کمترین



شکل ۱۲- میانگین بارش ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دوره ۲۰۳۱ - ۲۰۵۰ تحت سناریوهای RCP و SSP

Figure 12. Monthly mean of observed and simulated precipitation in 2031-2050 period under RCP And SSP scenarios

جدول ۹- میانگین بارش ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دوره ۲۰۳۱-۲۰۵۰ تحت سناریوهای RCP و SSP

Table 9. Monthly mean of observed and simulated precipitation in 2031-2050 period under RCP And SSP scenarios

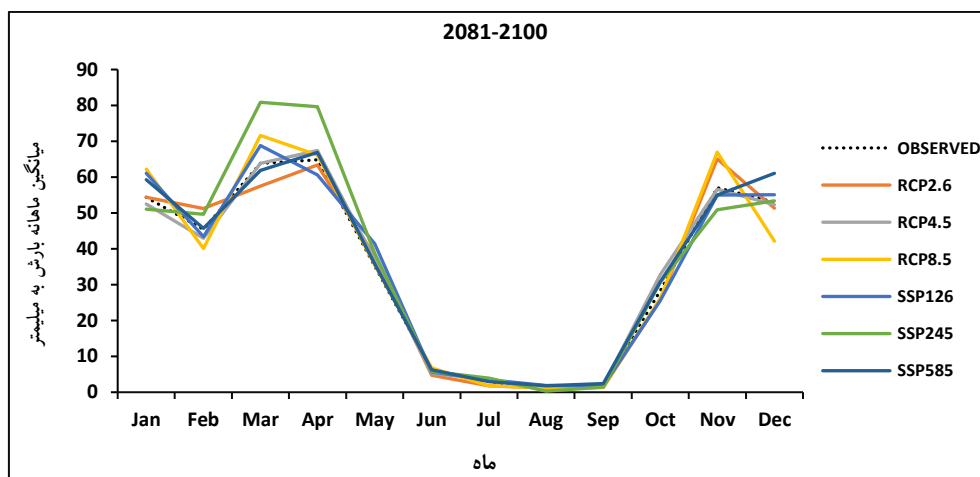
دسامبر Dec.	نوامبر Nov.	اکتبر Oct.	سپتامبر Sep.	آگوست Aug.	جولای Jul.	ژوئن Jun.	می May	اپریل Apr.	مارس Mar.	فوریه Feb.	ژانویه Jan.	مشاهداتی
53.04	57.04	28.26	1.65	0.81	3.00	6.21	35.17	64.83	63.79	45.45	54.33	RCP2.6
57.39	68.58	26.38	1.76	0.67	5.63	7.54	35.04	59.48	60.31	36.35	57.42	RCP4.5
56.87	65.78	25.95	1.02	0.14	3.17	4.18	27.37	68.54	57.55	46.32	57.49	RCP8.5
60.14	63.03	31.62	1.44	1.08	2.83	2.72	31.55	62.08	73.12	37.50	49.86	SSP1-2.6
59.28	54.08	32.38	1.95	-0.11	2.32	6.97	42.35	62.21	68.83	48.07	63.79	SSP2-4.5
56.21	61.79	25.53	2.71	0.62	4.21	6.96	41.52	70.22	69.94	51.17	52.81	SSP5-8.5
43.81	53.49	29.09	1.76	0.98	2.49	6.87	35.80	74.22	61.73	47.78	61.79	

میزان کاهش بارش مربوط به ماه دسامبر سناریوی RCP8.5 به میزان ۱۰/۹ میلی‌متر می‌باشد.

بیشترین میزان بارش تحت سناریوهای SSP در ماه‌های می و دسامبر نسبت به دوره مشاهداتی پیش‌بینی شده است درحالی‌که بیشترین افزایش در ماه مارس و تحت سناریوی SSP2-4.5 به میزان ۱۷/۰۷ میلی‌متر می‌باشد. کمترین میزان بارش در این دوره نیز مربوط به ماه نوامبر در تمامی سناریوها پیش‌بینی شده است ولی کمترین میزان بارش در ماه آگوست و تحت سناریوی SSP2-4.5 به میزان ۰/۵۰ میلی‌متر پیش‌بینی شده است.

