

The effects of climate change on rainfall and temperature using SSP scenarios (case study: Fars province)

Parsa Haghighi^{1*} , Seyed Masoud Soleimanpour² , Abolfath Moradi³ 

¹ Master's, Department of Soil Conservation and Watershed Management Research, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran

² Associate Professor, Department of Soil Conservation and Watershed Management Research, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran

³ Assistant Professor, Department of Soil and Water Research, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran

Extended Abstract

Introduction

Climate is one of the most important ecological factors, and its changes are currently the most important threat to sustainable development. The phenomenon of climate change causes different processes in the atmosphere and on the Earth. Phenomena such as rising sea levels, changes in meteorological variables such as temperature and rainfall, impacts on surface currents, occurrence of floods and droughts, and changes in air currents and storms are only part of the effects of climate change. Therefore, it is necessary to model the future conditions of the climate to understand the future conditions. There are various methods for simulating and predicting climate variables in future periods under the influence of climate change, the most reliable of which is the use of General Circulation Model (GCM) data. GCM models are only able to simulate the data of the atmospheric general circulation model at large scales. Even if global climate models are set up with high technical power to predict the future, the need to downscale the results of these models at the station scale remains. Therefore, in this research, the effects of climate change on the threshold values of rainfall and temperature have been evaluated using SSP scenarios.

Materials and Methods

General circulation models (GCMs) can provide the best information about the response of the atmosphere to increasing greenhouse gas concentrations. In this research, the climatic data of three synoptic stations of Abadeh, Shiraz, and Lar, related to Fars province, were used. The data from three models, ACCESS-ESM1-5, CNRM-CM6-1, and MRI-ESM2-0, were used from the general circulation models of the sixth report. Daily rainfall and maximum temperature data from 1990 to 2017 were used. Using the statistical model LARS-WG and three scenarios, SSP126, SSP245, and SSP585, rainfall and maximum temperature have been downscaled. In this model, the process of generating artificial weather data is done in three parts: model calibration, model validation, and weather data generation. To evaluate the LARS-WG model, the coefficient of determination (R^2), root mean square error (RMSE) test statistics have been used. To investigate the relationship between rainfall and maximum temperature with different return periods, the Gumbel distribution was used. The appropriate distribution for maximum rainfall, temperature, and flood data is Gumbel's method; In this study, the distribution of rainfall and maximum temperature for different return periods is presented. In this method, the mean value and standard deviation of the data and the length of the data return period are considered to be the most important factors affecting in estimating the maximum values.

Results and Discussion

Validation of the LARS-WG model was done by comparison between observed data and generated data. To evaluate the efficiency of the model, error test criteria have been used. The results show that the LARS-WG model was able to estimate the maximum temperature and rainfall. The accuracy of the modeling in the maximum temperature parameter has been more appropriate than the rainfall parameter. The monthly rainfall changes of the near future period (2021-2040) compared to the base period (1990-2017) of the three ACCESS-ESM1-5, CNRM-CM6-1 and MRI-ESM2-0 models of Abadeh synoptic station showed the amount of rainfall in April, May, June, August, and September has had a decreasing trend compared to the base period. The amount of rainfall in January, February, and December has also increased compared to the base period. At Abadeh station, it shows an increase in temperature under all three models and scenarios in the near future. At the Shiraz synoptic station, rainfall in April, July, and September has decreased compared to the base period. The amount of rainfall in January, February, and March has also increased compared to the base period. The maximum temperature has also increased. At the Lar synoptic station, the rainfall in April, September, and October has decreased compared to the base period. The

amount of rainfall in January, February, and March has also increased compared to the base period. The maximum temperature has also increased. The Gumbel distribution output also showed that in all three stations, in a specific return period, rainfall and maximum temperature will increase compared to the base period. Examining the Gumbel distribution of rainfall values also shows an increase in rainfall in the specified return period in the ACCESS-ESM1-5 model.

Conclusion

The changes in the maximum temperature of the near future period (2021-2040) compared to the base period (1990-2017) were incremental in three stations and three models. In Abadeh synoptic station, the maximum temperature changes show an increase in the maximum temperature in the three scenarios SSP126, SSP245, and SSP585, respectively of 1.57, 1.59, and 1.63 °C, and the amount of rainfall in the spring and summer seasons is decreasing and winter rainfall is estimated to be increasing compared to the base period. In the Shiraz synoptic station, the maximum temperature shows an increase in the maximum temperature in the three scenarios SSP126, SSP245, and SSP585, 1.37, 1.50, and 1.48 °C, respectively, and in the ACCESS-ESM1-5 model, in all three scenarios, the amount It is estimated that the winter rainfall is decreasing and the amount of spring rainfall is increasing. The changes in the maximum temperature of the Lar synoptic station show an increase in the maximum temperature in the three scenarios, SSP126, SSP245, and SSP585, respectively, 1.23, 1.37, and 1.28 °C. In the CNRM-CM6-1 model, the winter rainfall of this station is estimated to be decreasing. Fall rainfall is also estimated to decrease in the MRI-ESM2-0 model in two scenarios, SSP126 and SSP585, but the ACCESS-ESM1-5 model has estimated an increase in the amount of rainfall in the Lar synoptic station in all seasons and scenarios. The Gumbel distribution output also showed that in all three stations, in a specific return period, rainfall and maximum temperature will increase compared to the base period. Therefore, extreme and heavy rainfall and the increase in the frequency of extreme events related to it, such as floods and droughts, are among the results of global warming.

Keywords: Fars province, Climate change, Gumbel distribution, Downscaling, SSP scenarios.

Article Type: Research Article

Conflicts of interest

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

Data Availability Statement:

We have no permission to release data and codes.

Authors' contribution

Parsa Haghighi: Writing, interpretation, and analysis of the results; **Seyyed Masoud Sulaimanpour:** Statistical analysis, review, and control of the results; **Abolfath Moradi:** Conceptualization, consultation, and review of sources.

*Corresponding Author, E-mail: p.haghighi@areeo.ac.ir

Citation: Haghighi, P., Soleimanpour, S. M., & Moradi, A. (2025). The effects of climate change on precipitation and temperature using SSP scenarios (case study: Fars province). *Water and Soil Management and Modeling*, 5(2), 199-218. doi:10.22098/mmws.2024.14691.1425

Received: 16 February 2024., Received in revised form: 08 April 2024, Accepted: 08 April 2024, Published online: 22 June 2025

Water and Soil Management and Modeling, Year 2025, Vol. 5, No. 2, pp. 199-218.

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)





اثرات تغییر اقلیم بر مقادیر حدی بارش و دما با استفاده از سناریوهای SSP (مطالعه موردی: استان فارس)

پارسا حقیقی^{۱*}، سید مسعود سلیمان پور^۲، ابوالفتح مرادی^۳

^۱ کارشناس، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

^۲ دانشیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

^۳ استادیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

چکیده

یکی از چالش‌های مهم پیش روی کشاورزی و منابع آب می‌توان به پدیده تغییر اقلیم و تأثیرات آن اشاره کرد. در این پژوهش با استفاده از داده‌های اقلیمی سه ایستگاه سینوپتیک آباد، شیراز و لار مربوط به استان فارس و داده‌های سه مدل ACCESS-ESM1-5، CNRM-CM6-1 و MRI-ESM2-0 با استفاده از مدل آماری LARS-WG و سه سناریوی SSP126، SSP245 و SSP585، بارش و دمای بیشینه ریزمقیاس شده‌اند. به منظور بررسی ارتباط بین مقادیر بارش و دمای بیشینه با دوره‌های بازگشت مختلف از توزیع گامبل استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل LARS-WG دقت مناسبی در ریزمقیاس نمایی پارامترهای اقلیمی بارش و دمای بیشینه استان فارس دارد. تغییرات دمای بیشینه دوره آینده نزدیک (۲۰۴۰-۲۰۲۱) نسبت به دوره پایه (۱۹۹۰-۲۰۱۷) در هر سه ایستگاه آباد، شیراز و لار و هر سه سناریوی SSP126، SSP245 و SSP585 نشان از افزایش دمای بیشینه دارد. نتایج مربوط به توزیع گامبل نیز نشان داد دمای بیشینه نسبت به دوره پایه در یک دوره بازگشت مشخص برای هر سه ایستگاه افزایش خواهد داشت؛ بنابراین، دماهای بیشینه در دوره‌های بازگشت کم‌تری اتفاق خواهد افتاد. میزان بارش ایستگاه سینوپتیک آباد در فصل‌های بهار و تابستان کاهشی و در فصل‌های پاییز و زمستان افزایشی برآورد شده است. در ایستگاه سینوپتیک شیراز نیز میزان بارش فصل پاییز به نسبت دوره پایه کاهشی برآورد شده است. در ایستگاه سینوپتیک لار میزان بارش در تمامی فصل‌ها و سناریوها افزایشی برآورد شده است. علاوه بر این، دوره‌های بازگشت بارش پیش‌بینی شده افزایش خواهد داشت که نشان از افزایش شدت بارش‌ها در چند دهه آینده است.

واژه‌های کلیدی: استان فارس، تغییر اقلیم، توزیع گامبل، ریزمقیاس نمایی، سناریوهای SSP.

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: p.haghighi@areeo.ac.ir

استناد: حقیقی، پارسا، سلیمان پور، سید مسعود، و مرادی، ابوالفتح (۱۴۰۴). اثرات تغییر اقلیم بر مقادیر حدی بارش و دما با استفاده از سناریوهای SSP (مطالعه موردی: استان فارس). *مدل سازی و مدیریت آب و خاک*، ۵(۲)، ۱۹۹-۲۱۸.
doi: 10.22098/mmws.2024.14691.1425



تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۲۷، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۱/۲۰، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۲۰، تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۴/۰۱
مدل سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۴، دوره ۵، شماره ۲، صفحه ۱۹۹ تا ۲۱۸.
ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی © نویسندگان

۱- مقدمه

پیش‌بینی فرآیندهای آب و هوایی ابزار مناسبی در اختیار مدیران بخش‌های مختلف قرار می‌دهد تا با در نظر گرفتن این پیش‌بینی‌ها، سیاست‌های آینده را در جهت بهینه نمودن هزینه‌ها، امکانات و بهره‌وری حداکثر، امکان مقابله با خشکسالی و کاهش خسارت ناشی از آن را طرح‌ریزی کنند (Nsubuga et al. 2014). از طرفی، در قرن گذشته، شواهد تغییر جهانی آب و هوایی در افزایش درجه حرارت، افزایش تغییرات بارش و کاهش مناطق یخچال و برف منعکس شده است. یکی از مهم‌ترین تغییراتی که در اثر وقوع پدیده تغییر اقلیم رخ خواهد داد، تغییر در دمای کره زمین است (Guobin et al. 2013). در مجموع، تغییر اقلیم به سبب افزایش گازهای گلخانه‌ای در چند دهه اخیر باعث برهم خوردن تعادل آب و هوایی کره زمین شده است. تأثیرات منفی این پدیده بر سامانه‌های مختلف مانند منابع آب، کشاورزی، صنعت و غیره موجب نگرانی‌هایی برای جوامع بشری شده است. از آنجایی که دما و بارش دو متغیر مهم در تعیین آب‌وهوای یک منطقه می‌باشند و تغییرات این دو متغیر نیز در سامانه‌های مختلف به‌طور مستقیم و غیرمستقیم تأثیرگذار هستند. به همین دلیل مطالعات در زمینه تغییر اقلیم عمدتاً روی این دو متغیر صورت گرفته است و نیاز به بررسی پیش‌بینی این متغیرها است. ارزیابی تغییر اقلیم در دهه‌های آینده با هدف برنامه‌ریزی محیطی مناسب در جهت سازگاری و کاهش اثرات آن امری کاملاً ضروری است. این تغییرات ممکن است باعث یک سری حوادث مکرر شدید، از جمله خشکسالی، باران شدید و درجه حرارت بالا شود که به دنبال آن دو افق هیدرولوژیکی خشک‌سالی و سیل را به وجود می‌آورد (Feyissa et al. 2018). مدل‌های عمومی گردش جو^۱ یکی از بهترین روش‌ها برای برآورد تأثیرات تغییر اقلیم به شمار می‌روند. این مدل‌ها نشان‌دهنده افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای سبب به وجود آمدن پیامدهای اقلیمی مهم در دنیا در مقیاس منطقه‌ای و جهانی هستند. این مدل‌ها برای شبیه‌سازی اقلیم کره زمین بسط داده شده‌اند که قادر هستند تغییرات آینده اقلیم کره زمین را پیش‌بینی نمایند (Asakere, 2002). بنابراین، در ادامه به تعدادی از مطالعات مختلف در زمینه اثرات تغییر اقلیم بر بارش و دما با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو پرداخته شده است. Jahangir et al. (2022) در مطالعه‌ای به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر میزان بارش و دما در استان فارس پرداختند. نتایج آن افزایش دمای کمینه و بیشینه در سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در سه ایستگاه آباده، شیراز و لار را نشان می‌دهد. دوره‌های بازگشت بارش احتمالی نیز

تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 افزایشی برآورد شده است. Hejazizadeh et al. (2022) در مطالعه‌ای به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر بارش‌های سیل‌آسا در استان تهران پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که شاخص‌های حدی دما در ایستگاه‌های آبدلی، شمیران و مهرآباد روندی افزایشی داشته و شاخص‌های بارشی در ایستگاه آبدلی روندی افزایشی داشته، اما بارش در ایستگاه‌های شمیران و مهرآباد روندی کاهشی داشته است. در شبیه‌سازی با مدل CanESM2، با تأکید سناریو انتشار RCP8.5، روند افزایشی دما برای دهه‌های آتی مشاهده می‌شود و بیش‌ترین افزایش میانگین دما متعلق به ایستگاه مهرآباد با ۱/۵ درصد افزایش نسبت به دوره مشاهداتی برای دوره زمانی ۲۰۲۱-۲۰۸۳ بود. با افزایش روند دما تغییراتی در نوع بارش رخ داده است که می‌تواند تحت تأثیر میکرو اقلیم شهری باشد. انتظار می‌رود رفتار بارش در دهه‌های آتی ضمن کاهش، نوسانات آن افزایش یابد. این افزایش محتمل فراوانی سیل و رخداد آن را تقویت می‌نماید. (Safshekan et al. 2017) در مطالعه‌ای به بررسی اثر تغییر اقلیم بر جریان ورودی به آبگیر سد درودزن در استان فارس طی دوره‌های آتی پرداختند، نتایج آن‌ها نشان داد میانگین تغییرات دما بین ۰/۱۳- تا ۰/۹۶ و ۰/۷۲ تا ۱/۸۵ درجه‌ی سانتی‌گراد به‌ترتیب برای دوره‌های ۲۰۳۸-۲۰۱۶ و ۲۰۶۱-۲۰۳۹ است. علاوه بر این، میانگین تغییرات بارندگی ماهانه‌ی شبیه‌سازی شده دوره‌های مذکور نسبت به دوره مشاهداتی (۲۰۱۰-۱۹۸۸) به‌ترتیب بین ۳/۵- تا ۱۸۲ و ۲۰/۷- تا ۱۲۳ درصد است. به‌طور کلی، میانگین حجم رواناب سالانه ورودی به آبگیر سد درودزن طی دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه به‌ترتیب به میزان ۸/۴ و ۲۸/۱۵ درصد کاهش خواهد یافت. در مطالعه‌ای نیز Kohensal et al. (2023) به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر میزان بارش در حوضه دریاچه‌های ارومیه در سناریوهای مختلف تغییر اقلیم پرداختند. از داده‌های مدل گردش عمومی جو GFDL-ESM2 برای شبیه‌سازی بارش دوره‌ی آتی در منطقه ارومیه استفاده کردند. نتایج نشان داد علی‌رغم اینکه الگوی بارش مشاهداتی شهر ارومیه بسیار نزدیک به مدل محاسباتی بوده و حتی در بعضی ماه‌های سال بارش مشاهداتی شهر ارومیه بیش‌تر گزارش شده با این حال باز شاهد ادامه‌ی روند خشکی دریاچه هستیم. در مطالعه‌ای Ebrahimi et al. (2023) به پیش‌نگری بارش‌های فرین در حوضه دریاچه ارومیه تحت شرایط تغییر اقلیم پرداختند. برای این منظور از داده‌های بارش پنج مدل از پروژه مقایسه مدل‌های جفت شده فاز ششم (CMIP6) تحت سه سناریوی SSP126، SSP370 و SSP585 طی دوره تاریخی (۱۹۹۰-۲۰۱۴) و آینده نزدیک (۲۰۲۶-۲۰۵۰) با تفکیک افقی ۰/۵ درجه

¹ General Circulation Model

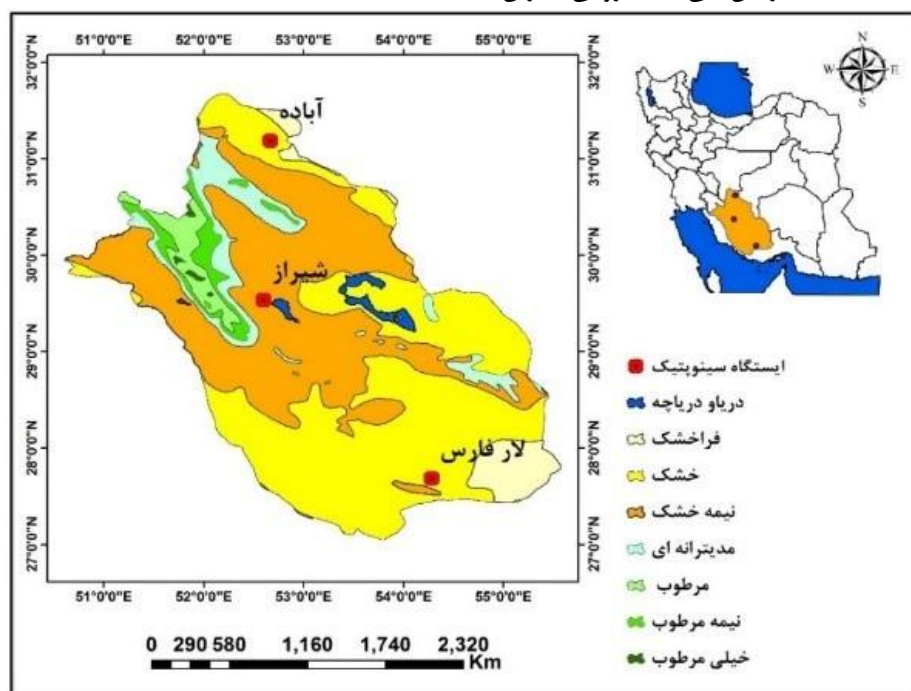
گزارش IPCC شامل مدل‌های جفت شده فاز ششم (CMIP6) تحت سه سناریوی SSP است. هدف از این پژوهش بررسی اثرات تغییر اقلیم طبق آخرین مدل‌های جفت شده فاز ششم، بر مقادیر حدی بارش و دما با استفاده از سناریوهای SSP در استان فارس است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

استان فارس در بخش جنوب ایران واقع شده است. از ۵۰ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۴۴ دقیقه طول شرقی و از ۲۷ درجه و ۱ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. آب‌وهوای در نقاط مختلف این استان به سه نوع کوهستانی، معتدل و گرم تقسیم می‌شود. میانگین سالیانه بارندگی بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر و ارتفاع متوسط آن از سطح دریا ۱۵۴۰ متر است. متوسط دما در سردترین ماه سال بین ۷- تا ۲- درجه‌ی سانتی‌گراد و گرم‌ترین ماه سال بین ۳۵ تا ۴۰ درجه‌ی سانتی‌گراد در نوسان است (Sharifi et al. 2023). در این مطالعه به منظور بررسی اثرات تغییر اقلیم استان فارس از اطلاعات سه ایستگاه سینوپتیک آباد، شیراز و لار استفاده شده است. انتخاب این سه ایستگاه با توجه به شرایط جغرافیایی متفاوت و کفایت داده‌ها صورت گرفته است. در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی سه ایستگاه نشان داده شده است.

قوسی استفاده کردند. یافته‌ها نشان داد، حوضه دریاچه ارومیه روزهای همراه با بارش سنگین و خیلی سنگین بیش‌تری را در آینده نزدیک تجربه می‌کند. شدت بارش روزانه در بخش‌های بزرگی از حوضه، بخصوص در مناطق غربی و شمالی، روند افزایشی خواهد داشت. به‌طور کلی، ریسک ناشی از بارش‌های سیل‌آسا در حوضه دریاچه ارومیه در دوره آینده نزدیک بسیار محتمل است. در مطالعه‌ای (Roshani and Hamidi, 2022) به پیش‌بینی اثرات سناریوهای تغییر اقلیم بر دما و بارش بر اساس مدل‌های CMIP6 در ایستگاه ساری پرداختند. در این مطالعه سه مدل ACCESS-CM2، HadGEM3-GC31-LL و NESM3 از مجموعه مدل‌های برون‌داد اقلیمی سری ششم (CMIP6) صحت‌سنجی و با استفاده از سناریوهای انتشار که به اسم خط سیر اجتماعی-اقتصادی (SSP) نام‌گذاری شده است، به شبیه‌سازی پارامترهای آب و هوایی ایستگاه ساری پرداختند. نتایج به‌طور کلی نشان داد که میانگین تغییرات دما از ۱/۱۶ تا ۴/۰۹ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت و میانگین مقدار بارش سالانه نیز در حدود ۲۴ درصد تا ۳۶ درصد افزایش می‌یابد. (Pholkern et al. 2018) در بررسی اثرات بالقوه تغییرات آب و هوایی در حوزه آبخیز Huai Luang در شمال شرقی تایلند از دو مدل SEACAM و CanESM2 به همراه شش سناریوی اقلیمی استفاده نمودند. نتایج نشان داد که ظرف ۳۰ سال آینده بارش به‌ترتیب به میزان ۲۰/۸۵ و ۱۸/۳۵ درصد در مدل‌های SEACAM و CanESM2 افزایش می‌یابد. خروجی آخرین



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی سه ایستگاه سینوپتیک

Figure 1- Geographical location of the three synoptic stations

۲-۲-۱- اطلاعات مورد استفاده

در این پژوهش از آمار و اطلاعات روزانه مربوط به سه ایستگاه سینوپتیک آباد، شیراز و لار استفاده شد و مقادیر بارش و دمای بیشینه طبق جدیدترین گزارش IPCC ریزمقیاس شده است. به منظور ریزمقیاس نمایی پارامترهای اقلیمی در استان با در نظر گرفتن کفایت داده ها، سه ایستگاه سینوپتیک آباد، شیراز و لار با دوره پایه مشترک (۲۰۱۷-۱۹۹۰) در نظر گرفته شد. متوسط بارش بلندمدت ایستگاه سینوپتیک شیراز، لار و آباد به ترتیب برابر است با ۳۳۲، ۲۰۲/۲۶ و ۱۳۶/۴۹ میلی متر است. از آنجا که ریزمقیاس نمایی پارامترهای اقلیمی با استفاده از مدل LARS-WG نیاز به اطلاعات روزانه با دوره بلندمدت (حداقل ۲۰ سال) است در این مطالعه نیز انتخاب سه ایستگاه با در نظر گرفتن کفایت داده ها انجام شده است. در جدول ۱ موقعیت جغرافیایی سه ایستگاه مورد بررسی ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات سه ایستگاه سینوپتیک مورد مطالعه

Latitude - North (N) (degrees)	Longitude - East (E) (degrees)	Height (m)	Station name
31.20	52.62	2030	Abadeh
29.56	52.60	1488	Shiraz
27.67	54.37	792	Lar

۲-۲-۲- مدل های گردش عمومی گزارش ششم و سناریوهای انتشار SSP

مدل های گردش عمومی بهترین اطلاعات درباره پاسخ جو به افزایش تمرکز گازهای گلخانه ای را می توانند فراهم کنند. این مدل ها وابسته به زمان و دارای شبیه سازی های عددی سه بعدی شامل حرکات جوی، تبدلات گرمایی و اندرکنش های یخ، اقیانوس و خشکی است. به منظور تصویرسازی تغییرات اقلیم در دوره های آتی مدل های سه بعدی جفت شده گردش عمومی جو اقیانوس از معتبرترین ابزار هستند (Chen et al. 2015). با توجه به وابستگی اثرات تغییر اقلیم به نتایج مدل های اقلیمی دستیابی به نتایج معتبرتر در دوره آتی با استفاده از مدل های اقلیمی ارائه شده در گزارش ششم به سبب دقت بیش تر امکان پذیر می شود (Eyring et al. 2016). محدودیت ها و نقص های مدل های گزارش پنجم (CMIP5) از جمله درک ضعیف واداشت تابشی در مدل های اقلیمی همراه با خطاهای سامان مند مشکل تعیین منافع و هزینه های هر یک از عملیات کاهشی به طور جداگانه و عدم تمرکز روی علوم خاص در مدل سازی (Stouffer et al. 2017) منجر به شکل گیری سری مدل های جفت شده درون مقایسه ای (CMIP6)^۱ در گزارش ششم شد (O'Neill et al. 2017). نسخه نهایی طراحی مدل های CMIP6 توسط دو کارگروه CMIP^۲ و کارگروه مدل های جفت شده WGCM^۳ در اکتبر سال ۲۰۱۴ نهایی شد.