### تغییرات بارش دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ (آینده دور)

در شکل ۱۳ و جدول ۹ نتایج میزان اختلاف میانگین بارش ماهانه مشاهداتی و پیش‌نگری شده ارائه شده است. میزان تغییرات بارش دوره ۲۰۸۱ - ۲۱۰۰ نیز نسبت به دوره پایه از روند یکنواختی برخوردار نمی‌باشد. مدل CanESM2 در برخی از ماه‌ها میزان بارش را بیشتر و در برخی ماه‌ها نیز کمتر پیش‌بینی می‌کند. هر سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 در ماه‌های ژانویه و می افزایش بارندگی را پیش‌بینی نموده‌اند. بیشترین افزایش بارندگی مربوط به ماه نوامبر سناریوی RCP8.5 به میزان ۹/۹ میلی‌متر می‌باشد و بیشترین



شکل ۱۳- میانگین بارش ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ تحت سناریوهای SSP و RCP

Figure 13. Monthly mean of observed and simulated precipitation in 2081-2100 period under RCP And SSP scenarios

جدول ۱۰- میانگین بارش ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ تحت سناریوهای SSP و RCP

Table 10. Monthly mean of observed and simulated precipitation in 2081-2100 period under RCP And SSP scenarios

دسامبر Dec.	نوامبر Nov.	اکتبر Oct.	سپتامبر Sep.	اگوست Aug.	جولای Jul.	ژوئن Jun.	می May	آوریل Apr.	مارس Mar.	فوریه Feb.	ژانویه Jan.	
53.04	57.04	28.26	1.65	0.81	3.00	6.21	35.17	64.83	63.79	45.45	54.33	مشاهداتی
51.32	65.07	25.82	1.33	1.19	1.78	4.74	37.91	63.41	57.53	51.24	54.36	RCP2.6
52.35	56.59	32.78	1.81	0.67	3.60	5.26	36.92	67.42	63.81	42.98	52.51	RCP4.5
42.17	66.95	26.18	1.33	1.24	1.83	6.80	35.52	66.14	71.61	40.09	62.22	RCP8.5
55.07	55.01	25.54	1.77	1.84	3.51	5.59	41.38	60.57	68.80	43.37	61.08	SSP1-2.6
53.39	50.85	30.64	1.43	0.31	3.92	5.82	38.72	79.62	80.86	49.66	51.04	SSP2-4.5
61.08	55.01	30.79	2.44	1.81	2.96	6.27	35.80	66.88	61.89	45.68	59.24	SSP5-8.5

### نتیجه‌گیری

مطابقت دارد. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته، افزایش میزان بارش و دمای حداقل برای دوره‌های آینده نزدیک و آینده دور و نیز افزایش دمای حداکثر در دوره آینده نزدیک و ثبات آن در آینده دور مشاهده شد. نتایج حاصل با یافته‌های اکثر پژوهشگران در ارتباط با افزایش دمای حداکثر و دمای حداقل و همچنین افزایش بارش مطابقت دارد. اما نتایج مطالعات فانگ و همکاران (Fung et al., 2011) و گودرزی و همکاران (Goodarzi et al., 2017) در ارتباط با کاهش بارش مطابقت ندارد. همچنین طی مطالعات محدود انجام شده با مدل CMIP6 روند افزایش دمای حداکثر برای دوره‌های آتی توسط زرین و داداشی رودباری (Zarrin et al., 2021) و روشنی و حمیدی (Roshani, & Hamidi, 2022) به اثبات رسیده است. با توجه به اهمیت پدیده تغییر اقلیم و به تبع آن، اثرات تغییر اقلیم در کشاورزی، محیط زیست و وضعیت منابع آبی و طبیعی لازم است کلیه مدیران، برنامه‌ریزان و مسئولین ذی‌ربط راهکارهای مناسب و لازم مانند تغییر الگوی کشت، استفاده از گونه‌های کشاورزی مقاوم به خشکی، ایجاد سیستم‌های پیش‌آگاهی و آموزش شیوه‌های سازگاری با تغییر اقلیم برای کشاورزان و نیز استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر را برای تعدیل و کاهش خسارات ناشی از تغییرات اقلیم اتخاذ نمایند.