سناریوهای گزارش ششم به صورت ترکیبی از خط سیرهای اقتصادی اجتماعی (SSP^۴) و (توسعه پایدار SSP1، توسعه بر اساس سیاست های میانی SSP2، رقابت منطقه ای SSP3، نابرابری SSP4 و توسعه سوخت های فسیلی SSP5) نیز خط سیرهای غلظت گازهای گلخانه ای (سطوح واداشت مختلف) تولید می شوند، به طوری که امکان تحلیل بازخورد میان تغییرات اقلیمی و عوامل اجتماعی اقتصادی نظیر رشد جهانی جمعیت، توسعه اقتصادی و پیشرفت های فناوری را فراهم می آورند. سناریوهای جدید پایه SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 به ترتیب سناریوهای به روزرسانی شده سطوح واداشت RCP2.6 RCP4.5 و RCP8.5 گزارش پنجم هستند. سناریوی SSP1-2.6 پایین ترین میزان واداشت تابشی را نشان می دهد و پایداری کاربری اراضی در زمان آینده یکی از خصوصیات اصلی این سناریو است. سناریوی SSP2-4.5 دنیایی با توسعه اقتصادی اجتماعی در شرایط معمول را با آسیب پذیری و سطح واداشت تابشی متوسط در نظر می گیرد. سناریوی SSP5-8.5 نیز حد بالای واداشت تابشی را ارائه می دهد که در آن پیشرفت با استفاده از سوخت فسیلی و الگوی مصرف بالای انرژی همراه است. میزان واداشت انرژی تابشی خورشیدی سناریوهای SSP در سطوح ۲/۶، ۴/۵، ۶ و ۸/۵ وات بر مترمربع است. میزان واداشت تابشی درواقع همان اختلاف بین انرژی ورودی و خروجی از جو کره زمین است. در حال حاضر SSP ها شامل هفت سناریو SSP126، SSP245، SSP119، SSP585، SSP460، SSP434 و SSP370 است (Iranshahi et al. 2023). در این مطالعه از سه سناریوی SSP126، SSP245 و SSP585 استفاده شده است. در جدول ۲ مشخصات مدل های CMIP6 مورد استفاده در این مطالعه و در شکل ۲ میزان واداشت تابشی و نوع سیاست مقابله ای در سه سناریوی مورد استفاده در این مطالعه ارائه شده است. لازم به ذکر است انتخاب سه مدل با توجه به دسترسی به اطلاعات این مدل ها در نرم افزار LARS-WG7 است.

جدول ۲- مشخصات مدل های CMIP6 مورد استفاده در پژوهش

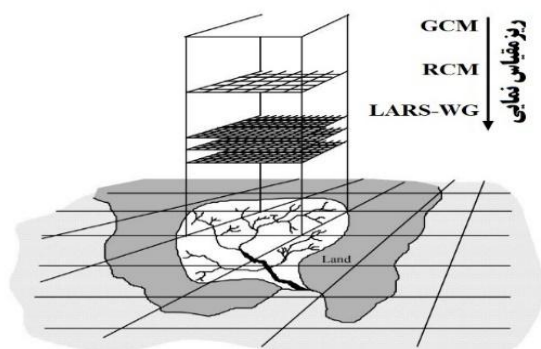
Model Spatial Accuracy (degrees)	Name of Research Center	Country of Developer	Model
1.25*1.875	National Climate and Water Council of Australia	Australia	ACCESS-ESM1-5
1.4*1.4	National Meteorological Research Center	France	CNRM-CM6-1

³ Working Group of Couple Modeling

⁴ The Shared Socioeconomic Pathways

¹ Coupled Model Inter Comparison Phase 6

² Coupled Model Inter Comparison Project Phase



شکل ۳- ریزمقیاس نمای مدل‌های گردش عمومی
Figure 3- Downscaling general circulation models

از مهم‌ترین روش آماری موجود برای مطالعه اثرات تغییر اقلیم می‌توان به مدل‌های مولد داده‌های هواشناسی^۲ اشاره کرد. این مدل‌ها ابزاری برای پیش‌بینی وضع هوا یا اقلیم نیستند، بلکه برای بررسی اثرات و ارزیابی اقلیم دهه‌های آتی طراحی شده‌اند. همچنین، این مدل‌ها قادر به تولید داده‌های روزانه از خروجی ماهانه مدل‌های گردش عمومی جو هستند. با داشتن داده‌های روزانه می‌توان مطالعات مفیدی روی میزان و دوره‌های بازگشت بارش‌های سیل‌آسا و سایر مطالعات مرتبط با مباحث هیدرولوژی نیز کشاورزی را انجام داد. در این پروژه از مدل آماری LARS-WG استفاده شده است. یک موسسه تحقیقات کشاورزی با عنوان LARS در انگلیس تدوین این مدل را به‌عهده داشته است. در نسخه اولیه این مدل، برای هر ایستگاه بایستی به‌طور مجزا اجرا می‌شد، اما نسخه‌های جدیدتر آن می‌توانند پهنه‌بندی کل منطقه یا کشور مورد مطالعه را نیز انجام دهند. در این مدل فرآیند تولید داده‌های مصنوعی آب و هوایی در سه بخش انجام می‌گیرد:

۱- واسنجی مدل^۳: در این بخش داده‌های آب و هوایی دیدبانی شده جهت تعیین خصوصیات آماری‌شان تحلیل می‌شوند. صحت سنجی مدل^۴: در این قسمت خصوصیات آماری داده‌های دیدبانی و مصنوعی تولیدشده توسط مدل جهت تعیین اینکه آیا تفاوت‌های آماری قابل توجهی بین این دو گروه از داده‌ها وجود دارد یا نه مورد تحلیل قرار می‌گیرد (Semenov et al. 2002).

تولید داده‌های آب‌وهوایی^۵: داده‌های آب و هوایی مصنوعی با استفاده از فایل‌های به‌دست‌آمده از داده‌های آب و هوایی دوره دیدبانی شده تولید می‌شوند، که دارای خصوصیات آماری مشابه با دوره دیدبانی است. به‌منظور ارزیابی مدل از آماره‌های آزمون ضریب تعیین^۶ (R^2) میانگین مربعات خطا^۷ (RMSE) استفاده شده

	1.12*1.12	Meteorological Research Institute	Japan	MRI- ESM2-0
	SSP1 (پایداری)	SSP2 (سیاست‌های میانی)	SSP5 (توسعه با سوخت فسیلی)	
وادیشت تابشی (W/m^2)	8.5		SSP585	
4.5		SSP245		
2.6	SSP126			

شکل ۲- سناریوهای SSP و میزان وادیشت تابشی (O'Neill et al. 2017)

Figure 2- SSP scenarios and the amount of radiative forcing (O'Neill et al. 2017)

۳-۲-۲- ریزمقیاس نمای مدل‌های گردش عمومی جو

در حال حاضر خروجی مدل‌های جهانی اقلیم (GCM) دقت مکانی و زمانی کمی دارند. عمل ریزمقیاس نمایی به‌منظور تبدیل شبکه‌بندی‌های بزرگ مدل‌های اقلیمی به سطوح کوچک‌تر در حد محلی و ناحیه‌ای توسعه و کاربرد یافته‌اند و به دو دسته تقسیم می‌شوند: الف) روش‌های دینامیکی که شامل مدل گردش منطقه‌ای^۱ (RCM) است. ب) روش‌های آماری (IPCC, 2010). در روش‌های آماری، روابط تجربی بین متغیرهای مستقل (پیش‌گوها) و متغیرهای وابسته (پیش‌بینی شونده) مشخص می‌گردند و از این روابط جهت پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی تحت شرایط تغییر اقلیم استفاده می‌شود. علی‌رغم مزیت مدل‌های دینامیکی در بررسی ویژگی‌های جوی ریزمقیاس مانند بارش‌های کوهستانی، کاربرد این مدل‌ها به‌دلیل نیاز آن‌ها به محاسبات و هزینه‌بری زیاد محدود شده است. در مقابل، روش‌های آماری همانند روش‌های دینامیکی توانمند، اما کم هزینه هستند، لذا به‌طور گسترده‌ای به کار می‌روند. نقطه ضعف این مدل‌ها، نیاز آن‌ها به سری‌های آماری درازمدت متغیر پیش‌بینی شونده است (Semenov et al. 2002). در شکل ۳ ریزمقیاس نمای مدل‌های گردش عمومی جو در سطوح مختلف را نشان می‌دهد.

⁵ Generator

⁶ Coefficient of Determination

⁷ Root Mean of Square Error

¹ Regional Climate Model

² Weather Generator (WG)

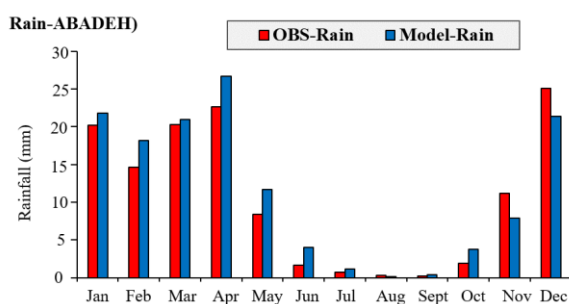
³ Site analysis

⁴ Q test

محتمل حائز اهمیت است. زیرا وقوع سیلاب ها و شرایط حاد هیدرولوژیکی در اثر بارش های حداکثر متناسب با دوره های بازگشت متفاوت بوده و این سیلاب ها در بیش تر مواقع ناشی از ریزش بارش های حداکثر جوی باشند. در برآورد چنین بارش هایی عواملی مانند طول دوره آماری و روابط همبسته بین عناصر گوناگون نقش بسزایی ایفا می کند به نحوی که هرچه طول سری زمانی بارش بیش تر باشد از یک سو می توان مقادیر بارش را جهت دوره های بازگشت طولانی تر پیش بینی نمود گامبل به عنوان یک مدل آماری که عناصر بیش تری را جهت پیش بینی و تحلیل داده ها استفاده می کند از میزان دقت بیش تر برخوردار است (Wilby and Dawson, 2004). در این پژوهش نیز با توجه به خروجی سناریو و مدل های مختلف مقادیر حدی بارش و دمای بیشینه سه ایستگاه آباده، شیراز و لار با استفاده از توزیع گامبل مورد بررسی قرار گرفت.

۳- نتایج و بحث

در این مطالعه اعتبارسنجی مدل LARS-WG از طریق مقایسه بین داده های آماری مشاهداتی و داده های مدل سازی شده انجام شد. دوره مشترک (۱۹۹۰-۲۰۱۷) جهت مقایسه بین مقادیر مشاهداتی دما و بارش و مقادیر مدل سازی تعیین شد. به منظور ارزیابی مدل از معیارهای آزمون خطا استفاده شده است. مقایسه مقادیر مدل سازی و مشاهداتی برای سه ایستگاه سینوپتیک آباده، شیراز و لار برای پارامترهای دمای بیشینه و بارش در شکل ۴ ارائه شده است. ضریب تعیین (R^2) پارامتر دمای بیشینه برای سه ایستگاه آباده، شیراز و لار به ترتیب ۰/۹۶، ۰/۹۸ و ۰/۹۶ برآورد شده است که نشان از دقت مناسب مدل در ریزمقیاس نمایی دمای بیشینه دارد. ضریب تعیین (R^2) پارامتر بارش نیز برای سه ایستگاه آباده، شیراز و لار به ترتیب ۰/۶۹، ۰/۶۸ و ۰/۶۱ برآورد شده است که نشان می دهد میزان دقت مدل سازی در پارامتر دمای بیشینه به نسبت بارش مناسب تر بوده است.



است، که روابط مربوط در ادامه ارائه شده است (Hassan et al., 2014).

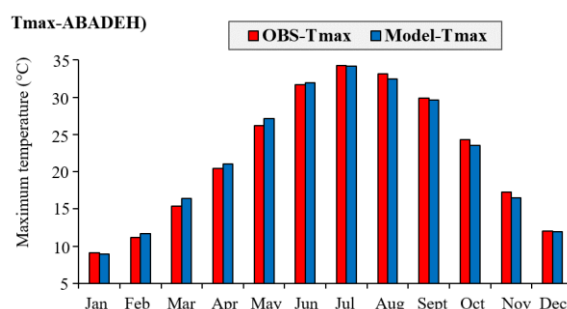
$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})]^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}} \quad (2)$$

که در آن، X_i و Y_i به ترتیب i امین داده واقعی (مشاهده شده) و شبیه سازی شده توسط مدل، $\bar{X}$ و $\bar{Y}$ میانگین کل داده های X_i و Y_i در جامعه آماری و n تعداد کل نمونه های مورد ارزیابی می باشند. پس از اطمینان از صحت نتایج ارزیابی و قابلیت مدل LARS-WG در شبیه سازی داده های مشاهداتی، اقدام به شبیه سازی داده های اقلیمی با سه مدل ACCESS-ESM1-5، CNRM-CMR1 و MRI-ESM2-0 و تحت سه سناریوی SSP126، SSP245 و SSP585 برای دوره آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۴۰) شد.

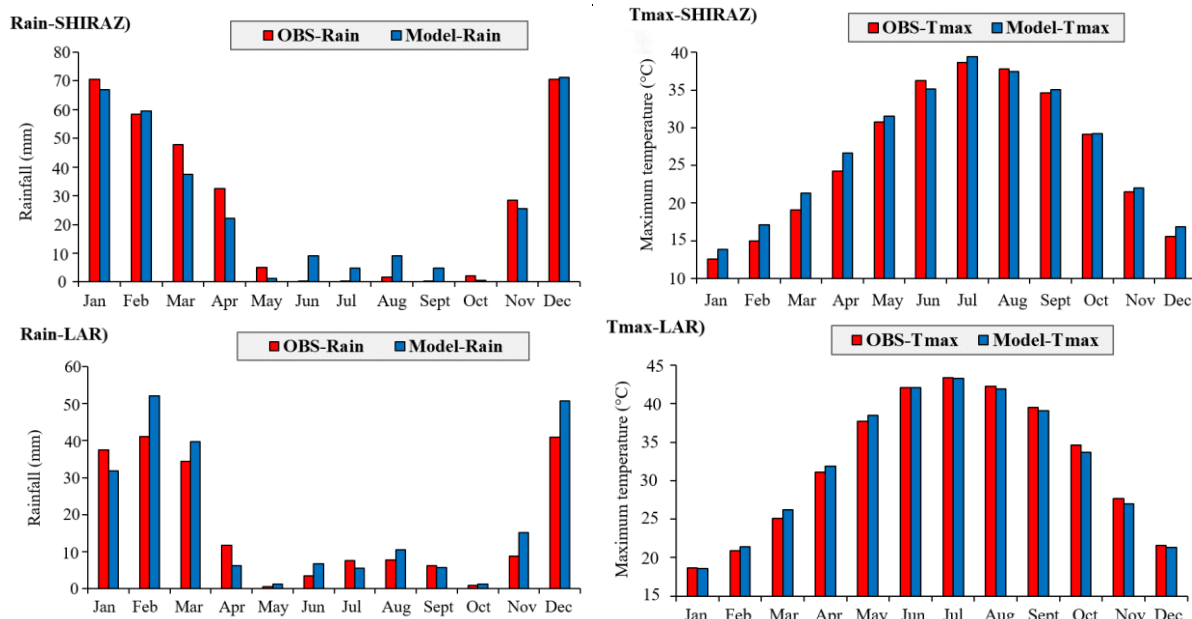
۴-۲-۲- توزیع گامبل

یکی از مراحل اساسی در فرآیندهای توزیع فراوانی، بررسی تطابق نوع توزیع با داده های مشاهداتی است. استفاده از آزمون های نیکویی برازش^۱ برای تعیین نوع توزیع احتمالی اصلی انجام می گیرد. در این مطالعه نیز از آزمون کولموگروف اسمیرنوف^۲ به منظور تأیید نوع توزیع مناسب داده ها استفاده شد. پس از انجام آزمون نیکویی برازش با استفاده از آزمون کولموگروف اسمیرنوف، بارش و دمای حداکثر با دوره های بازگشت مختلف با استفاده از توزیع گامبل محاسبه شد. توزیع مناسب برای داده های حداکثر بارش، دما و سیلاب توزیع مقادیر نهایی گامبل است، که در این مطالعه توزیع بارش و دمای حداکثر برای دوره های بازگشت متفاوت ارائه شده است. در این روش، مقدار میانگین و انحراف معیار داده ها و طول دوره های بازگشت داده ها از مهم ترین عوامل مؤثر در برآورد مقادیر حداکثر محسوب می شوند. در برنامه ریزی منابع آب طول دوره های بازگشت برای رخداد یک حداکثر بارش



¹ Goodness of fit

² Kolmogorov-Smirnov



شکل ۴- مقادیر مدل سازی و مشاهداتی بارش (OBS-Rain) و دمای بیشینه (OBS-Tmax) سه ایستگاه آباد، شیراز و لار- دوره (۱۹۹۰-۲۰۱۷)

Figure 4- Modeling and observational values of rainfall (OBS-Rain) and maximum temperature (OBS-Tmax) of the Abadeh, Shiraz, and Lar stations (1990-2017)

پایه (۱۹۹۰-۲۰۱۷) محاسبه شد، که در ادامه به تفکیک ایستگاه سینوپتیک ارائه شده است.

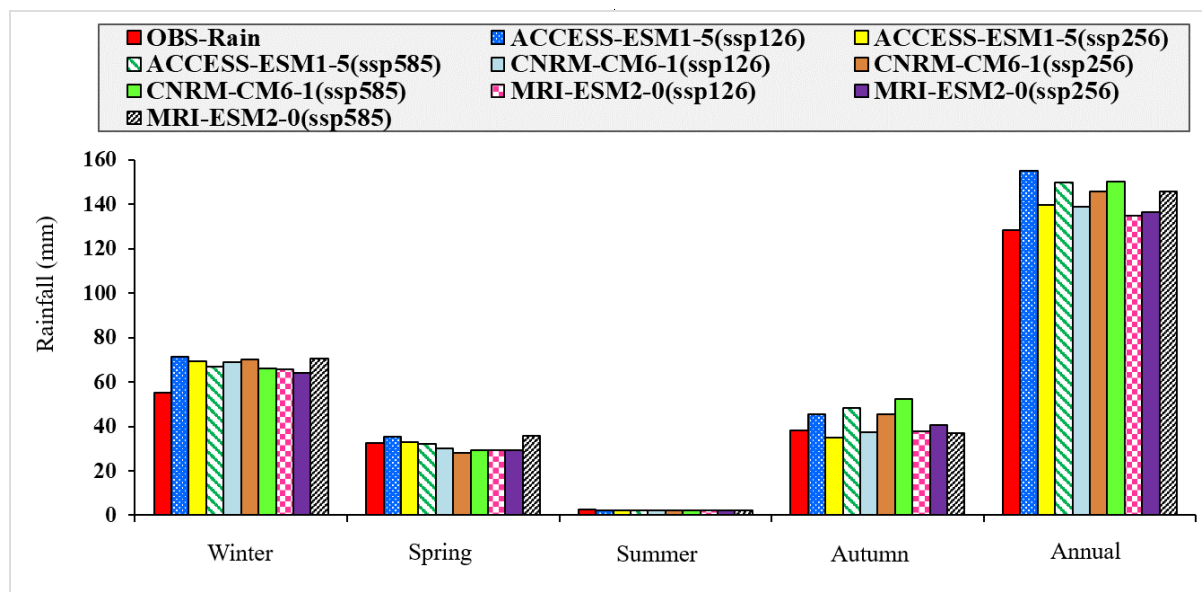
۱-۳- تغییرات اقلیمی آینده نزدیک در ایستگاه سینوپتیک آباد
تغییرات فصلی بارش دوره آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۴۰) نسبت به دوره پایه (۱۹۹۰-۲۰۱۷) سه مدل ACCESS-ESM1-5، MRI-ESM2-0 و CNRM-CM6-1 ایستگاه سینوپتیک آباد در شکل ۵ ارائه شده است. پیش‌بینی متوسط سه مدل کاهش میزان بارش در فصل‌های تابستان و بهار را نشان می‌دهد. همچنین، نتایج تحلیل ماهانه نشان داد میزان بارش در ماه‌های آوریل، می، ژوئن، اوت و سپتامبر نسبت به دوره پایه روندی کاهشی داشته است. میزان بارش ماه‌های ژانویه، فوریه و دسامبر نیز نسبت به دوره پایه روندی افزایشی داشته است. بیش‌ترین بارش ماهانه برآورد شده مربوط به ماه دسامبر تحت مدل ACCESS-ESM1-5 و سناریوی SPP126 با میزان ۳۴/۳۴ میلی‌متر بوده است و نیز کم‌ترین بارش برآورد شده مربوط به مدل MRI-ESM2-0 و سناریوی SSP585 در ماه اوت با میزان ۰/۱ میلی‌متر است. سناریوی RCP126 مربوط به مدل MRI-ESM2-0 بیش‌ترین تطابق را با داده‌های بارش دوره پایه ایستگاه سینوپتیک آباد داشته است.

نتایج مربوط به آمارهای واسنجی جهت ارزیابی مدل LARS-WG8 برای سه ایستگاه آباد، شیراز و لار در جدول ۳ ارائه شده است. با نگاه اجمالی می‌توان برداشت نمود که مدل LARS-WG با دقت قابل قبول پارامترهای بارش، دمای بیشینه را مدل کرده است. آمارهای خطا نشان داد، مدل LARS-WG دقت بالاتری در باز تولید داده‌های دمای بیشینه نسبت به بارش داشته است.

جدول ۳- مقادیر آمارهای واسنجی ارزیابی مدل LARS-WG8
Table 3- The values of the LARS-WG6 model evaluation statistics

Lar		Shiraz		Abadeh		Synoptic station
RMS E	R ²	RMS E	R ²	RMS E	R ²	Variable
3.11	0.61	3.04	0.68	2.27	0.69	Rainfall
0.41	0.96	0.38	0.96	0.31	0.98	Maximum temperature

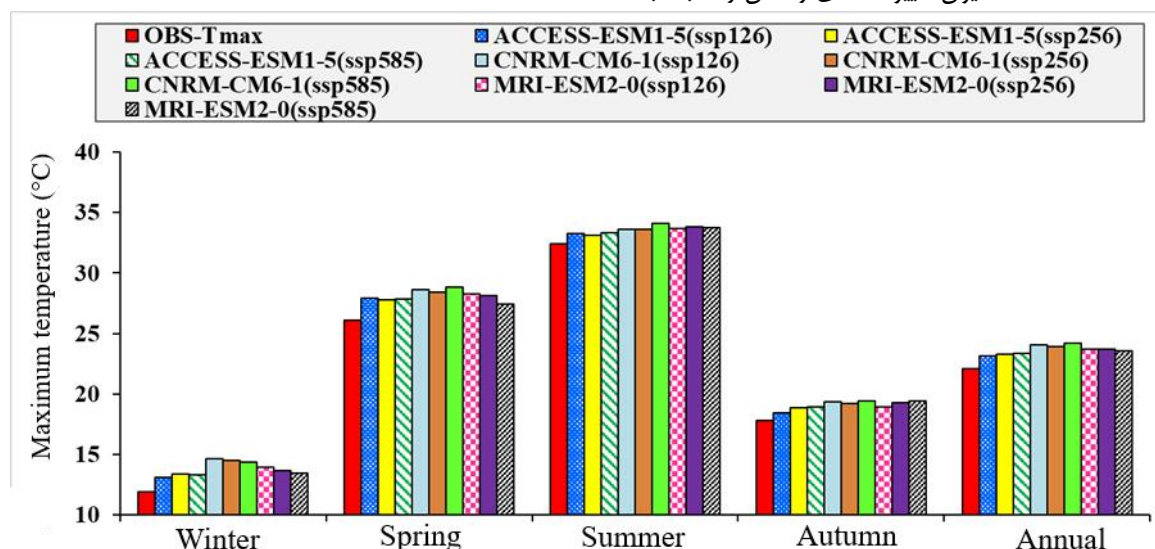
پس از اعتبارسنجی مدل LARS-WG برای سه سناریوی SSP126، SSP245 و SSP585 خروجی‌های مربوط به دمای بیشینه و بارش به صورت روزانه استخراج شد و تغییرات ماهانه و فصلی پارامترهای اقلیمی برای دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ نسبت به دوره



شکل ۵- تغییرات فصلی بارش دوره آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۴۰) نسبت به دوره پایه (۱۹۹۰-۲۰۱۷) ایستگاه سینوپتیک آباده
Figure 5- Seasonal changes of rainfall in the near future period (2021-2040) compared to the base period (1990-2017) of the Abadeh synoptic station

سایر فصل‌ها بیش‌تر برآورد کرده‌اند. بیش‌ترین دمای بیشینه برآورد شده مربوط به مدل CNRM-CM6-1 و سناریوی SSP585 با میزان ۳۶/۰۸ درجه سانتی‌گراد در ماه ژوئیه است. مدل ACCESS-ESM1-5 و سناریوی SSP126 بیش‌ترین تطابق را با داده‌های مشاهداتی دمای بیشینه ایستگاه سینوپتیک آباده داشته‌اند.

تغییرات فصلی دمای بیشینه دوره آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۴۰) نسبت به دوره پایه (۱۹۹۰-۲۰۱۷) سه مدل ACCESS-ESM1-5، CNRM-CM6-1 و MRI-ESM2-0 تحت سه سناریوی SSP126، SSP245 و SSP585 ایستگاه سینوپتیک آباده در شکل ۶ ارائه شده است. نتایج نشان از افزایش دما تحت هر سه مدل و سناریو در دوره آینده نزدیک می‌دهد. دو مدل ACCESS-ESM1-5 و CNRM-CM6-1 میزان تغییرات دمای زمستان را نسبت به



شکل ۶- تغییرات فصلی دمای بیشینه دوره آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۴۰) نسبت به دوره پایه (۱۹۹۰-۲۰۱۷) ایستگاه سینوپتیک آباده
Figure 6- Seasonal changes of the maximum temperature in the near future period (2021-2040) compared to the base period (1990-2017) of Abadeh synoptic station

سه سناریوی SSP126، SSP245 و SSP585 ایستگاه سینوپتیک و MRI-ESM2-0 و CNRM-CM6-1

تغییرات فصلی و سالانه بارش و دمای بیشینه دوره آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۴۰) نسبت به دوره پایه (۱۹۹۰-۲۰۱۷) سه مدل

نسبت به دوره پایه نشان از افزایش دما تحت هر سه مدل و سه سناریو در تمامی فصل‌ها می‌دهد. بیش‌ترین میزان افزایش دمای بیشینه مربوط به مدل CNRM-CM6-1 و سناریوی SSP585 در فصل بهار به میزان ۳/۱۹ درجه سانتی‌گراد است. نتایج تغییرات دمای بیشینه سالیانه متوسط سه مدل نشان از افزایش دمای بیشینه در سه سناریوی SSP126، SSP245 و SSP585 به‌ترتیب ۱/۵۷، ۱/۵۹ و ۱/۶۳ درجه سانتی‌گراد است.