در این پژوهش، به پیش‌نگری متغیرهای اقلیمی دما و بارش در دوره آتی بر پایه مدل CanESM2 و CanESM5 با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی SDSM در حوزه آبخیز گدارچای پرداخته شد. صحت و دقت مدل با استفاده از آماره‌های مجذور میانگین مربعات خطا و خطای مطلق صورت گرفت. با توجه به نتایج حاصل از ارزیابی دقت مدل SDSM در شبیه‌سازی بارش و دمای حداکثر و دمای حداقل مقادیر شبیه‌سازی شده و دوره پایه نشان داد که مدل SDSM در شبیه‌سازی متغیرهای بارش و دمای حداکثر و دمای حداقل از توانایی قابل‌قبولی برخوردار است. مرتضوی‌فر و همکاران (Mortazavifar et al., 2019)، نیز در مطالعات خود به نتیجه مذکور دست یافتند. سپس خروجی‌های مدل CanESM2 تحت سناریوهای RCP و خروجی‌های مدل CanESM5 تحت سناریوهای SSP توسط مدل SDSM ریزمقیاس‌نمایی شد. طبق نتایج به‌دست آمده، توانمندی مدل SDSM در این تحقیق به اثبات رسید، که این نتیجه با نتایج تحقیقات داوریانه و همکاران (Davaranpanah et al., 2021)، مرتضوی‌فر و همکاران (Mortazavifar et al., 2019) و محمدی و همکاران (Mohamadi et al., 2020)

### References

Baede, A. P., Ahlonsou, E., Ding, Y., & Schimel, D. S. (2001). The climate system: an overview. *Climate Change 2001: impacts, adaptation and vulnerability*, 87-98.

Change, I. C. (2007). *The Physical Science Basis. Final Report Working Group 1, Intergovernmental Panel on Climate Change, Assessment Report 4*, Geneva, Swiss (2007).