آبادیه در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج نشان از کاهش بارش‌های بهار و تابستان ایستگاه سینوپتیک آبادیه نسبت به دوره پایه است. بیش‌ترین میزان کاهش بارش مربوط به مدل CNRM-CM6-1 در فصل تابستان به میزان ۳۰/۴۶ درصد برآورد شده است. میزان بارش زمستانه به نسبت دوره پایه روندی افزایشی برآورد شده است و در فصل بهار و پاییز در تعدادی از سناریوهای روندی افزایشی و در تعدادی روندی کاهشی برآورد شده است. میزان تغییرات دمای بیشینه

جدول ۴- تغییرات فصلی و سالانه بارش و دمای بیشینه دوره آینده نزدیک (۲۰۴۰-۲۰۲۱) نسبت به دوره پایه (۲۰۱۷-۱۹۹۰) ایستگاه سینوپتیک آبادیه

Table 7- Seasonal and annual changes of rainfall and maximum temperature in the near future period (2021-2040) compared to the base period (1990-2017) of Abadeh synoptic station

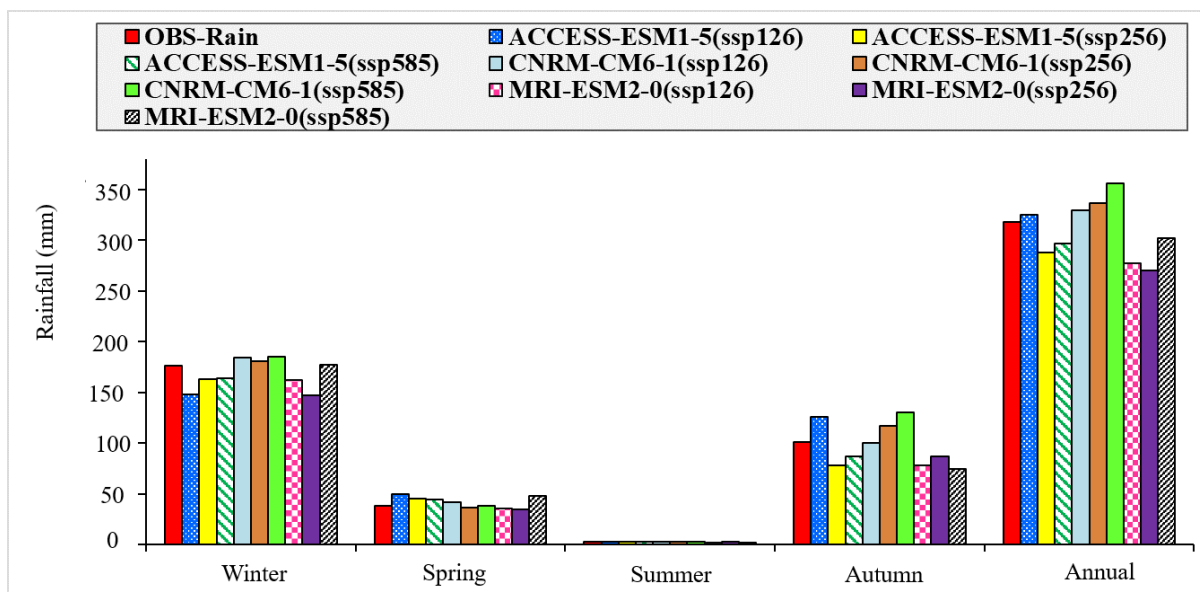
Maximum temperature changes relative to the base period (degrees Celsius)			Rainfall changes compared to the base period (percentage)			Seasons	Model
SSP585	SSP245	SSP126	SSP585	SSP245	SSP126		
1.28	1.27	1.05	21.65	25.58	29.92	Winter	ACCESS- ESM1-5
1.90	2	1.65	-1.62	0.94	8.33	Spring	
1.10	0.79	1.17	-18.51	-17.24	-18.15	Summer	
0.97	0.88	0.55	26.59	-8.31	19.40	autumn	
1.31	1.23	1.11	11.80	11.02	18.96	Annual	
1.98	2.24	1.94	19.72	27.29	24.97	Winter	CNRM-CM6- 1
3.19	2.75	3.09	-10.22	-14.66	-7.60	Spring	
1.81	1.26	1.18	-30.46	-24.13	-15.80	Summer	
1.57	1.27	1.48	37.29	18.80	-1.65	autumn	
2.14	1.88	1.97	8.26	8.17	7.99	Annual	
1.64	1.68	1.68	27.89	16.49	18.97	Winter	MRI-ESM2-0
1.44	2.15	2.39	9.92	-10.57	-10.88	Spring	
1.13	1.44	1.50	-18.69	-16.52	-24.49	Summer	
1.58	1.36	1.01	-3.27	6.37	-1.46	autumn	
1.45	1.66	1.64	16.26	3.67	3.69	Annual	
1.63	1.59	1.57	12.11	7.62	10.21	Average of three models	

* مقادیر منفی نشان از کاهش میزان بارش نسبت به دوره پایه است.

داشته است. میزان بارش ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس نیز نسبت به دوره پایه روندی افزایشی داشته است. در ماه‌های نوامبر و دسامبر نیز در تعدادی از سناریوها روند افزایشی و در تعدادی کاهش بارندگی برآورد شده است. بیش‌ترین بارش ماهانه برآورد شده مربوط به ماه فوریه تحت مدل MRI-ESM2-0 و سناریوی SSP585 با میزان ۸۰/۹ میلی‌متر بوده است. کم‌ترین بارش برآورد شده نیز مربوط به مدل MRI-ESM2-0 و سناریوی SSP256 در ماه سپتامبر با میزان ۰/۰۶ میلی‌متر است. سناریوی RCP126 مربوط به مدل ACCESS-ESM1-5 بیش‌ترین تطابق را با داده‌های بارش دوره پایه ایستگاه سینوپتیک شیراز داشته است.

۳-۲- تغییرات اقلیمی آینده نزدیک در ایستگاه سینوپتیک شیراز

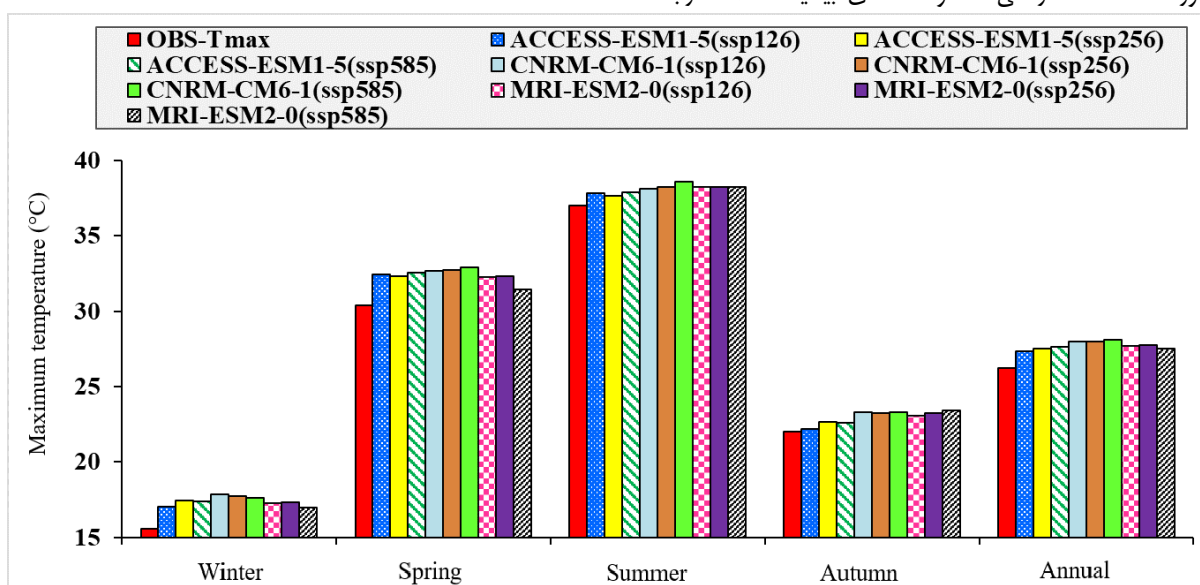
تغییرات فصلی بارش دوره آینده نزدیک (۲۰۴۰-۲۰۲۱) نسبت به دوره پایه (۲۰۱۷-۱۹۹۰) سه مدل ACCESS-ESM1-5، CNRM-CM6-1 و MRI-ESM2-0 ایستگاه سینوپتیک شیراز در شکل ۷ ارائه شده است. نتایج متوسط سه مدل نشان داد میزان بارش زمستان از ۱۷۶ میلی‌متر در دوره پایه به ۱۶۷/۸ میلی‌متر در آینده نزدیک کاهش خواهد یافت. همچنین، میزان بارش سالیانه نیز از ۳۱۷ میلی‌متر به ۳۰۹ میلی‌متر کاهش خواهد یافت. میزان بارش در ماه‌های آوریل، ژوئیه و سپتامبر نیز نسبت به دوره پایه روندی کاهشی



شکل ۷- تغییرات فصلی بارش دوره آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۴۰) نسبت به دوره پایه (۱۹۹۰-۲۰۱۷) ایستگاه سینوپتیک شیراز
Figure 7- Seasonal changes of rainfall in the near future period (2021-2040) compared to the base period (1990-2017) of Shiraz synoptic station

سانتی گراد است. بیشترین دمای بیشینه برآورد شده مربوط به مدل CNRM-CM6-1 و سناریوی SSP585 با میزان ۴۰/۵۲ درجه سانتی گراد در ماه ژوئیه است. افزایش دمای بیشینه در تمامی ماهها و سناریوها برای آینده نزدیک در ایستگاه سینوپتیک شیراز برآورد شده است. مدل ACCESS-ESM1-5 و سناریوی SSP126 بیشترین تطابق را با دادههای مشاهداتی دمای بیشینه ایستگاه سینوپتیک شیراز داشتهاند.

تغییرات فصلی دمای بیشینه دوره آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۴۰) نسبت به دوره پایه (۱۹۹۰-۲۰۱۷) سه مدل ACCESS-ESM1-5، CNRM-CM6-1 و MRI-ESM2-0 تحت سه سناریوی SSP126، SSP245 و SSP585 ایستگاه سینوپتیک شیراز در شکل ۸ ارائه شده است. نتایج نشان داد افزایش دما در تمامی فصلها و تحت هر سه مدل و سناریو در دوره آینده نزدیک می دهد. متوسط دمای بیشینه سه مدل در دوره آینده نزدیک ۲۷/۷۳ درجه سانتی گراد برآورد شده است، درحالی که متوسط دمای بیشینه ۲۶/۲۵ درجه



شکل ۸- تغییرات فصلی دمای بیشینه دوره آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۴۰) نسبت به دوره پایه (۱۹۹۰-۲۰۱۷) ایستگاه سینوپتیک شیراز
Figure 8- Seasonal changes of the maximum temperature in the near future period (2021-2040) compared to the base period (1990-2017) of Shiraz synoptic station

فصل تابستان به میزان ۲۷/۹۹ درصد است. میزان تغییرات دمای بیشینه نسبت به دوره پایه نشان از افزایش دما تحت هر سه مدل و سه سناریو در تمامی فصل‌ها می‌دهد. بیش‌ترین میزان افزایش دمای بیشینه مربوط به مدل CNRM-CM6-1 و سناریوی SSP585 در فصل بهار به میزان ۲/۷۳ درجه سانتی‌گراد است. نتایج تغییرات دمای سالیانه متوسط سه مدل نشان از افزایش دمای بیشینه در سه سناریوی SSP126، SSP245 و SSP585 به ترتیب ۱/۳۷، ۱/۵۰ و ۱/۴۸ درجه سانتی‌گراد است.

تغییرات فصلی و سالانه بارش و دمای بیشینه دوره آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۴۰) نسبت به دوره پایه (۱۹۹۰-۲۰۱۷) سه مدل ACCESS-ESM1-5، CNRM-CM6-1 و MRI-ESM2-0 و سه سناریوی SSP126، SSP245 و SSP585 ایستگاه سینوپتیک شیراز در جدول ۵ ارائه شده است. در مدل ACCESS-ESM1-5 در هر سه سناریو میزان بارش در فصل زمستان روند کاهشی و میزان بارش فصل بهار روندی افزایشی برآورد شده است. مدل MRI-ESM2-0 نیز در اکثر فصل‌ها میزان بارش را کاهشی برآورد کرده است. بیش‌ترین میزان کاهش بارش مربوط به مدل MRI-ESM2-0 و سناریوی SSP126 در

جدول ۵- تغییرات فصلی و سالانه بارش و دمای بیشینه دوره آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۴۰) نسبت به دوره پایه (۱۹۹۰-۲۰۱۷) ایستگاه سینوپتیک شیراز

Table 5- Seasonal and annual changes of rainfall and maximum temperature in the near future period (2021-2040) compared to the base period (1990-2017) of Shiraz synoptic station

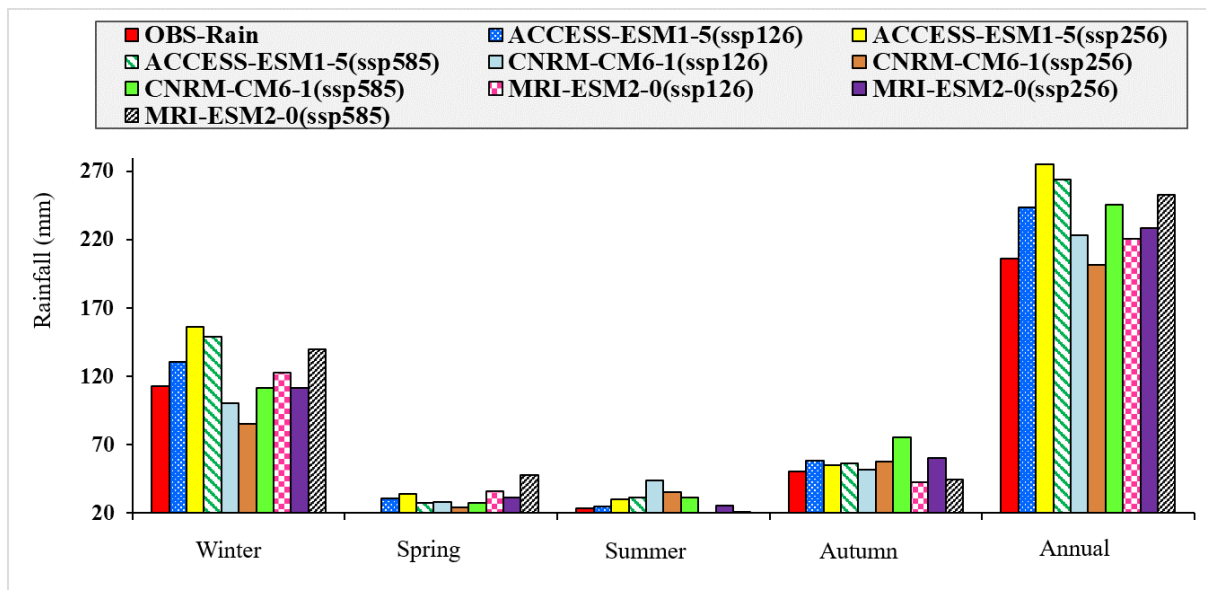
Maximum temperature changes relative to the base period (degrees Celsius)			Rainfall changes compared to the base period (percentage)			Seasons	Model
SSP585	SSP245	SSP126	SSP585	SSP245	SSP126		
1.47	1.55	1.13	-7.46	-7.53	-16.39	Winter	ACCESS-ESM1-5
2.26	2.26	1.95	17.05	18.87	30.14	Spring	
1.34	0.93	1.35	1.70	0.22	11.68	Summer	
0.34	0.33	0.01	-14.13	-23	24.21	autumn	
1.35	1.27	1.11	-1.36	-1.79	0.50	Annual	
1.49	1.79	1.57	5.05	2.24	4.21	Winter	CNRM-CM6-1
2.73	2.52	2.07	1.45	-4.38	10.81	Spring	
1.80	1.46	1.28	7.51	33.93	29.29	Summer	
1.27	1.07	1.29	28.71	15.82	-0.63	autumn	
1.83	1.71	1.55	6.41	2.02	5.74	Annual	
1.55	1.71	1.51	0.49	-16.82	-8.41	Winter	MRI-ESM2-0
1.20	2.03	2.02	26.63	-9.59	-5.44	Spring	
1.05	1.38	1.40	-17.50	3.48	-27.99	Summer	
1.26	0.98	0.86	-25.92	-14.28	-22.51	autumn	
1.26	1.52	1.45	4.89	-14.44	-9.13	Annual	
1.48	1.50	37.1	3.31	-4.73	-0.97	Average of three models	

* مقادیر منفی نشان از کاهش میزان بارش نسبت به دوره پایه است.

نیز نسبت به دوره پایه روندی افزایشی داشته است. در ماه‌های نوامبر و دسامبر نیز در تعدادی از سناریوها روند افزایشی و در تعدادی کاهش بارندگی برآورد شده است. بیش‌ترین بارش ماهانه برآورد شده در ماه مارس مربوط به مدل MRI-ESM2-0 و سناریوی SSP585 با میزان ۹۷/۳۴ میلی‌متر برآورد شده است. کم‌ترین بارش برآورد شده نیز مربوط به مدل MRI-ESM2-0 و سناریوی SSP126 در ماه اکتبر با میزان ۰/۶۲ میلی‌متر است. سناریوی RCP245 مربوط به مدل CNRM-CM6-1 بیش‌ترین تطابق را با داده‌های بارش دوره پایه ایستگاه سینوپتیک لار داشته است.

۳-۳- تغییرات اقلیمی آینده نزدیک در ایستگاه سینوپتیک لار

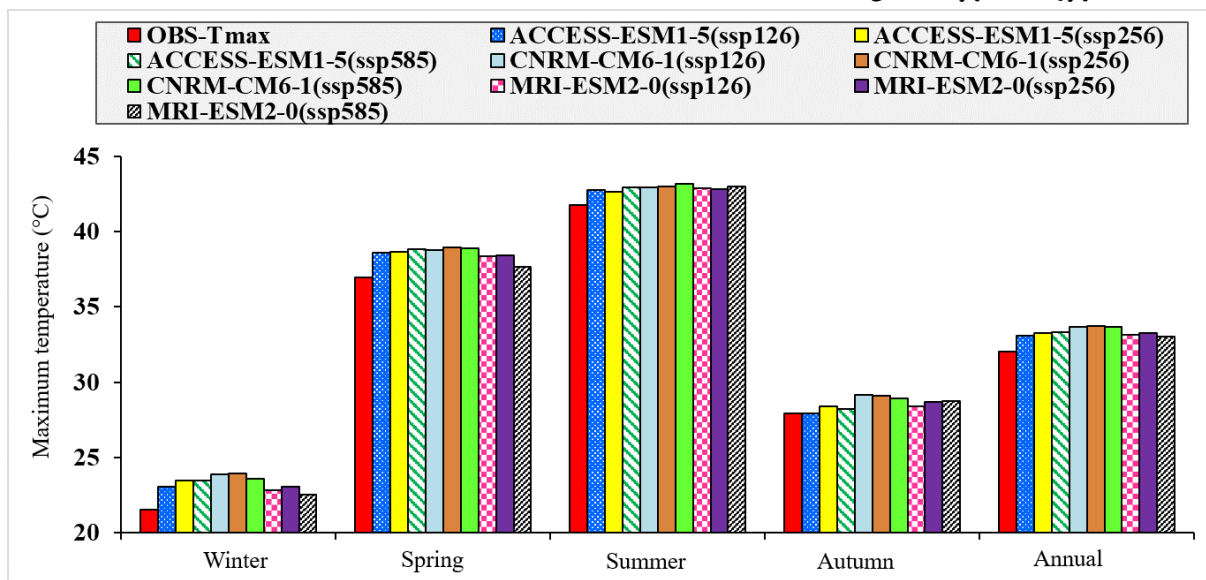
تغییرات فصلی بارش دوره آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۴۰) نسبت به دوره پایه (۱۹۹۰-۲۰۱۷) سه مدل ACCESS-ESM1-5، CNRM-CM6-1 و MRI-ESM2-0 ایستگاه سینوپتیک لار در شکل ۹ ارائه شده است. متوسط سه مدل نشان از افزایش بارش در تمامی فصل‌ها است. به‌طور متوسط میزان بارش پیش‌بینی‌شده آینده نزدیک ۲۳۹ میلی‌متر برآورد شده است درحالی‌که میزان بارش دوره پایه ۲۰۶ میلی‌متر است. نتایج نشان داد میزان بارش در ماه‌های آوریل، سپتامبر و اکتبر نسبت به دوره پایه روندی کاهشی داشته است. میزان بارش ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس



شکل ۹- تغییرات فصلی بارش دوره آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۴۰) نسبت به دوره پایه (۱۹۹۰-۲۰۱۷) ایستگاه سینوپتیک لار
Figure 9- Seasonal changes of rainfall in the near future period (2021-2040) compared to the base period (1990-2017) of the Lar synoptic station

و سناریوی SSP585 با میزان ۴۴/۹ درجه سانتی گراد در ماه ژوئیه است. افزایش دمای بیشینه در تمامی ماه‌ها و سناریوها برای آینده نزدیک در ایستگاه سینوپتیک لار برآورد شده است. مدل ACCESS-ESM1-5 و سناریوی SSP126 بیشترین تطابق را با داده‌های مشاهداتی دمای بیشینه ایستگاه سینوپتیک لار داشته‌اند.

تغییرات فصلی دمای بیشینه دوره آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۴۰) نسبت به دوره پایه (۱۹۹۰-۲۰۱۷) سه مدل ACCESS-ESM1-5، CNRM-CM6-1 و MRI-ESM2-0 تحت سه سناریوی SSP126، SSP245، و SSP585 ایستگاه سینوپتیک لار در شکل ۱۰ ارائه شده است. نتایج نشان از افزایش دما تحت هر سه مدل و سناریو در دوره آینده نزدیک می‌دهد. بیشترین دمای بیشینه برآورد شده مربوط به مدل ACCESS-ESM1-5



شکل ۱۰- تغییرات فصلی دمای بیشینه دوره آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۴۰) نسبت به دوره پایه (۱۹۹۰-۲۰۱۷) ایستگاه سینوپتیک لار
Figure 10- Seasonal changes of the maximum temperature of the near future period (2021-2040) compared to the base period (1990-2017) of the Lar synoptic station

سه سناریوی SSP126، SSP245، و SSP585 ایستگاه سینوپتیک و MRI-ESM2-0 و CNRM-CM6-1، ACCESS-ESM1-5

تغییرات سالانه و فصلی بارش و دمای بیشینه دوره آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۴۰) نسبت به دوره پایه (۱۹۹۰-۲۰۱۷) سه مدل

تمامی فصل‌ها می‌دهد. بیش‌ترین میزان افزایش دمای بیشینه مربوط به مدل CNRM-CM6-1 و سناریوی SSP585 در فصل بهار به میزان ۲/۴۷ درجه سانتی‌گراد است. نتایج تغییرات دمای سالیانه متوسط سه مدل نشان از افزایش دمای بیشینه در سه سناریوی SSP126، SSP245 و SSP585 به‌ترتیب ۱/۲۳، ۱/۳۷ و ۱/۳۶ درجه سانتی‌گراد است.

لار در جدول ۶ ارائه شده است. میزان بارش زمستانه در مدل CNRM-CM6-1 روندی کاهشی برآورد شده است. میزان بارش پاییز نیز در مدل MRI-ESM2-0 در دو سناریوی SSP126 و SSP585 روندی کاهشی برآورد شده است. مدل ACCESS-ESM1-5 نیز در تمامی فصل‌ها و سناریوهای SSP میزان بارش را در ایستگاه سینوپتیک لار افزایشی برآورد کرده است. میزان تغییرات دمای بیشینه نشان از افزایش دما تحت هر سه مدل و سه سناریو در

جدول ۶- تغییرات فصلی و سالانه بارش و دمای بیشینه دوره آینده نزدیک (۲۰۴۰-۲۰۲۱) نسبت به دوره پایه (۲۰۱۷-۱۹۹۰) ایستگاه سینوپتیک لار

Table 6- Seasonal and annual changes of rainfall and maximum temperature in the near future period (2021-2040) compared to the base period (1990-2017) of the Lar synoptic station

Maximum temperature changes relative to the base period (degrees Celsius)			Rainfall changes compared to the base period (percentage)			Seasons	Model
SSP585	SSP245	SSP126	SSP585	SSP245	SSP126		
1.29	1.42	0.98	32.01	38.67	15.85	Winter	ACCESS-ESM1-5
2.12	2.07	1.71	44.53	78.94	59.42	Spring	
1.31	0.96	1.20	34.26	27.44	5.23	Summer	
0.38	0.45	0.13	11.40	8.03	14.87	autumn	
1.28	1.23	1.01	33.51	44.61	25.04	Annual	
1.48	2.04	1.72	-1.05	-24.33	-11.19	Winter	CNRM-CM6-1
2.47	2.40	2.45	43.80	26.24	48.54	Spring	
1.49	1.34	1.13	33.05	49.55	86.56	Summer	
1.05	1.03	1.19	49.12	13.26	1.54	autumn	
1.62	1.70	1.62	16.85	-2.32	13.23	Annual	
0.99	1.28	0.91	23.89	-1.16	9.02	Winter	MRI-ESM2-0
1.71	1.68	1.56	151.86	64.12	86.87	Spring	
1.11	1.08	1.17	-11.59	9.16	-15.31	Summer	
0.98	0.72	0.61	-12.68	18.86	-16.16	autumn	
1.19	1.19	1.06	47.74	16.85	23.03	Annual	
1.36	1.37	1.23	32.70	19.71	20.43	Average of three models	

* مقادیر منفی نشان از کاهش میزان بارش نسبت به دوره پایه است.