- Chen, H., & Sun, J. (2015). Assessing model performance of climate extremes in China: an intercomparison between CMIP5 and CMIP3. *Climatic Change*, 129, 197-211.
- Davarpanah, S., Erfanian, M., & Javan, K. (2021). Assessment of climate change impacts on drought and wet spells in Lake Urmia Basin. *Pure and Applied Geophysics*, 178(2), 545-563.
- 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*, 9(5), 1937-1958.
- Fallah Kalaki, M., Shokri Kuchak, V., & Ramezani Etedali, H. (2021). Simulating the effects of climate change on runoff using the CMIP5 and CMIP6 climate models by SWAT hydrological model (Case study: Tashk-Bakhtegan Basin). *Iran-Water Resources Research*, 17(3), 345-359.
- Fung, C. F., Lopez, A., & New, M. (Eds.). (2011). *Modelling the impact of climate change on water resources*. John Wiley & Sons.
- Goodarzi, M., Hoseini, M., & Parekar, M. (2017). Evaluation of Statistical downscaling method in simulation of climate change of Karkheh basin up to the Karkheh dam. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 10(35), 51-64.
- Goodarzi, M., Hosseini, S.A., & Mesgari, E. (2017). *Climate Models*. Azarlak Press, Zanjan, Iran, 272 pp (In Persian).
- Gulacha, M. M., & Mulungu, D. M. (2017). Generation of climate change scenarios for precipitation and temperature at local scales using SDSM in Wami-Ruvu River Basin Tanzania. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 100, 62-72.
- Gupta, V., Singh, V., & Jain, M. K. (2020). Assessment of precipitation extremes in India during the 21st century under SSP1-1.9 mitigation scenarios of CMIP6 GCMs. *Journal of Hydrology*, 590, 125422.
- Hasirchian, M., Zahabiyou, B., & Khazaei, M. R. (2019). Assessment of SDSM model performance to investigate the effect of climate change on precipitation and temperature. *Irrigation and Water Engineering*, 9(2), 108-120.
- Hemmati, L., & Miryaghoubzadeh, M. (2021). Forecasting of climate variables in future periods based on HadCM3 Data using statistical downscaling model (SDSM) in Agh-Chay Basin (West Azarbayjan). *Journal of Watershed Management Research*, 12(23), 95-107.
- Jolliffe, I. T., & Stephenson, D. B. (Eds.). (2012). *Forecast verification: a practitioner's guide in atmospheric science*. John Wiley & Sons.
- Kermani, R.M., & Tourin, N. (2012). Maximum· minimum and average temperature prediction using Nero fuzzy algorithm at Kerman station. *5th National Conference of Watershed Management and Soil and Water Resources Management*, 13 pp.
- Kim, J. W., Chang, J. T., Baker, N. L., Wilks, D. S., & Gates, W. L. (1984). The statistical problem of climate inversion: *Determination of the relationship between local and large-scale climate*. *Monthly weather review*, 112(10), 2069-2077.
- Kim, S., Kim, B. S., Jun, H., & Kim, H. S. (2014). Assessment of future water resources and water scarcity considering the factors of climate change and social–environmental change in Han River basin, Korea. *Stochastic environmental research and risk assessment*, 28, 1999-2014.
- Kundu, S., Khare, D., & Mondal, A. (2017). Interrelationship of rainfall, temperature and reference evapotranspiration trends and their net response to the climate change in Central India. *Theoretical and Applied Climatology*, 130, 879-900.
- Mahmood, R., & Babel, M. S. (2014). Future changes in extreme temperature events using the statistical downscaling model (SDSM) in the trans-boundary region of the Jhelum river basin. *Weather and Climate Extremes*, 5, 56-66.
- Mohamadi, S., Ghazanfari, S., & Abkar, A. (2020). Prediction of Rainfall under HadCM3 and CanESM2 Climate Change Models using Statistical Downscaling Model (Case Study: Tabriz Synoptic Station). *Journal of Watershed Management Research*, 11(22), 220-232.
- Mortazavifar, S. M., Mobin, M. H., Mokhtari, M. H., Ekrami, M., & Rfiei Sardoii, E. (2019). Evaluation of the impact of climate change on precipitation and temperature variables based on the RCP scenarios: A case study of the east of Mazandaran Province, Iran. *Journal of Meteorology and Atmospheric Science*, 1(4), 351-364.
- Noguer, M., Van der Linden, P. J., Dai, X., Maskell, K., & Johnson, C. A. (2001). Climate change 2001: the scientific basis. *Contribution of working group I to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change*.
- Roshani, A., & Hamidi, M. (2022). Forecasting the effects of climate change scenarios on temperature & precipitation based on CMIP6 models (Case study: Sari station). *Water and Irrigation Management*, 11(4), 781-795.
- Shaemi, A., & Habibinokhandan, M. (2009). Global warming and bio-ecological consequences. *Ferdowsi University of Mashhad publication, Mashhad, Iran*.
- Van Vuuren, D. P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., ... & Rose, S. K. (2011). The representative concentration pathways: an overview. *Climatic change*, 109, 5-31.
- Vermeer, M., & Rahmstorf, S. (2009). Global sea level linked to global temperature. *Proceedings of the national academy of sciences*, 106(51), 21527-21532.

- Wilby, R. L., & Harris, I. (2006). A framework for assessing uncertainties in climate change impacts: Low-flow scenarios for the River Thames, UK. *Water Resources Research*, 42(2).
- Wilby, R. L., Dawson, C. W., & Barrow, E. M. (2002). SDSM—a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *Environmental Modelling & Software*, 17(2), 145-157.
- Wilby, R.L. and W.C. Dawson. 2007. SDSM 4.2- A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts, SDSM manual version 4.2. *Environment Agency of England and Wales*. 94 pp.
- Ye, L., & Grimm, N. B. (2013). Modelling potential impacts of climate change on water and nitrate export from a mid-sized, semiarid watershed in the US Southwest. *Climatic change*, 120, 419-431.
- Zahabioun, B., Goudarzi, M. R., & Msahbovani, A. (2010). Application of SWAT model for estimating runoff in future periods affected by climate change. *Journal of Climatology*, 43-58.
- Zarrin, A., Dadashi-rodبارi, 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.
- Zhang, A., Zhang, C., Fu, G., Wang, B., Bao, Z., & Zheng, H. (2012). Assessments of impacts of climate change and human activities on runoff with SWAT for the Huifa River Basin, Northeast China. *Water resources management*, 26, 2199-2217.