آماره‌های مربوط به آزمون کولموگروف اسمیرنوف که در جدول ۷ ارائه شده است درمی‌یابیم دما بیشینه و بارش در سه ایستگاه سینوپتیک موردنظر از توزیع گامبل دو پارامتری در سطح اطمینان ۹۵ درصد پیروی می‌کند (از آنجا که مقدار معناداری ≤ 0.05 است، بنابراین به نظر می‌رسد که توزیع تجربی داده‌ها با توزیع گامبل مطابقت دارد).

۳-۴- توزیع گامبل مقادیر حدی

نیکویی برازش یک توزیع خاص بر داده‌ها و مشاهدات مبنای بسیاری از تحلیل‌ها و روش‌های آماری به حساب می‌آید. در این مطالعه نیز از آزمون کولموگروف اسمیرنوف به‌منظور بررسی نیکویی برازش استفاده شد. با توجه به مقادیر و سطح معناداری

جدول ۷- آزمون نیکویی برازش کولموگروف اسمیرنوف

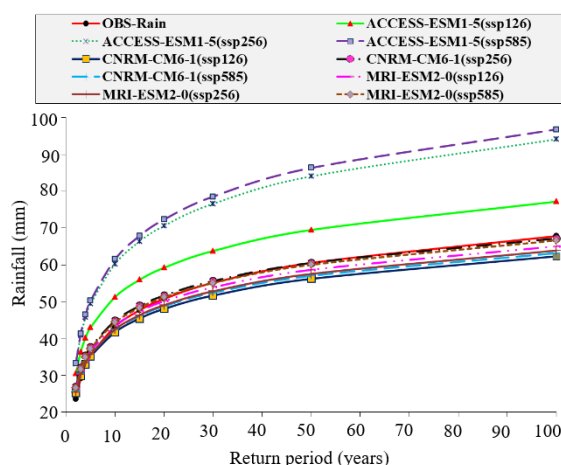
Table 7- Kolmogorov Smirnov goodness of fit test

Abadeh		Lar		Shiraz		Parameter
Rainfall	Maximum temperature	Rainfall	Maximum temperature	Rainfall	Maximum temperature	
0.79	28.30	1.25	37.87	0.93	28.73	Mean μ
0.53	6.8	0.88	6.86	0.60	6.84	Standard deviation σ
0.19	0.83	0.25	0.57	0.29	0.34	Significance

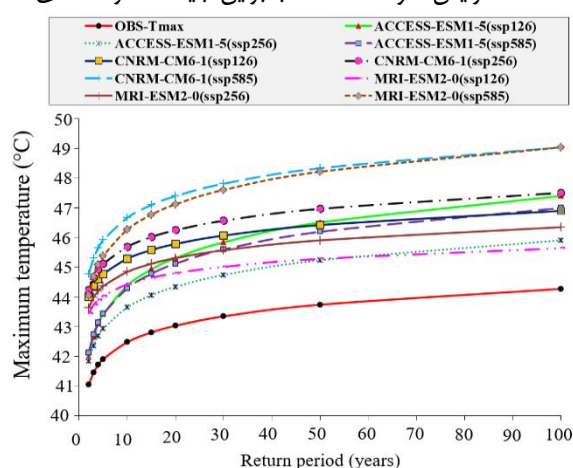
می‌دهد با افزایش دوره‌های بازگشت شدت بارش و دمای بیشینه نیز به نسبت افزایش پیدا می‌کند، اما این افزایش در مدل‌ها و سناریوهای مختلف به نسبت متفاوت است. نتایج مربوط به بررسی

با استفاده از خروجی توزیع گامبل می‌توان روابط بین پارامترهای اقلیمی در دوره‌های بازگشت مختلف را به دست آورد. نتایج نشان

بیشینه بالاتری در دوره‌های بازگشت مختلف در ایستگاه سینوپتیک آبادیه باشیم. بررسی توزیع گامبل مقادیر بارش نیز نشان از افزایش بارش در دوره‌های بازگشت مشخص می‌دهد. برای دوره‌های بازگشت ۲۰ ساله میزان بارش از ۵۰/۷۸ میلی‌متر در دوره پایه تا ۷۲/۳۵ میلی‌متر در مدل ACCESS-ESM1-5 و سناریوی SSP585 افزایش خواهد داشت. در بین سه مدل مورد بررسی در ایستگاه سینوپتیک آبادیه مدل ACCESS-ESM1-5 بارش‌هایی با دوره‌های بازگشت بالاتری را پیش‌بینی کرده است.



مقادیر حدی بارش و دمای بیشینه مشاهداتی و سناریوهای مورد بررسی در ایستگاه سینوپتیک آبادیه و دوره‌های بازگشت مختلف در شکل ۱۱ ارائه شده است. نتایج نشان داد در هر سه مدل ACCESS-ESM1-5، CNRM-CM6-1 و MRI-ESM2-0 و سه سناریوی SSP126، SSP245 و SSP585 دمای بیشینه نسبت به دوره پایه در یک دوره‌های بازگشت مشخص افزایش خواهد داشت. برای مثال، برای دوره‌های بازگشت ۲۰ ساله میزان دمای بیشینه از ۳۹/۵ درجه سانتی‌گراد در دوره پایه تا ۴۳/۴۲ درجه سانتی‌گراد در مدل CNRM-CM6-1 و سناریوی SSP585 افزایش خواهد داشت، بنابراین باید منتظر دماهای

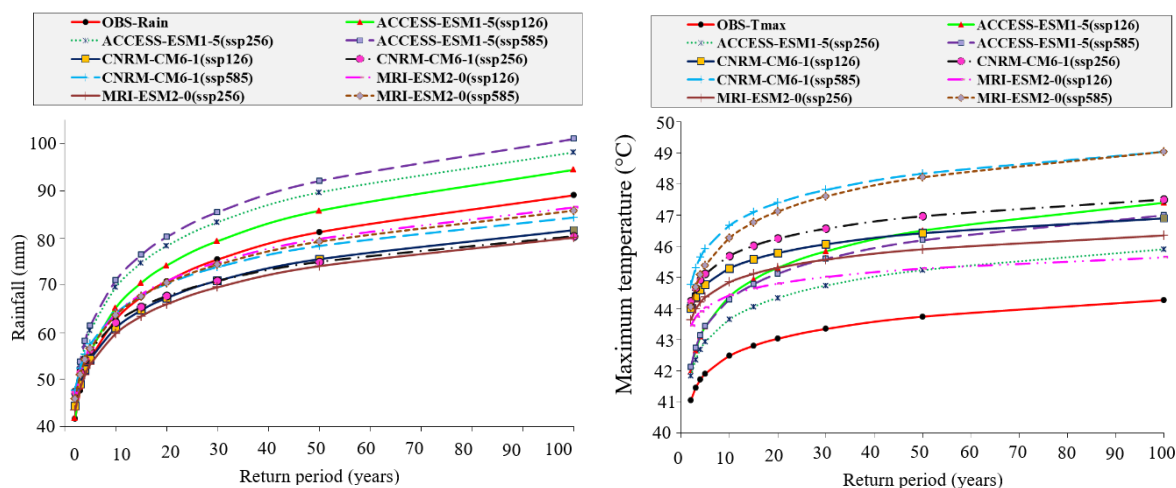


شکل ۱۱- بارش و دمای بیشینه در دوره‌های بازگشت مختلف تحت سناریوهای SSP ایستگاه سینوپتیک آبادیه

Figure 11- Rainfall and maximum temperature during different return periods under SSP scenarios of the Abadeh synoptic station

۴۷/۳۹ درجه سانتی‌گراد در مدل CNRM-CM6-1 و سناریوی SSP585 افزایش خواهد داشت. توزیع گامبل مقادیر بارش ایستگاه سینوپتیک شیراز در مدل ACCESS-ESM1-5 نیز نشان از افزایش بارش در دوره‌های بازگشت مشخص می‌دهد. در دوره‌های بازگشت ۲۰ ساله میزان بارش از ۷۰/۸ میلی‌متر در دوره پایه تا ۸۰/۱۹ میلی‌متر در مدل ACCESS-ESM1-5 و سناریوی SSP585 افزایش خواهد داشت. مدل ACCESS-ESM1-5 بارش‌هایی با دوره‌های بازگشت بالاتری را پیش‌بینی کرده است.

تغییرات بارش و دمای بیشینه در دوره‌های بازگشت مختلف تحت سناریوهای SSP و مدل‌های ACCESS-ESM1-5، CNRM-CM6-1 و MRI-ESM2-0 در ایستگاه سینوپتیک شیراز در شکل ۱۲ ارائه شده است. نتایج نشان داد در هر سه مدل ACCESS-ESM1-5، CNRM-CM6-1 و MRI-ESM2-0 و سه سناریوی SSP126، SSP245 و SSP585 دمای بیشینه نسبت به دوره پایه در یک دوره‌های بازگشت مشخص افزایش خواهد داشت. برای دوره‌های بازگشت ۲۰ ساله میزان دمای بیشینه از ۴۳/۰۲ درجه سانتی‌گراد در دوره پایه تا

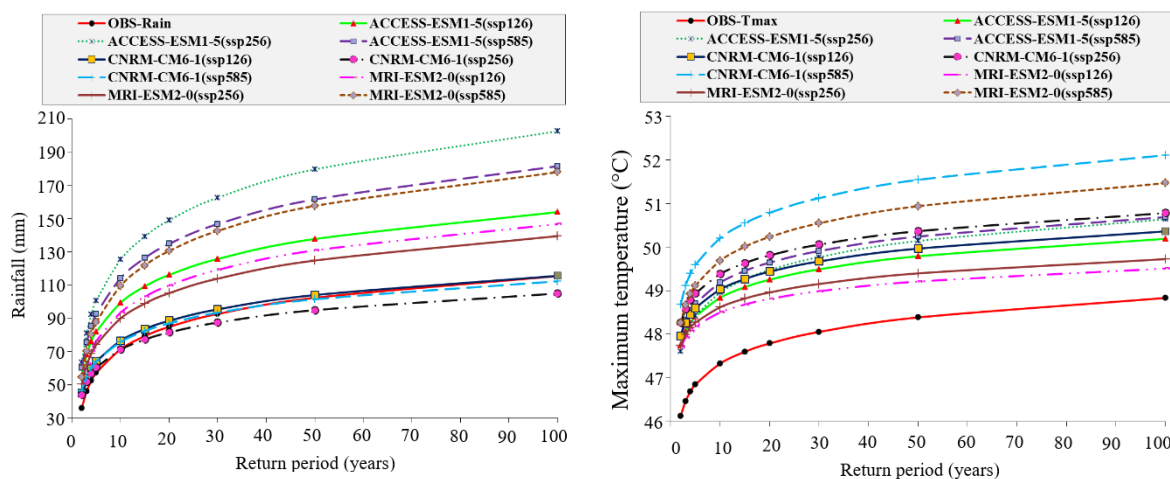


شکل ۱۲- بارش و دمای بیشینه در دوره‌های بازگشت مختلف تحت سناریوهای SSP ایستگاه سینوپتیک شیراز

Figure 12- Rainfall and maximum temperature during different return periods under SSP scenarios of the Shiraz synoptic station

پایه تا ۵۰/۷۸ درجه سانتی‌گراد در مدل CNRM-CM6-1 و سناریوی SSP585 افزایش خواهد داشت. مقادیر بارش ایستگاه سینوپتیک لار نیز در دوره‌های بازگشت مشخص روندی افزایشی داشته است. در دوره‌های بازگشت ۲۰ ساله میزان بارش از ۸۴/۸۵ میلی‌متر در دوره پایه تا ۱۴۹/۰۲ میلی‌متر در مدل ACCESS-ESM1-5 و سناریوی SSP256 افزایش خواهد داشت.

تغییرات بارش و دمای بیشینه در دوره‌های بازگشت مختلف در ایستگاه سینوپتیک لار در شکل ۱۳ ارائه شده است. نتایج نشان داد در هر سه مدل ACCESS-ESM1-5، CNRM-CM6-1 و MRI-ESM2-0 و سه سناریوی SSP126، SSP245 و SSP585 دمای بیشینه نسبت به دوره پایه در یک دوره‌های بازگشت مشخص افزایش خواهد داشت. برای دوره‌های بازگشت ۲۰ ساله میزان دمای بیشینه از ۴۷/۷۹ درجه سانتی‌گراد در دوره



شکل ۱۳- بارش و دمای بیشینه در دوره‌های بازگشت مختلف تحت سناریوهای SSP ایستگاه سینوپتیک لار

Figure 13- Rainfall and maximum temperature during different return periods under SSP scenarios of the Lar synoptic station

بارش و دمای بیشینه سه ایستگاه سینوپتیک آباد، شیراز و لار استفاده شده است. دوره پایه در این پژوهش ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۷ و دوره شبیه‌سازی آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۴۰) در نظر گرفته شد. به‌منظور بررسی ارتباط بین مقادیر بارش و دمای بیشینه با دوره‌های بازگشت مختلف از توزیع گامبل استفاده شد. صحت سنجی مدل LARS-WG نشان از دقت مناسب در ریزمقیاس نمایی پارامترهای اقلیمی بارش و دمای بیشینه هر سه ایستگاه داشته است. نتایج نشان داد که

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش خروجی‌های مدل گردش عمومی جو سه مدل ACCESS-ESM1-5، CNRM-CM6-1 و MRI-ESM2-0 و سه سناریوی SSP126، SSP245 و SSP585 با استفاده از مدل آماری LARS-WG ریزمقیاس شده است، که از داده‌های روزانه

محیطی سازمان ملل، فراوانی وقوع سیل و دیگر وقایع حدی اقلیمی هرساله دو برابر می شود و خسارات ناشی از آن در سطح جهان سالیانه ۱۵۰ میلیون دلار افزایش می یابد، بنابراین با توجه به تغییرات دوره بازگشت های دما و بارش لزوم توجه به تخمین میزان بارندگی در طراحی سازه های هیدرولوژیکی در شرایط تغییر اقلیم ضروری به نظر می رسد.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می دارند که هیچ گونه تضاد منافی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

دسترسی به داده ها

همه اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است.

مشارکت نویسندگان

پارسا حقیقی: نگارش، تفسیر و تحلیل نتایج؛ **سید مسعود سلیمان پور:** تحلیل آماری، بازبینی و کنترل نتایج؛ **ابوالفتح مرادی:** مفهوم سازی، مشاوره و مروری بر منابع.

منابع

- ابراهیمی، نسرين، زرین، آذر، مفیدی، عباس، و داداشی رودباری، عباسعلی (۱۴۰۲). پیش نگری بارش های فرین در حوضه دریاچه ارومیه تحت شرایط تغییر اقلیم. آب و خاک، ۳۷(۵)، ۷۶۹-۷۸۵. doi:10.22067/JSW.2023.81891.1270
- ایران شاهی، معین، ابراهیمی، بهروز، یوسفی، حسین و مریدی، علی (۱۴۰۱). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر وضعیت دما و بارش با استفاده از شبکه عصبی و گزارش ششم IPCC (مطالعه موردی: ایستگاه های الشتر و خرم آباد). مدیریت آب و آبیاری، ۱۲(۴)، ۸۲۱-۸۴۵. doi:10.22059/jwim.2022.346796.1009
- حجازی زاده، زهرا، اکبری، مهری، ساسانپور، فرزانه و حسینی، علیرضا، و محمدی، نیلوفر (۱۴۰۱). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر بارش های سیل آسا در استان تهران. مدل سازی و مدیریت آب و خاک، ۳۷(۲)، ۸۷-۱۰۵. doi: 10.22098/mmws.2022.9958.1075
- روشنی، ادیب، و حمیدی، مهدی (۱۴۰۰). پیش بینی اثرات سناریوهای تغییر اقلیم بر دما و بارش بر اساس مدل های CMIP6 (مطالعه موردی: ایستگاه ساری). مدیریت آب و آبیاری، ۱۱(۴)، ۷۸۱-۷۹۵. doi:10.22059/jwim.2022.330603.920
- شریفی پیچون، محمد، بهزادی، زهرا و محمدی، فروغ (۱۴۰۱). ارزیابی زمانی- مکانی روند خشک سالی و اثرات آن بر تغییرات

تغییرات دمای بیشینه دوره آینده نزدیک (۲۰۴۰-۲۰۲۱) نسبت به دوره پایه (۲۰۱۷-۱۹۹۰) در سه ایستگاه و سه مدل ACCESS-ESM1-5، CNRM-CM6-1 و MRI-ESM2-0 در سناریوهای SSP126، SSP245 و SSP585 افزایشی بوده است. در ایستگاه سینوپتیک آباده تغییرات دمای بیشینه (متوسط سه مدل) نشان از افزایش دمای بیشینه در سه سناریوی SSP126، SSP245 و SSP585 به ترتیب ۱/۵۷، ۱/۵۹ و ۱/۶۳ درجه سانتی گراد است و میزان بارش نیز در فصل های بهار و تابستان روندی کاهشی و بارش زمستان به نسبت دوره پایه روندی افزایشی برآورد شده است. در ایستگاه سینوپتیک شیراز دمای بیشینه (متوسط سه مدل) نشان از افزایش دمای بیشینه در سه سناریوی SSP126، SSP245 و SSP585 به ترتیب ۱/۲۷، ۱/۵۰ و ۱/۴۸ درجه سانتی گراد است و در مدل ACCESS-ESM1-5 در هر سه سناریو میزان بارش زمستان کاهشی و میزان بارش بهار روندی افزایشی برآورد شده است. مدل MRI-ESM2-0 نیز در اکثر فصل ها میزان بارش را کاهشی برآورد کرده است. بیش ترین میزان کاهش بارش در ایستگاه سینوپتیک شیراز مربوط به مدل MRI-ESM2-0 و سناریوی SSP126 در فصل تابستان به میزان ۲۷/۹۹ درصد است. تغییرات دمای بیشینه ایستگاه سینوپتیک لار (متوسط سه مدل) نشان از افزایش دمای بیشینه در سه سناریوی SSP126، SSP245 و SSP585 به ترتیب ۱/۲۳، ۱/۳۷ و ۱/۳۶ درجه سانتی گراد است. میزان بارش زمستان این ایستگاه در مدل CNRM-CM6-1 روندی کاهشی برآورد شده است. بارش پاییز نیز در مدل MRI-ESM2-0 در دو سناریوی SSP126 و SSP585 روندی کاهشی برآورد شده است، اما مدل ACCESS-ESM1-5 در تمامی فصل ها و سناریوها میزان بارش را در ایستگاه سینوپتیک لار افزایشی برآورد کرده است. مقایسه مربوط به داده های مشاهداتی دوره پایه و مدل ها و سناریوهای مختلف نشان داد، مدل ACCESS-ESM1-5 و سناریوی SSP126 بیش ترین تطابق را با داده های مشاهداتی دمای بیشینه سه ایستگاه سینوپتیک آباده، شیراز و لار داشته اند. مقایسه میزان بارش دوره پایه و مقادیر پیش بینی شده نیز نشان داد، سناریوی RCP126 مربوط به مدل MRI-ESM2-0 در ایستگاه سینوپتیک آباده، سناریوی RCP126 مربوط به مدل ACCESS-ESM1-5 در ایستگاه سینوپتیک شیراز و سناریوی SSP126 و سناریوی RCP245 مربوط به مدل CNRM-CM6-1 در ایستگاه سینوپتیک لار بیش ترین تطابق را با داده های مشاهداتی داشته است. خروجی توزیع گامبل نیز نشان داد در هر سه ایستگاه در یک دوره های بازگشت مشخص بارش و دمای بیشینه نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت. بررسی توزیع گامبل مقادیر بارش نیز نشان از افزایش بارش در دوره های بازگشت مشخص در مدل ACCESS-ESM1-5 را می دهد. نتایج مربوط به این پژوهش نیز هم سو با گزارش های ارائه شده بین المللی است. بر طبق گزارش اخیر برنامه

عساکره، حسین (۱۳۸۱). مدل‌های گردش عمومی جو. *اطلاعات جغرافیایی*

سپهر، ۱۱(۴): ۲۱-۳۳.

doi: 20.1001.1.25883860.1381.11.41.6.8

کهنسال، فرانک، نورانی، وحید و شرقی، الناز (۱۴۰۲). اثرات تغییر اقلیم

بر میزان بارش در حوضه‌ی دریاچه‌های ارومیه در سناریوهای

مختلف تغییر اقلیم. *سیزدهمین کنگره بین‌المللی مهندسی*

عمران، تهران.

References

- Asakareh, H. (2002). Models of General Circulation of Atmosphere. *Geographical Data (SEPEHR)*, 11(41), 21-23. doi:20.1001.1.25883860.1381.11.41.6.8. [In Persian]
- Chen, H., Zhao, Y., Feng, H., Li, H., & Sun, B. (2015). Assessment of climate change impacts on soil organic carbon and crop yield based on long-term fertilization applications in Loess Plateau, China. *Plant and Soil*, 390, 401-417. doi:10.1007/s11104-014-2332-1.
- Ebrahimi, N., Zarrin, A., Mofidi, A., & Dadashi-Roudbari, A. (2023). Projected precipitation extremes in Lake Urmia Basin under Climate Change. *Water and Soil*, 37(5), 769-785. doi: 10.22067/jsw.2023.81891.1270. [In Persian]
- Eyring, V., Bony, S., Meehl, G. A., Senior, C. A., Stevens, B., Stouffer, R. J., & Taylor, K. E. (2016). Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. *Geoscientific Model Development*, 9(5), 1937-1958. doi: 10.5194/gmd-9-1937-2016, 2016.
- Feyissa, G., Zeleke, G., Bewket, W., & Gebremariam, E. (2018). Downscaling of future temperature and precipitation extremes in Addis Ababa under climate change. *Climate*, 6(3), 58. doi:10.3390/cli6030058
- Guobin, F., Stephen, P. C., Francis, H.S.C., Jin, T., Hongxing, Z., Andrew, J. F., Wenbin, L., & Sergey, K. (2013). Modelling runoff with statistically downscaled daily site, gridded and catchment rainfall series. *Hydrology*, 492, 254-265. doi: 10.1016/j.jhydrol.2013.03.041
- Hassan, Z., Shamsudin, S., & Harun, S. (2014). Application of SDSM and LARS-WG for Simulating and Downscaling of Rainfall and Temperature. *Theoretical and Applied Climatology*, 116, 243-257. doi:10.1007/s00704-013-0951-8.
- Hejazizadeh, Z., Akbari, M., Sasanpour, F., Hosseini, A., & Mohammadi, N. (2022). Investigating the effects of climate change on torrential rains in Tehran province. *Water and Soil Management and Modelling*, 2(2), 87-105. doi:10.22098/mmws.2022.9958.1075. [In Persian]
- پوشش گیاهی در استان فارس. *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*, ۱۳(۵۰): ۴۰-۵۷. doi: 10.22034/jargs.2023.375644.1000
- صف شکن، فرشید، آخوندعلی، علی محمد، حقیقی، علی و زارعی، حیدر (۱۳۹۶). بررسی اثر تغییر اقلیم بر جریان ورودی به آبگیر سد درودزن در استان فارس طی دوره‌های آتی. *مهندسی منابع آب*, ۸۳-۹۷. doi:20.1001.1.20086377.1396.10.34.8.8
- 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 and Irrigation Management*, 12(4), 821-845. doi:10.22059/jwim.2022.346796.1009. [In Persian]
- Jahangir, M. H., Haghighi, P., & Danehkar, S. (2022). Downscaling climate parameters in Fars province, using models of the fifth report and RCP scenarios. *Ecological Informatics*, 68, 101558. doi: 10.1016/j.ecoinf.2022.101558
- Kohensal, F., Noorani, V., & Sharqi, E. (2023). The effects of climate change on the amount of precipitation in the Urmia lakes basin in different scenarios of climate change. *The 13th International Congress of Civil Engineering*, Tehran. [In Persian]
- Nsubuga, F.W.N., Botai, O.J., Olwoch, J.M., Dew Rautenbach, C.J.Yvette, B., & Adebayo, O.A. (2014). The nature of rainfall in the maindrainage sub-basins of Uganda. *Hydrological Sciences*, 59(2), 278-299. doi:10.1080/02626667.2013.804188
- O'Neill, B.C., Kriegler, E., Ebi, K.L., Kemp-Benedict, E., Riahi, k., Rothman, D.S., van Ruijven, B.J., van Vuuren, D.P., Birkmann, J., Kok, K., Levy, M., & Solecki, W. (2017). The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. *Global Environmental Change*, 42, 169-180. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2015.01.004.
- Pholkern, K.; Saraphirom, P.; & K. Srisuk. (2018). Potential impact of climate change on groundwater resources in the Central Huai Luang Basin, Northeast Thailand. *Science of The Total Environment*, 633, 1518-1535. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.03.300
- 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. doi: 10.22059/jwim.2022.330603.920. [In Persian]
- Safshekan, F., Akhoond Ali, A. M., Haghighi, A., & Zarei, H. (2017). Climate Change Impact on the Future Inflow of the Doroodzan Reservoir

- in the Province of Fars. *Water Resources Engineering*, 10(34), 83-97. doi:20.1001.1.20086377.1396.10.34.8.8. [In Persian]
- Semenov, M.A., & Barrow, E.M., (2002): LARS-WG a stochastic weather generator for use in climate impact studies. *User Manual*, Version3.0.
- Sharifi Paichoon, M., Behzadi, Z., & Mohamadi, F. (2023). Temporal-spatial evaluation of the drought process and its effects on vegetation changes in Fars province. *Arid Regions Geographic Studies*, 13(50), 57-40.
- doi:10.22034/jargs.2023.375644.1000. [In Persian]
- Stouffer R. J. Eyring V. Meehl G. A. Bony S. Senior C. Stevens B. & Taylor K. E. (2017). CMIP5 scientific gaps and recommendations for CMIP6. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98(1), 95-105. doi: 10.1175/BAMS-D-15-00013.1.
- Wilby, R.L., & Dawson, C.W. (2004). Using SDSM version 4.2- A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *User manual*, 94 pp